



## GEORGIUS AGRICOLA: A CUATROCIENTOS SESENTA Y CINCO AÑOS DE LA EDICIÓN DE SU *De Re Metallica*

*Enrique J. Baran*

Académico Emérito de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
E-mail: [baran@quimica.unlp.edu.ar](mailto:baran@quimica.unlp.edu.ar)

### *Palabras clave*

Georgius Agricola  
Vida y obra  
Publicaciones  
principales  
“De Re Metallica”  
Antecedentes  
importantes  
Contenido y  
trascendencia  
Mineralogía y  
ciencias químicas

**Resumen** Se presenta un breve bosquejo biográfico de Georgius Agricola y se analiza su actividad personal y científica así como el contenido e impacto de sus principales publicaciones en los campos de la minería, geociencias, metrología y medicina. Se discuten los antecedentes más importantes de su obra magna “*De Re Metallica*”, publicada en 1556, entre ellos los escritos de Plinio El Viejo, San Alberto Magno, “*Ein Nützlichtes Bergbüchlein*” de Ulrich Rülein y la “*Pirotecniá*” de Vannoccio Biringuccio. Se analiza en detalle el contenido de “*De Re Metallica*” y se comentan algunos de sus aspectos particulares de mayor impacto y trascendencia. Se hacen referencias acerca de ediciones posteriores de la obra y sus traducciones a diversos idiomas, entre ellas, la importante traducción al inglés realizada por el futuro Presidente de los EEUU de NA, Herbert C. Hoover y su esposa Lou Henry Hoover. Finalmente, se analiza el impacto que esta y otras obras similares tuvieron sobre el desarrollo no solo de la minería y la metalurgia, sino también sobre las Ciencias Químicas.

### *Keywords*

Georgius Agricola  
Live and work  
Principal  
publications  
“De Re Metallica”  
Important  
antecedents  
Content and  
transcendence  
Mineralogy and  
chemical sciences

**Abstract** Georgius Agricola: at four hundred and sixty five years of the edition of his *De Re Metallica*. A brief biographical sketch of Georgius Agricola is presented and its personal and scientific activity, as well as the content and impact of his most important publications in the fields of mining, geosciences, metrology and medicine are analyzed. The most important antecedents of his great work “*De Re Metallica*”, published in 1556, including the scripts of Plinius the Elder, Saint Albertus Magnus, “*Ein Nützlichtes Bergbüchlein*” from Ulrich Rülein and the “*Pirotecniá*” of Vannoccio Biringuccio are discussed. The content of “*De Re Metallica*” is analyzed in detail and some aspects of particular impact and relevance are commented.

References to different later editions of the work and on its translations to different languages are also given, in particular to the important English translation performed by the later USA president Herbert C. Hoover and his wife Lou Henry Hoover. Finally, the impact of this and other similar works not only on the development of mining and metallurgy, but also on chemical sciences in general, is analyzed.

---

## 1. Introducción

Cuando se analizan los nombres de algunos científicos y pensadores destacados que actuaron en la primera mitad del siglo XVI nos encontramos con figuras tales como las de Paracelso (1493-1541), Girolamo Cardano (1501-1576), Gerardus Mercator (1512-1594), Konrad von Gesner (1516-1565), Bernard Palissy (1510-1589), Andrés Laguna (1499-1559), Leonhart Fuchs (1501-1566), Niccoló Tartaglia (1499-1557) o Hyeronimus Tragus (1498-1554), entre otros. Estos nombres están claramente asociados a los inicios o primeros desarrollos de muchas de las disciplinas científicas modernas. Y casi todos estos hombres, figuras importantes del Renacimiento, tenían una visión muy amplia y muchos intereses e inquietudes científicas, dedicándose generalmente al estudio simultáneo de diferentes aspectos de la Ciencia.

Y la figura de Georgius Agricola (1494-1555) es también muy claramente una de esas personalidades renacentistas, que actuaron en el período mencionado, y cuya actividad abarcó una variedad de ámbitos y de espacios, incluyendo la medicina y farmacia, la geología, la minería y la metalurgia e, incluso, algunos aspectos de la zoología. Pero desde una perspectiva histórica más amplia su nombre ha quedado indisolublemente unido a la minería y a la metalurgia, fundamentalmente basado en su obra magna, *De Re Metallica*, que constituyó un hito fundamental para el desarrollo de estas actividades y tuvo una vigencia profunda, larga e increíblemente influyente, a lo largo de varios siglos (Craddock 1994).

---

## 2. Georgius Agricola: Breve bosquejo biográfico\*

\* Este bosquejo biográfico fue realizado en base al trabajo de Craddock (1994) y a la información existente en el *Agricola-Forschungszentrum Chemnitz* (<http://www.georgius-agricola.de>). Este Centro de Investigaciones, destinado a perpetuar la memoria y a extender la obra de Georgius Agricola, fue creado en 1996 con la participación de la Universidad Técnica de Chemnitz, el Archivo Estatal, el Museo Montanístico, la Biblioteca Estatal y la Sociedad de Estudios Históricos de Chemnitz.

Georgius Agricola (Fig. 1), en realidad se llamaba Georg Pawer (o Bauer) nació en el pequeño pueblo de Glauchau, cercano a Chemnitz en el estado de Sajonia, Alemania, el 24 de marzo de 1494, como hijo de un tejedor. Recibió la instrucción básica habitual en su época y a los 19 años se matriculó en la Universidad de Leipzig. Entre sus maestros merece mencionarse el nombre de Petrus Mosselanus un gran erudito renacentista, muy relacionado a Lutero,

Erasmus de Rotterdam y Ulrich von Hutten. Tres años y medio después recibió su primer grado académico de *Baccalaureus artium* y a partir de allí latinizó su nombre como Georgius Agricola.



**Fig. 1.** Georgius Agricola

A partir de 1518 comenzó a trabajar como maestro de latín en la Escuela Estatal de Zwickau, una escuela muy renombrada y localizada en la ciudad a la que en ese momento se llamaba “la Perla del Estado Sajón” y que estaba ubicada en las cercanías de los Montes Metalíferos (Erzgebirge), lo que significó para Agricola su primer contacto con la minería y las importantes actividades mineras de esa región. Poco tiempo después se le encomendó también el dictado de clases en idioma griego y, asimismo, publicó su primer libro, un pequeño tratado de gramática latina.

En 1522 dejó su cargo en la Escuela y retornó a Leipzig y trabajando, probablemente, como asistente de Mosselenus, para perfeccionarse en filología y lenguas antiguas. Al poco tiempo inició, también en la misma Universidad, estudios de Medicina. Los mismos estaban totalmente restringidos al estudio de las teorías de los clásicos, Hipócrates, Galeno y Avicena y las prácticas curativas no eran demasiado incentivadas. En visto de ello, el joven Agricola decidió continuar su formación médica en Italia, comenzando los mismos inicialmente en la Universidad de Bolonia teniendo también aquí simultáneamente la oportunidad de perfeccionar sus conocimientos de latín, griego y hebreo. Luego, a partir de 1524, continuó sus estudios por dos años en Venecia, donde tanto la anatomía práctica como la cirugía ya habían alcanzado un fuerte desarrollo.

En Venecia tuvo también la oportunidad de trabajar en una importante casa editorial, donde junto a un sólido equipo de trabajo participó en la edición griega de los trabajos de Galeno (5 tomos y casi 2900 páginas) y en la edición de algunos de los trabajos de Hipócrates. A continuación realizó breves estancias en Murano, Florencia, Siena, Nápoles, Roma y Padua, obteniendo

finalmente el grado de *Doctor medicinae* (el lugar y la fecha de su promoción, lamentablemente no llegaron a conocerse). En esa época parece que también llegó a conocer a Erasmo, quien trabajaba como editor de la importante empresa editorial Froben, de Basilea. A partir de allí inició una fuerte amistad con Erasmo, quien llegó a admirarlo y a apreciarlo profundamente y finalmente también esa casa editorial suiza fue la que publicaría la mayoría de sus libros. Finalmente en 1526, con su nuevo título de médico y con toda la experiencia adquirida en Italia regresó a su patria sajona.

Después de una breve estadía en Zwickau, en 1527 se instaló brevemente en Chemnitz, donde en el otoño de ese año se casó con Anna Meyner y al poco tiempo la pareja se trasladó a St. Joachimsthal, un pueblo minero en la región bohemia del Erzgebirge, comenzando allí uno de los períodos más fructíferos de su desarrollo científico. Allí empezó a trabajar como médico y farmacéutico y además empezó a tomar contacto estrecho con la actividad minera, ya que en esa región funcionaban más de 900 explotaciones, fundamentalmente de minerales de plata y otros minerales no ferrosos transformando a esta región en uno de los centros mineros más prolíficos de Europa, cuyos métodos de extracción, fundición y refinado también eran los más avanzados de la época a nivel mundial.

Sus primeras experiencias en el campo de la minería y la metalurgia se volcaron en su libro "*Bermannus, sive de re metallica*" ("Bermannus o un diálogo sobre la minería"), escrito en forma de diálogos filosóficos, en cuyo título honra a su amigo Lorenz Wermann (en latín no se conoce la letra W, por eso aparece el apellido latinizado de Bermannus) y en el que se analiza el estado minero de la región, se trata de explicar el origen de diversos minerales y las relaciones entre ellos, buscando también de sistematizar muchas de sus observaciones y, en algunos aspectos, muchas de ellas fueron bastante revolucionarias para la época. La obra fue muy elogiada por Erasmo, y por su intermedio, fue publicada por la ya mencionada editorial Froben, en 1530. El libro apunta también a la manera de programar futuras investigaciones mineras y a la posibilidad de aplicar algunos minerales en el campo de la Medicina. De alguna manera, esta obra encierra ya todo el programa de vida de su autor

En 1531 Agricola regresa a Sajonia, instalándose en Chemnitz donde es designado en el cargo de Médico-Estatal. Este trabajo, afortunadamente, le deja suficiente tiempo libre como para seguirse dedicando a sus estudios científicos y técnicos. De esa primera época en Chemnitz surge como resultado de sus estudios de metrología su libro "*De mensuris et ponderibus Romanorum atque Graecorum*" (Pesos y medidas de los romanos y griegos). En los cinco libros que componen esta obra ordena y compara los sistemas de pesos y medidas de romanos y griegos, analiza las deformaciones que sufrieron a lo largo de los siglos y trata de ordenar estos sistemas para volverlos útiles a los usuarios de su época. Además, considera su correcta

aplicación como de fundamental importancia para el correcto manejo de medicamentos y fármacos.

Pero más importante resultan los trabajos en los que trata de obtener una visión de toda la evolución de la Naturaleza, en particular centrado en la minería y en una gran variedad de problemas geológicos-mineralógicos. Estos estudios llevaron a la publicación en 1546, también en Basilea, de su obra "*De natura fossilium, Libri X*" (Los minerales, en diez Libros), la que rápidamente popularizó su nombre más allá de las fronteras de su patria. Esta obra puede considerarse realmente como el primer tratado de Mineralogía. En el Libro I se presentan los diferentes tipos de minerales conocidos y sus propiedades, el segundo se refiere a tierras, el tercero y cuarto a cuerpos sólidos, el quinto a rocas, el sexto a piedras preciosas, el séptimo a los diferentes tipos de mármoles y los tres últimos Libros se refieren a los metales y a las vetas metalíferas. Analizada en su conjunto, esta obra no tiene precedente alguno y constituye el primer intento de dar una visión completa del mundo mineral, fundamentada científicamente y mostrando también múltiples aplicaciones prácticas de este mundo fascinante.

A pesar de que Agricola era un católico ferviente mantuvo siempre una muy excelente relación con el Duque Mauricio de Sajonia-Meissen, luego Elector de Sajonia, que era protestante. Es más, el Duque lo admiraba y respetaba muchísimo y lo incentivaba constantemente en sus estudios e investigaciones ya que, seguramente, había intuido que esos trabajos llegarían a ser altamente beneficiosos para su reino, fuertemente dependiente de las explotaciones mineras. Adicionalmente, en 1546 lo presionó para que ocupara el cargo de burgomaestre de la ciudad. Esta nueva actividad, que desempeñó por cuatro períodos, seguramente afectó sus tareas habituales ya que se vio involucrado en muchas obligaciones y deberes nuevos, tales como participar en reuniones políticas y administrativas, firma de contratos y representación de la ciudad en foros diplomáticos. Asimismo, muchas veces acompañó al Duque en misiones diplomáticas y, por un breve período, en actividades militares, en la así llamada Guerra de Esmalcalda (1546-47).

Pero a pesar de todas estas nuevas tareas y deberes, logró seguir avanzando en los temas que le seguían interesando, publicando algunos nuevos escritos sobre pesos y medidas y sobre el uso y valor de monedas en Europa. Y aún logró terminar una obra importante más, "*De ortu et causis subterraneorum*" (El origen de las sustancias en el interior de la tierra), dedicada a la geología general y que significó un avance importante en la geografía física y en el estudio de la génesis de los minerales. A este siguió bien pronto un librito más pequeño, "*De veteribus et novis metallis libri*" (El libro de minas antiguas y nuevas) donde se hace una breve historia del desarrollo de la minería. Y además siempre logró seguir trabajando, aun intermitentemente, en su obra magna, "*De Re Metallica*", que lo venía ocupando desde su estadía en St. Joachimstahl. La obra quedó aparentemente

concluida en 1550 y llegó a la editorial Froben en 1553 aunque fue definitivamente publicada recién tres años después.

En 1549 también había publicado su “*De animantibus subterraneis liber*” (El libro subterráneo viviente) que contiene algunas muy interesantes y novedosas reflexiones sobre la zoología. Su último escrito, publicado en Basilea en 1554 es un estudio de tipo médico, “*De peste*” (La peste), seguramente originado por una epidemia de peste desencadenada en la Alta Sajonia en 1552/53, en el mismo se analizan los orígenes, características y consecuencias de este brote, así como su tratamiento. Desde el punto de vista médico este trabajo fue muy valorado por su claridad metodológica y la descripción de diferentes formas de la peste.

Georgius Agricola falleció en Chemnitz el 21 de noviembre de 1555, a la edad de 61 años y fue sepultado en la Catedral de San Pedro y San Pablo de la ciudad de Zeitz.

---

### **3. De Re Metallica: Antecedentes**

Como ya se mencionara, esta obra fue la más importante en toda la producción de Georgius Agricola y constituyó un hito fundamental en el desarrollo de la minería y la metalurgia, inmortalizando el nombre de su autor.

#### **3.1. Metales conocidos en el Renacimiento**

Cuando se analiza la historia del descubrimiento de los elementos químicos (Weeks 1960) puede verse de inmediato que a mediados del s. XVI sólo se conocían muy pocos elementos metálicos. Los metales que se conocían en el Mundo Antiguo fueron, sin duda, el oro, la plata, el hierro, el cobre, el plomo, el estaño y el mercurio, que aparecen mencionados en la *Historia Natural* de Plinio el Viejo así como en trabajos de Discórides y en escritos hindúes y hebreos (p. ej. el Antiguo Testamento: Números 31, 22; Daniel 2, 32-33, 5,4) (Weeks 1932a, 1960).

Por otra parte, si bien los sulfuros de arsénico y antimonio también se conocían desde la Antigüedad, los dos elementos recién fueron aislados en tiempos de los alquimistas. El descubrimiento del arsénico habitualmente se atribuye a San Alberto Magno (1193-1280) y también aparece mencionado en escritos de Paracelso. Respecto del antimonio, muchas veces se ha atribuido su primer aislamiento al monje benedictino Basilio Valentino, que habría trabajado en el s. XV, aunque esto ha sido motivo de reiteradas disputas, también Agricola parece haber trabajado con el metal al que llamaba “stibium”. Otro metal conocido desde antiguo, pero no claramente

caracterizado inicialmente es el bismuto, al que muchas veces se confundió con el estaño o con el plomo, y recién los alquimistas trataron de aislarlo. Asimismo, se ha encontrado que algunas aleaciones preparadas a mediados del s. XV, contienen este elemento y el mismo aparece también vagamente mencionado en escritos de Paracelso y recién Agricola en su “*De Natura Fossilium*” afirma que es un metal diferente a Pb y Sn, y logra diferenciar a los tres metales por sus propiedades físicas (Weeks 1932b, 1960).

### 3.2. Libros y otros escritos previos

Trabajos sobre metales o minería son extremadamente raros en la antigüedad. Parece ser que en la Antigua Grecia, Teofrasto (371AC-287AC), discípulo de Platón y Aristóteles y muy interesado en las ciencias naturales, especialmente en la botánica, habría dejado algunos escritos sobre los metales, al igual que Estratón (335AC-269AC), su sucesor en la dirección del Liceo, que habría escrito un libro titulado “*De Machinis Metallicis*”. Sin embargo, estos trabajos están perdidos. La única obra de la Antigüedad que ha llegado a nosotros y que incluye bastante información sobre metales es la “*Naturalis Historia*” de Plinio el Viejo (Craddock 1994).

#### 3.2.1. Plinio el Viejo: *Naturalis Historia*

Cayo Plinio Secundo (conocido como Plinio el Viejo, para diferenciarlo de su sobrino, Plinio el Joven) nació en Como en el año 23 DC y falleció en Estabia, durante la erupción del Vesubio en el año 79 DC. Tuvo una activa carrera militar iniciada desde muy joven, pero también realizó estudios de filosofía y retórica. Como militar actuó en diferentes regiones del Imperio y durante al gobierno de su amigo, el emperador Vespasiano, fue procurador romano en Galia y en Hispania. Pero a pesar de sus intensas actividades militares y como funcionario del estado romano, fue siempre un dedicado y perceptivo estudioso, publicando diversos trabajos, por ejemplo, uno sobre las técnicas de combate a caballo, diversas crónicas de hechos históricos y una historia de Roma, todas ellas perdidas, aunque citadas frecuentemente por otros autores posteriores, lo que habla de su impacto (Mellein, 2016).

La única de sus obras que ha llegado a nosotros, es la última que encaró y cuya publicación final fue realizada por su sobrino luego de su muerte. Se trata de su *Historia Naturalis*, una de las mayores obras individuales que ha sobrevivido del Imperio Romano y que pretendía abarcar todo el conocimiento que en ese momento se tenía. Está dividida en 37 libros y su temática no se limita a lo que hoy conocemos como Historia Natural, sino que abarca temas de matemática, astronomía, geografía, zoología, botánica, farmacología, minería y muchas otras, incluyendo diverso tipo de leyendas, fábulas y rumores.

Esta *Historia Natural* llegó a ser el modelo de posteriores Enciclopedias, por la cantidad de temáticas y trabajos que abarca y las referencias que realiza de los autores originales. Plinio entiende que su obra es un aporte al pueblo romano y a todo el género humano para que pueda comprender mejor el mundo que lo rodea, presentándole un compendio de los conocimientos de la época acerca del universo y de muchas disciplinas prácticas (Ramos Maldonado 2013).

De los 37 libros que abarca la obra, los volúmenes 33 y 34 están dedicados a metales (principalmente a oro, plata, mercurio y bronce) y los últimos tres (35-37) se enfocan en variados aspectos de la mineralogía y sus aplicaciones. Aunque se discuten diversos aspectos de la extracción y de la fundición de metales, resulta claro que para Plinio el interés principal de los metales estaba relacionado a la fabricación de objetos de arte y los minerales como fuentes de productos farmacológico-médicos. Los procesos tecnológicos están descriptos muy brevemente y con escaso detalle, mostrando que Plinio nunca estuvo involucrado directamente en los mismos (Craddock 1994).

### 3.2.2. San Alberto Magno

Alberto Magno (también conocido como Albert von Lauingen o Albertus Coloniensis) nació en Lauingen/Baviera, probablemente hacia 1193. Estudió en Padua, Bolonia y París y en 1223 se incorporó a la Orden de los Dominicos. Fue un hombre muy activo, inquieto y dedicado, interesándose en una gran variedad de problemas y desarrollando una gran actividad docente, impartiendo clases en diversos lugares de Alemania, así como en París y transformándose pronto en una figura muy reconocida por su capacidad intelectual. Se dice que muchas veces sus clases debía dictarlas al aire libre porque no había espacio capaz de albergar al enorme número de interesados que querían escucharlo. Santo Tomás de Aquino fue uno de sus discípulos y de alguna manera fue el continuador de su obra teológica. Se interesó profundamente por las Ciencias Naturales adquiriendo un notable conocimiento de muchas de ellas. Alberto fue el primero en presentar a sus contemporáneos la obra de Aristóteles, así como los comentarios de los mismos contenidos en escritos hebreos y árabes y él mismo completó muchos de estos escritos con ideas de otros filósofos y con las suyas propias. Asimismo, bregó fuertemente para integrar la Ciencia con la Religión, buscando mostrar una visión del orden natural, basada en su visión filosófica del Cristianismo (Störig 1969; Cudeiro 2016).

Durante su vida logró acumular una enorme cantidad de escritos y de estudios. Esta actividad llegó a transformarlo en uno de los más grandes eruditos de Occidente y un santo de talla universal, de ahí el apelativo de Magno o “Doctor Universalis” que ha merecido en el campo del conocimiento.



También se destacó como filósofo y teólogo, dejando una gran cantidad de escritos místicos.

En 1254, el Papa Alejandro IV lo designa como Obispo de Regensburg, cargo que ocupó hasta 1263, en que regresó nuevamente a Colonia. En esa ciudad falleció el 15 de noviembre de 1280. Sus obras completas, recogidas en 21 volúmenes, fueron publicadas en Lyon en 1629. Fue beatificado en 1622 y en 1931 el Papa Pío XI lo proclamó Doctor de la Iglesia, lo que equivalía a su canonización. Más adelante, en 1941, Pío XII lo declaró Patrono de los estudiantes y científicos de las Ciencias Naturales (Cudeiro 2016).

San Alberto Magno nos dejó la obra mineralógica más importante y trascendente de la Edad Media, “*De Mineralibus Liber V*” (esto es, cinco libros sobre minerales), que fueron editados originalmente en Padua. En los libros I y II se habla de los minerales, en los III y IV de los metales y en el volumen V se describen lo que él llama “intermedios”, es decir los materiales ubicados entre minerales y metales (son los que genéricamente hoy llamaríamos sales). En el caso de los minerales se discute su probable origen, sus colores, porosidad y dureza. El libro II se dedica fundamentalmente a las piedras preciosas, describiéndose, en orden alfabético, 96 de ellas. En el caso de los metales, en el libro III se describen aspectos generales de ellos mientras que en el IV se describen fundamentalmente los metales Hg, Pb, Sn, Ag, Cu, Au y Fe. Finalmente, en el libro V se describen básicamente diversas sales como la halita, algunos sulfatos, el alumbre, el oropimente y la piritita, entre otros (Marx 1999).

Por otro lado, y como ya se mencionara anteriormente, el aislamiento inicial del arsénico siempre ha quedado también asociado a su nombre (Weeks 1932 b, Schwendt 2011).

### **3.2.3. *Ein nützlich Bergbüchlein***

El libro “*Ein nützlich Bergbüchlein*”, esto es “Un Útil Librito de Minería” fue uno de los primeros textos científicos y el primero en lengua alemana, dedicado a los minerales y a la minería. Fue publicado inicialmente alrededor de 1500, sin mención de su autor y del lugar de impresión (Armstrong y Lukens, 1939). Georg Agricola conocía muy bien esta obra y en su *De Re Metallica* la menciona varias veces, como un libro muy útil, y consideraba que su autor era Ulrich Rühle von Calw, conocido como Calbus Freibergius. La autoría parece haber quedado claramente confirmada por estudios posteriores (Pforr, 1996).

Se trata de un volumen pequeño de sólo 46 páginas y que contiene 13 grabados en madera (Fig. 2). Como forma literaria se utiliza un diálogo entre un experto que contesta las preguntas de su joven aprendiz. A lo largo de todo

el siglo XVI el libro tuvo varias reediciones (nueve, ya en los primeros 40 años luego de su aparición). También es interesante que la obra fuera escrita en idioma alemán y no en latín, que era la lengua en que habitualmente se presentaban los escritos científicos. Esto ya muestra claramente la intención del autor, que era la de difundir y popularizar las actividades y técnicas mineras entre sus conciudadanos. La explotación de plata en la región de Freiberg, donde se originó el texto, tenía ya una tradición de más de 300 años. Por esta razón los minerales superficiales ya estaban agotados y había que trabajar a profundidades cada vez mayores, lo que implicaba diversos novedosos desafíos técnicos que el libro trataba de mostrar.



Fig.2. Portada de una de las ediciones (1527) del “*Bergbüchlein*”.

En el diálogo se discute la posible génesis de los minerales, en una discusión fuertemente influenciada por ideas alquimistas y astrológicas. También se presentan los aspectos económicos relacionados a las explotaciones mineras que deberían considerarse antes de iniciar una explotación. Una parte importante del libro, dividido en 10 capítulos, está dedicado obviamente a la explotación de la plata pero también se discuten y analizan aspectos importantes relacionados a los metales Au, Cu, Fe, Hg, Sn y Pb. Asimismo, se hace una breve referencia a un metal que aparece asociado a algunos minerales de plata, en lo que podría ser la primera mención conocida referida al bismuto.

En lo que hace al autor del “*Büchlein*”, Ulrich Rülein, nació alrededor de 1465 en la pequeña ciudad de Calw (en el actual estado alemán de Baden-Württemberg) y a partir de 1485 estudió en la Universidad de Leipzig, donde en 1491 se graduó de “*Magister Artium*” y hasta 1497 prosiguió con estudios de Matemática y Medicina y mientras terminaba sus estudios de Medicina fue profesor de Matemática en la Universidad. Después de recibir el grado de

“*Doctor Medicinae*”, se trasladó a la ciudad de Freiberg en Sajonia, uno de los centros mineros más importantes de Europa. Allí desempeñó durante 25 años una intensa actividad como médico de la ciudad y médico personal del Duque de Sajonia (Enrique V de Sajonia-Meissner, apodado el Piadoso (1473-1541)), que residía en esa ciudad. Como médico también dejó sus huellas en el campo de la lucha contra la peste, publicando en 1521 un libro sobre este tema en el que da instrucciones muy precisas para el tratamiento médico y la curación de los enfermos. Asimismo, realizó también algunas modificaciones importantes en el cementerio más viejo de la ciudad (Donatsfriedhof, s. XII/XIII), para lograr la adecuada sepultura de los muertos infectados por la enfermedad. También fue por más de diez años (1509-1519) miembro del Consejo Administrativo y durante dos períodos (1514, 1517) fue el burgomaestre de la ciudad. En el marco de estas actividades se interesó y ocupó fuertemente en el mejoramiento de la enseñanza, logrando que en 1514 se creara una Gimnasio humanístico, que fue el primero de su tipo en Sajonia y en el que fundamentalmente se propugnó la enseñanza de conocimientos idiomáticos y de las ciencias naturales. Los alumnos más destacados de esta nueva Escuela fueron los dos hijos del Duque Enrique, Mauricio y Augusto. El primero sucedió a su padre en 1548 y el menor sucedió posteriormente a su hermano.

Debido al hecho de ser el médico personal del Duque Enrique, Rülein mantenía un contacto estrecho y continuado con el mismo llegando a ser también su asesor en todos los temas relacionados a la explotación minera. De esta manera, al descubrirse nuevos depósitos mineros explotables, en una región al sur de Chemnitz, el Duque le encomendó no sólo encargarse de la puesta en marcha de esa nueva explotación sino también de planear y supervisar la construcción de un pueblo minero en esa región, el que posteriormente llevó el nombre de St. Annaberg, y que en pocos años se transformó en una ciudad relativamente grande e importante dentro de Sajonia.

En 1519, y aparentemente debido a algunas desavenencias relacionadas con el funcionamiento del Gimnasio creado por él, se trasladó nuevamente a Leipzig, donde por poco tiempo fue profesor de Medicina en la Universidad de esa ciudad. En 1521 el Duque Enrique volvió a convocarlo de manera urgente, para encomendarle la planificación y construcción de un nuevo pueblo minero, que luego llevó el nombre de Marienberg. En el bosquejo de esta nueva ciudad Rülein utilizó por primera vez en Alemania, muchas nuevas ideas relacionadas con los enfoques urbanísticos del renacimiento italiano, llegando a crear una estructura general muy novedosa y atractiva. Seguidamente, se trasladó nuevamente a Leipzig, donde falleció en 1523 (Pforr 1996).

### 3.2.4. Vannoccio Biringuccio y su *Pirotechnia*

El libro “*De la Pirotechnia*” del italiano Vannoccio Biringuccio, publicado en Venecia en 1540, puede considerarse no sólo como el antecedente más cercano sino seguramente también como el más importante antes de la obra de Agricola.

Vannoccio Biringuccio nació en Siena en 1480 y falleció en Roma en 1539. Fue uno de los más influyentes hombres de la ciencia y la tecnología italiana del último período medieval. La literatura lo menciona como ingeniero, metalurgista, mecánico, fundidor de cañones y campanas, fabricante de armas, pólvora y fuegos de artificio, así como maestro constructor y arquitecto y experto en temas químicos. Sin embargo su trascendencia está claramente asociada a la edición póstuma de su obra “*De la Pirotechnia libri X.*” (Naumann, 2016).

Se ha logrado establecer que Biringuccio estudió Matemática y Ciencias Naturales y desde muy joven se interesó por las actividades mineras y por la metalurgia del hierro. Gozó de los favores de Pandolfo Petrucci, y luego de la muerte de éste, de su hijo Borghese Petrucci, ambos figuras políticas dominantes de Siena durante muchos años. La familia Petrucci le encomendó la supervisión de su explotación minera de hierro en Boccheggiano, al sur de Florencia y más tarde organizó para ellos y algunos asociados, varias explotaciones de plata en la región alpina. A raíz de estas actividades tuvo la oportunidad de realizar diversos viajes a lo largo de Italia y también de visitar Austria y Alemania, para interiorizarse de los procesos minero-metalúrgicos que allí se empleaban (Naumann 2016).

Debido a diversos vaivenes políticos y militares muy comunes entre los diferentes territorios que conformaban la Italia de esa época y debido a su relación con los Petrucci, en reiteradas oportunidades tuvo que exilarse de Siena junto a ellos, llevando a veces una vida errante, pero siempre rica en nuevos conocimientos y aprendizajes. En uno de esos exilios estuvo un breve tiempo radicado en Ferrara al servicio del Duque Alfonso I d’Este (1476-1534), un destacado hombre público y militar y famoso mecenas del Renacimiento. Posteriormente, en uno de sus regresos a Siena, fue nombrado Arquitecto del Estado. Asimismo, continuó con la construcción de cañones y la fabricación de pólvora y también consiguió por un tiempo el monopolio de la producción de salitre de todo el territorio de Siena. Durante un tiempo estuvo también al servicio de Pierluigi Farnese, hijo del Papa Paulo III. Por un tiempo se desempeñó también como Senador en Siena y realizó, asimismo, algunas tareas arquitectónicas importantes en la ciudad como sucesor del famoso artista y arquitecto Baldassarre Peruzzi (1481-1536), entre ellos algunos trabajos en la famosa Catedral de la ciudad. Finalmente en 1538, un año antes de su muerte, se trasladó a Roma, entrando al servicio del Papa Paulo III, primero como director de las fundiciones romanas, pasando luego a

desempeñarse como director de la fábrica de municiones y jefe de la artillería papal (Naumann 2016).

Su *Pirotechnia*, escrita en italiano, fue editada póstumamente en 1540 en la imprenta de Venturino Ruffinello en Venecia. Contenía 360 páginas y más de ochenta grabados ilustrativos (Fig.3).



Fig. 3. Portada de *De la Pirotechnia* (Venecia, 1540).

En la portada se lee “Los diez libros del arte de la pirotecnia en los que se tratan detalladamente los diferentes tipos de minerales, así también como todo lo necesario para su procesamiento, y también todo lo concerniente a la fundición de metales, y lo relacionado con ello” (Naumann 2016).

La obra está dividida en diez libros, cada uno de los cuales tiene una introducción seguida, en cada caso, de varios capítulos. El Libro I se ocupa de la búsqueda de minerales, a la explotación de canteras y minas, a las herramientas del minero y a la tecnología y obtención de metales (Fe, Au, Ag, Cu, Pb, Sn), así como a la fabricación de acero y latón. En el libro II se abordan otros metales, semimetales y no metales, entre ellos mercurio, azufre y antimonio, arsénico, sales diversas, gemas, vidrios y piedras preciosas. En el libro III se analiza la forma de preparar menas para la fusión y la obtención de metales a partir de sus minerales. En el libro IV se describe la separación de oro y plata y la obtención de oro muy puro, así como la preparación de ácido nítrico. El libro V se refiere fundamentalmente a aleaciones de oro y plata con cobre y de estaño con plomo. El libro VI se centra en la fundición de bronce y la preparación de moldes para la construcción de cañones y campanas. Toda

esta información se extiende en el libro VII, donde se analizan en mayor detalle los métodos para fundir metales y los materiales combustibles utilizados y también se discute la fabricación de municiones para cañones. En el libro VIII se analiza el trabajo con fundiciones pequeñas, destinadas a la elaboración de objetos de arte. El libro IX discute los procedimientos de destilación para la obtención de agua y aceites y los procedimientos de sublimación. Asimismo proporciona detalles sobre la fabricación de monedas y de alambres de Ag, Cu y Au. El último libro se ocupa de la preparación de pólvora y explosivos así como de la de fuegos artificiales para uso militar y festivo (Naumann 2016; Alonso 2019).

La obra tuvo rápidamente varias reediciones en italiano, aparecidas en 1550, 1558 y 1559 (todas editadas en Venecia) y otra en 1678 (en Bolonia). También aparecieron tres traducciones al francés (1556 y 1572 en París, y 1672 en Rouen) y, aparentemente, otras dos ediciones latinas en 1572 (París) y en 1658 (Colonia) (Naumann 2016). Recién en el s. XX la obra tuvo su primera traducción al inglés, en el año 1943, obra del científico e historiador de la Ciencia Cyril Stanley Smith (1903-1992), famoso por su participación en el Proyecto Manhattan, y de Martha Teach Gnudi (1908-1976), traductora e historiadora estadounidense.

Puede considerarse que la *Pirotechnia* fue el primer libro dedicado a la metalurgia en la historia de la Tecnología. Y como bien lo dijera Johann Beckmann (1738-1811) profesor de Economía en la Universidad de Göttingen, que fue el introductor del término “Tecnología” y unos de los iniciadores de la tecnología general como ciencia, “Vannoccio Biringuccio fue el primero en escribir en italiano una Metalurgia y al que cabe la distinción de no haber utilizado, como muchos de sus contemporáneos, información verdadera o falsa contenida en muchos libros, sino de haber realizado en Italia y fuera de ella, observaciones y estudios personales, a partir de los cuales logró presentar y enseñar de forma ordenada muchos trabajos metalúrgicos” (Beckmann 1783; Naumann 2016).

Aunque como se mencionara más arriba, durante su estadía en Italia Agricola visitó Siena, no hay evidencias directas de que hubiera conocido personalmente a Biringuccio aunque, obviamente, ambos llegaron a conocer los escritos del otro. Biringuccio conocía sin lugar a dudas el “*Bermannus, sive de re metallica*” y aunque en su obra no lo menciona explícitamente, en los primeros cinco libros de la misma se hacen evidentes algunas ideas planteadas por Agricola en ese texto. Por su parte, Agricola recibió en 1549 un ejemplar de la *Pirotechnia* como regalo de un monje veneciano y en su *De Re Metallica*, menciona y hace referencias a esta obra varias veces (Naumann 2016).

#### 4. *De Re Metallica*: el primer gran tratado de minería y metalurgia

La redacción y preparación de esta obra llevó una gran parte de la vida activa de Agricola. Ya desde la publicación de su *Bermannus* (1530) tenía aparentemente en mente dedicarse a la escritura de un manual extenso y completo sobre la minería y la metalurgia y todos los temas directamente conectados a ellos. Y se sabe que ya durante su estadía en St. Joachimsthal había comenzado a escribir y a acopiar material para el mismo (Naumann 2006).

Para el título de su obra más importante Agricola utilizó el término latino *metallum* cuya traducción significa tanto “metal” como “minería”, lo que, inicialmente, no permite una descripción exacta de su contenido, aunque el análisis del mismo muestra claramente que engloba a ambos términos (Naumann 2006). En la edición latina original (Fig. 4) los doce libros abarcan 477 páginas, seguidas de cuatro registros/índices. En el primero de ellos, latín-alemán, que abarca uno 1300 términos, se enumeran en forma ordenada los conceptos que aparecen en el texto. En el segundo, también latín-alemán, los conceptos se ordenan alfabéticamente, lo que permite definir muy claramente los diferentes términos técnicos y prácticos enumerados. El tercero es simplemente el índice de la obra en latín y abarca 1452 palabras. En el cuarto y último índice se enumeran brevemente las minas y regiones mineras mencionadas en el texto (Naumann 2006). Por otra parte, el libro está enriquecido con 292 grabados xilográficos, que serán analizados a continuación.

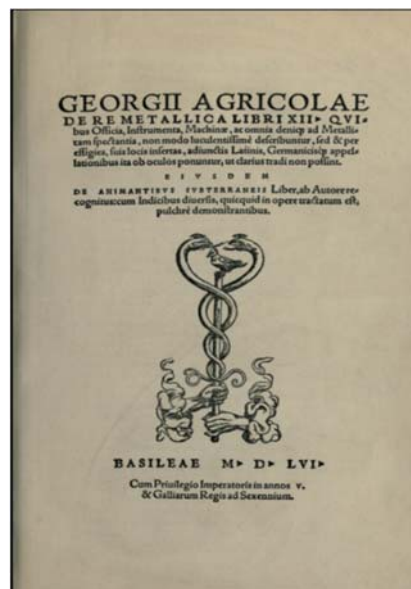


Fig. 4. Portada de la primera edición (1556) de *De Re Metallica*.

Agricola dio una gran importancia a la correcta ilustración de su texto, ya que consideraba esencial que el lector pudiera apreciar en forma clara y

directa muchas de las cuestiones y aspectos que en el mismo se presentaban y discutían. Por ese motivo, durante bastante tiempo estuvo buscando al dibujante adecuado a esos fines, hasta que finalmente lo encontró en Basilius Weffringer y parece estar probado que el mismo Agricola participó activamente, junto al dibujante, en la preparación de esas xilografías. De todas maneras, los grabados finales fueron realizados en Basilea y en la tarea parecen haber participado también dos jóvenes artistas locales, Hans Rudolf Manuel y Zacharias Specklin y es interesante de mencionar que esos moldes de madera se utilizaron también en varias de las ediciones posteriores de la obra y sólo unos pocos, que estaban algo dañados, tuvieron que ser reconstruidos (Naumann 2006).

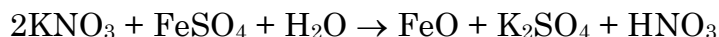
Los 292 grabados xilográficos pueden ser divididos en siete grupos, a saber: 1. Figuras geométricas y planos (23); 2. Instrumentos de medida y diversos aparatos (28); 3. Escenas de explotaciones mineras (32); 4. Construcción de minas y máquinas utilizadas (47); 5. Instalaciones de procesamiento (65); 6. Instalaciones mineras (71); 7. Recuperación de sal, obtención de vidrios (26) (Naumann 2006).

Analicemos a continuación el contenido de los doce libros que conforman la obra. En el Libro I se hace una defensa general de la importancia de la minería, de la actividad minera y del minero. Esto da un contexto interesante a la obra desde su inicio, ya que hasta ese entonces la minería solía estar en manos de expertos y artesanos que generalmente no estaban dispuestos a compartir sus conocimientos. Las experiencias de esta especie de *élite minera* se habían acumulado durante siglos y eran transmitidas oralmente. El libro II trata de la localización de minerales y el establecimiento de minas. Incluye interesantes referencias sobre plantas indicadoras específicas de ciertos minerales, así como los aspectos generales de la vegetación sobre los depósitos mineros. El libro III se refiere a la naturaleza de los minerales y a su posible origen. En el libro IV se analizan las metodologías utilizadas en las mensuras de los depósitos. El libro V trata de la forma de explotación de una mina, presentando diversas metodologías de trabajo, así como el arte de la clausura de los fondos de las minas. En el libro VI se presentan y discute la utilización de herramientas, aparatos y máquinas utilizadas en la explotación minera, incluyendo como aspecto importante la descripción de varios sistemas para mover y transportar agua, así como la ventilación de las minas. El libro VII trata del análisis de los minerales, presentando metodologías analíticas adecuadas para diferentes casos. El libro VIII analiza las diferentes metodologías para los trabajos de tostación, lavado, trituración y secado. El libro IX trata de todos los aspectos de la fundición, incluyendo los hornos a utilizar en diferentes casos y su construcción. El libro X analiza la purificación de metales nobles, incluyendo el refinado de Ag por copelación y la separación de Au y Ag, así como de estos dos metales del Pb. Estos procedimientos se extienden en el libro XI, a la separación de Cu y Ag por diversas metodologías. Finalmente, en el libro XII se describen procedimientos para la obtención de



sal, soda, salitre, alumbre, azufre, vitriolo, bitumen y vidrio (Craddock 1994; Naumann 2006).

Analizaremos a continuación algunos aspectos importantes e interesantes, tratados en los diferentes libros, un poco más detalladamente. La producción de sales como el salitre, alumbre, sal, vitriolo y soda, así como la de azufre y bitumen evidentemente están incluidas en la obra por tratarse de productos obtenidos en minas y esta sección del Libro XII es invaluable porque estos productos nunca habían sido discutidos en forma tan detallada anteriormente. Además, algunos de ellos constituían la materia prima para la elaboración de otros productos químicos, necesarios para algunos procesos metalúrgicos (Craddock 1994). En particular, la fabricación del ácido nítrico (el *aqua fortis* de los alquimistas), al que Agricola llama *aqua valens*, que se fabricaba por destilación de salitre con alumbre,  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , o vitriolo,  $FeSO_4$ , y agua:



Por otra parte, Agricola justifica la inclusión de la fabricación de vidrios en este último libro debido a que los álcalis utilizados también eran productos mineros, aunque en realidad en esa época la mayor parte del álcali utilizado en la manufactura de vidrios provenía de cenizas de plantas (Craddock 1994).

En los Libros X y XI se dan descripciones muy completas sobre la obtención y purificación de Au y Ag, en presencia de diversos otros metales. Así, se analiza muy detalladamente la refinación de Ag por copelación y se dan instrucciones detalladas sobre la fabricación de las copelas a partir de diferentes materiales naturales, como huesos, maderas, astas, etc. En el caso de la separación de Au y Ag se analizan primeramente, y en forma muy detallada, los llamados procesos de cementación en estado sólido, que ya eran bien conocidos y utilizados en la época (Billinger 1929; Craddock 1994). El proceso consistía básicamente en una reacción en estado sólido en la cual se mezcla oro (impurificado por plata) finamente dividido, en forma de laminillas o gránulos, con sal común ( $NaCl$ ) y arcilla en polvo (o polvo de ladrillos) en un crisol tapado. Esa mezcla se calienta por unas horas, a temperaturas por debajo de los 1000 °C y durante ese proceso la plata se transforma en  $AgCl$ , que luego puede ser removido, dejando al Au libre de Ag. En este proceso en lugar de  $NaCl$  también puede utilizarse una mezcla de nitro ( $KNO_3$ ) y vitriolo verde ( $FeSO_4$ ). Asimismo, se describe la posibilidad de generar sulfuros en lugar de cloruros en el proceso de cementación. En este caso la mezcla que se calienta es el oro impuro con azufre. En este caso, las impurezas forman sulfuros metálicos y el oro no reacciona. Alternativamente, en lugar del azufre puede utilizarse estibnita ( $Sb_2S_3$ ), y este material permite trabajar a temperaturas más elevadas que el azufre.

Agricola analiza también en detalle una tecnología más novedosa, como lo es la utilización de ácidos fuertes, para hacer separaciones en solución, utilizando especialmente el *aqua valens* ( $\text{HNO}_3$ ) que disuelve la plata pero no el oro (Craddock 1994). Como es sabido, el oro se disuelve en *aqua regia* y esta puede ser una metodología final de purificación. En la época de Agricola el *aqua regia* se obtenía disolviendo *sal ammoniac* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  natural) con  $\text{HNO}_3$ , obteniéndose una mezcla de  $\text{HCl}$  y  $\text{HNO}_3$  (agua regia). En este caso, si había impurezas de  $\text{Ag}$ , las mismas volvían a precipitar como  $\text{AgCl}$  y el  $\text{Au}$  quedaba disuelto en la solución de donde podía ser recuperado por evaporación y calentamiento del residuo obtenido. De todas formas Agricola estima que los métodos de cementación en fase sólida resultan más adecuados y controlables que el trabajo en solución (Craddock 1994).

Los diversos aspectos de la fundición, incluyendo los hornos y fuelles necesarios para su funcionamiento se tratan en forma muy detallada y descriptiva en el Libro IX. Aquí se encuentra también la primera descripción de la utilización de carbón triturado en los hornos refractarios, como manera de disminuir su erosión por las escorias. Se describe una gran variedad de procesos de fusión y hornos adecuados para el procesamiento de un amplio rango de metales, incluyendo un muy curioso método para la condensación de mercurio (Craddock 1994). La descripción de hornos incluye hornos de fusión así como los llamados hornos bajos (Rennöfen) que se utilizaban principalmente en la metalurgia del hierro, así como hornos pequeños de laboratorio, utilizables con fines analíticos y hornos adecuados para la destilación, en la obtención de ácidos minerales. Asimismo, se describen algunos hornos de dimensiones muy grandes con la aparente idea de utilizarlos ya en procesos industriales complejos. En estos casos, Agricola da detalles muy precisos sobre la forma y tamaño de los ladrillos a usar en su construcción y asimismo, propone que algunos de estos hornos más grandes deberían ser móviles, para lo cual diseña también sistemas de grúa adecuados para su traslado y movimiento (Humberg 2009). Los sistemas de beneficio de minerales son tratados exhaustivamente en el Libro VIII, incluyendo los procesos de trituración y de tostación, con una excelente descripción de varias trituradoras y sistemas relacionados. Así, por ejemplo, en la Fig. 5 se muestra un molino triturador, descrito aquí por primera vez en forma muy detallada y precisa. para su traslado y movimiento (Humberg 2009). Los sistemas de beneficio de minerales son tratados exhaustivamente en el Libro VIII, incluyendo los procesos de trituración y de tostación, con una excelente descripción de varias trituradoras y sistemas relacionados. Así, por ejemplo, en la Fig. 5 se muestra un molino triturador, descrito aquí por primera vez en forma muy detallada y precisa.



Fig. 5. Molino triturador de minerales.

En el mismo Libro hay también una extensa sección dedicada al lavado de minerales y a la recuperación de oro por amalgamación con mercurio (Craddock 1994).

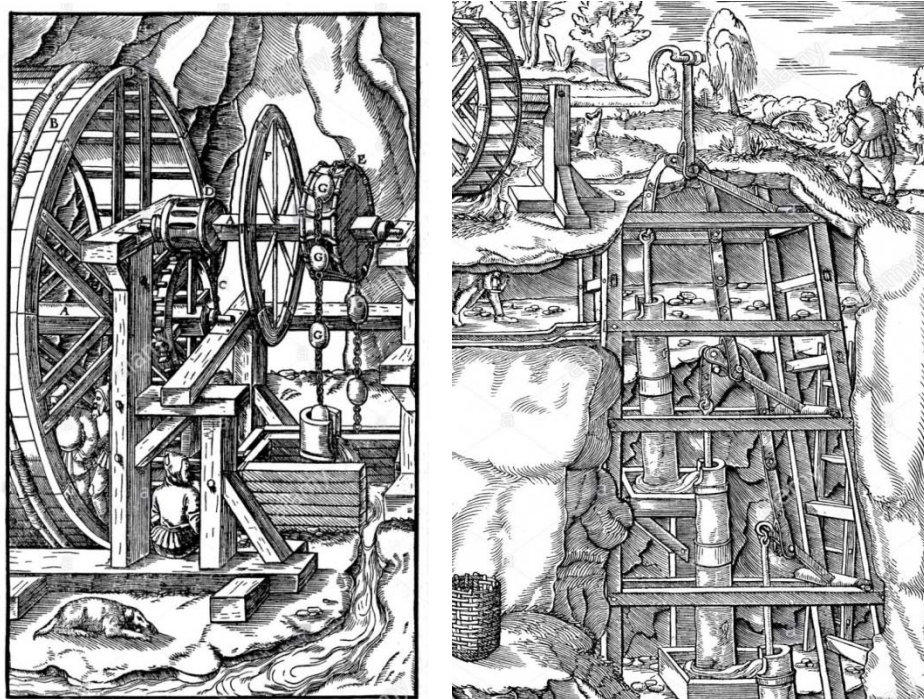
En el Libro VII se tratan detalladamente los métodos de análisis de minerales y metales. Si bien siempre se ha dicho que recién en el s. XVIII, y con la aparición de la balanza analítica, se inician los métodos cuantitativos de investigación, ya en el s. XVI había una rama del análisis que había alcanzado un grado de desarrollo notable y es lo que en esa época se llamaba el arte de los ensayos (Billinger 1929).

Ya desde comienzos del s. XVI fueron apareciendo en Alemania una serie de libritos anónimos bajo el título de *Probierebüchlein*, del tipo del analizado en la Secc. 3.2.3., y que contenían colecciones de metodologías y descripción de técnicas para ensayos químicos de diverso tipo de materiales. Agricola no solo terminó por reunir toda esa información sino que la amplió notablemente con datos y sugerencias obtenidas de su propia experiencia. Este Libro VII de su *De Re Metallica* se inicia con una explicación pormenorizada del material requerido para realizar estos ensayos, esto es, hornos, crisoles, fundentes, etc. Asimismo, hay una descripción detallada de los varios tipos de crisoles a utilizar en diferentes operaciones y la manera de construirlos. Luego se describen de manera detallada métodos para el ensayo de minerales de Au, Ag, Cu, Pb, Sn, Bi, Fe y Hg. Más adelante se describe el uso de la llamada técnica de la piedra de toque para determinar la composición aproximada de Au y Ag en una aleación. Este método consiste en comparar la ralladura que hace sobre una superficie de jaspá (o algún material pétreo similar) la

aleación desconocida con la ralladura hecha por agujas de composición conocida. Para esta operación Agricola menciona cuatro tipos de agujas testigo: Au/Ag, de Au/Cu, Au/Ag/Cu y Ag/Cu. Por otro lado, Agricola describe también tres tipos de balanza que utilizaba en estos ensayos y un sistema de pesas por él diseñado para su uso con esas balanzas (Billinger 1929).

Una de las secciones más importantes y valiosas se encuentra en el Libro VI y está relacionada con la descripción de varios sistemas para transportar y elevar agua, así como a la utilización del agua para mover molinos y máquinas de trituración. En ninguna otra publicación previa se alcanzó un tan elevado grado de meticulosidad en la descripción de estos sistemas, los que además están magníficamente ilustrados, como puede verse en los dos ejemplos presentados en la Fig. 6.

Muchas de estas bombas que se encontraban ampliamente distribuidas en diferentes regiones mineras de Alemania, y movidas por enormes ruedas de agua, estuvieron operativas durante más de tres siglos y pueden ser visitadas aún hoy en diferentes museos mineros, por ejemplo en Rammelsberg y en la Grube Samson en St. Andreasberg, en las montañas del Harz, o en Mansfeld, en los propios Montes Metalíferos (Craddock 1994).



**Fig. 6.** Dos de los sistemas de bombeo de agua descritos e ilustrados en el Libro VI de *De Re Metallica*.

Uno de los aspectos más interesantes y valiosos, que incluso trascienden claramente hasta la actualidad, se mencionan en el Libro II, donde se indica que algunas plantas muestran la propiedad de acumular ciertos metales, lo

que genera diversos cambios en sus colores y formas de crecimiento, y sugiere la utilización de esta observación empírica, en la búsqueda y localización de determinadas vetas metalíferas (Craddock 1994; Farago 1994). Esta sugerencia constituye la base de lo que actualmente denominamos geobotánica y que luego se transformó en la llamada prospección biogeoquímica, la que incluye la aplicación de métodos analíticos a las plantas, para detectar o confirmar mineralización.

Las plantas responden claramente al entorno geológico en el cual se desarrollan y crecen y muestran variaciones características respecto a su forma, tamaño, color, velocidad de crecimiento y efectos tóxicos. La Geobotánica usa estas variaciones producidas por el entorno, en base al análisis visual de la vegetación reconociendo poblaciones de plantas específicas y la presencia o ausencia de ciertas variedades, asociadas a la presencia de determinados elementos (Farago 1994; Haldar 2013). La vegetación puede revelar la presencia de depósitos minerales de diversas maneras: a) comunidades anómalas de plantas indicadoras específicas de uno o más elementos; b) “vegetación fuera de contexto” que aparece entre especies que ocurren comúnmente en un área determinada; c) cambios en la abundancia relativa de ciertas especies características de una región; d) aspectos morfológicos inusuales; e) síntomas de desórdenes fisiológicos; f) niveles anormales de elementos detectados en el tejido vegetal por métodos analíticos (Cannon 1960; Farago 1994). Muchas de estas plantas indicadoras pertenecen, obviamente, al grupo de las que habitualmente se denominan hiperacumuladoras de metales (Brooks 1994; Callahan et al. 2006; Rascio y Navari-Izzo 2011; Baran 2021a,b). En las Figuras 7 y 8 se muestran tres ejemplos bien conocidos de este tipo de plantas indicadoras.



**Fig. 7.** *Pycandra acuminata* (antes llamada *Sebertia acuminata*) una planta que se desarrolla fuertemente en suelos ricos en níquel. Es una de las más importantes hiperacumuladoras conocidas de este elemento.



**Fig. 8.** *Aeollanthus myrianthus* (izq.) una planta que se desarrolla sobre suelos ricos en cobre; *Astragalus bisulcatus* (der.) una planta que crece en suelos ricos en selenio.

Ya hacia fines del siglo pasado algunos investigadores habían sugerido la utilización de fotografías aéreas y de imágenes satelitales para realizar este tipo de estudios de prospección biogeoquímica (Farago 1994). Y estas metodologías fueron ganando creciente aceptación y utilización en pocos años (Nagendra 2001; Xie et al 2008; Morgan et al. 2010).



**Fig. 9.** Monitoreo de vegetación utilizando un dron pequeño.

El sensado remoto utilizando aeroplanos o imágenes satelitales provee información sobre la distribución general de tipos de vegetación sobre grandes áreas, pero no permite obtener resolución espacial o temporal para la determinación de la distribución de especies individuales y esta situación ha logrado resolverse en gran medida mediante la utilización de drones (Fig.9),

y fundamentalmente de drones de tamaños pequeños (small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones)) (Cruzan et al. 2016; Tay et al. 2018).

#### 4.1. Otras ediciones de la obra

Ya después de la primera edición en latín, editada como se dijo en 1556 en Basilea, al año siguiente apareció ya una primera edición en lengua alemana, que fue editada también por Froben en Basilea bajo el título “*Vom Bergwerck XII Bücher*”. El traductor fue un tal Philipp Bechi o Bechius (Jenny 1955; Naumann 2006). Esta primera edición alemana parece haber tenido escaso éxito probablemente porque la traducción carecía de dinamismo y hacia muy pesada la lectura (Naumann 2006). En 1561 Froben publicó una segunda edición en latín y dos años después una versión en italiano con el título “*Opera di Giorgio Agricola de l’arte de metalli partita in XII libri*”. El traductor de esta edición fue el monje florentino Michelangelo Floria (Jenny 1955).



Fig. 10. Portada de la cuarta edición en latín (1657).

Dado que la edición alemana no alcanzaba a venderse bien, Froben pasó los volúmenes no vendidos al editor Sigmundt Feyerabendt de Frankfurt. Este cambió la portada original y comenzó a vender el libro alrededor de 1580 bajo el título “*Berckwerck Buch*” (Naumann 2006). A partir de 1621 el editor Ludwig König se hizo cargo de la sucesión de Froben en Basilea y editó una

nueva edición en alemán. A esta siguieron una tercera (1621) y cuarta (1657) edición en latín. Para ellas se siguieron utilizando mayoritariamente las xilografías originales que todavía se conservaban en muy buen estado después de 101 años de haber sido confeccionadas.

A la última edición en latín (1657) se agregaron también todos los otros trabajos geológico-mineralógicos de Agricola (como puede verse claramente en la portada de esa edición, Fig.10) lo que produjo un texto de 708 páginas y que dieron gran valor a esta recopilación completa de trabajos de Agricola y quedó como la primera y única edición completa de sus trabajos dedicados a la minería (Naumann 2006).

En 1569, Bernardo Pérez de Vargas publicó, en Madrid, una edición en español, sin las figuras del texto original. Esta traducción parece haber tenido una rápida difusión en todo el mundo hispano parlante, fundamentalmente porque no había mucha literatura técnica que pudiera aprovecharse en las explotaciones mineras del Nuevo Mundo (fundamentalmente en el Alto Perú y en México) y luego parece haber llevado a la publicación del “Arte de los Metales” de Alvaro Alonso Barba. También había indicios de que *De Re Metallica* o parte de ella, había sido traducida al chino en los años 1640/43. Aparentemente la obra llegó allí a través de un jesuita holandés y la traducción podría haber sido realizada por el jesuita alemán Johann Adam Schall von Bell. Lamentablemente, nunca se había podido encontrar ningún ejemplar de esa traducción, hasta que en 2015 se encontró una copia de esa versión china en la Biblioteca de Nanjing (Vogel 2018). En los siglos siguientes, y fundamentalmente en el s. XVIII, se reeditaron varias veces algunos libros de la obra, en diferentes lugares de Alemania. El s. XX comenzó con una traducción al polaco (1903) a la que siguieron bien pronto traducciones al húngaro, ruso, checo y japonés y algunas nuevas ediciones en alemán e italiano. Una mención muy especial y destacada merece la traducción al inglés realizada por el futuro presidente estadounidense Herbert C. Hoover y su esposa Lou Henry Hoover (Fig. 11).

Hoover había estudiado en la Universidad de Stanford, donde en 1895 se graduó como Ingeniero en Minas. La que luego fuera su esposa también estudió en la misma Universidad y se licenció en geología, siendo la primera mujer en graduarse en esa especialidad en Stanford, y también se dedicó posteriormente a estudios de filología clásica. Inicialmente, Hoover trabajó durante varios años para una importante compañía minera británica, lo que lo llevó por un tiempo a Australia y luego, ya casado, el matrimonio vivió varios años en China. Finalmente llegó a ser socio operativo de la empresa y el matrimonio viajó continuamente por el mundo y también comenzó a gestionar minas e industrias de capital estadounidense en diversos lugares, logrando amasar una importante fortuna personal.





Fig. 11. Herbert C. Hoover (1874-1964) y Lou Henry Hoover (1874-1944).

Después de la Primera Guerra Mundial, Hoover empezó a actuar crecientemente en política. Así, llegó a ocupar el cargo de Secretario de Comercio en la administración del presidente Warren G. Harding en el año 1921; cuando Harding falleció en 1923, fue sucedido por el vicepresidente Calvin Coolidge pero Hoover mantuvo su mismo puesto, alcanzando gran notoriedad por sus capacidades administrativas y de gestión pública. Esto causó que Hoover se hiciera bastante conocido entre los votantes y que sus capacidades administrativas fueran requeridas crecientemente en diversos temas y ámbitos gubernamentales. Su popularidad condujo al Partido Republicano a postularlo como candidato a las elecciones presidenciales de 1928, transformándose de esta manera en el 31° Presidente de los EEUU de NA y gobernando entre marzo de 1929 y marzo de 1933.

En uno de sus viajes por Europa durante 1903 compró en Italia una de las ediciones de *De Re Metallica* quedando fuertemente impresionado y fascinado por la misma. Y esta fascinación llevó al matrimonio a encarar una traducción moderna del mismo al idioma inglés. Para la impresión final de la obra se usó un papel de gran calidad lo que permitió una excelente reproducción gráfica de todas las figuras del original. El trabajo llevó unos cinco años y finalizó en 1912 en que se publicó una edición de 3000 ejemplares, financiada en forma privada por los traductores. De esta edición sólo se vendieron unos pocos ejemplares ya que la mayoría de ellos fueron regalados por Hoover a amigos, conocidos y colegas. En una Introducción se elogia a Agricola diciendo que “su estilo es excepcionalmente claro en comparación al de sus contemporáneos que escribieron sobre estos mismos temas y seguramente también que al de muchos de sus continuadores, en cualquier idioma, durante los siglos siguientes” (Naumann 2006). Una edición más reciente de esta traducción fue publicada en 1950 por Dover Publishers, en Nueva York.

La traducción inglesa se hizo en base al original latino, resultando especialmente complejo encontrar traducción inglesa moderna para muchos términos latinos. Por este motivo, los traductores decidieron incorporar al texto una infinidad de notas de pie de página, para hacer más comprensible el texto. Esta modalidad enriqueció notablemente su trabajo, ya que en muchos casos proporciona informaciones adicionales muy valiosas (Billinger 1929; Naumann 2006).

Durante casi todo el siglo XIX la obra había quedado prácticamente ignorada y nadie había pensado en encarar una traducción moderna, de tal forma el trabajo de los Hoover causó un fuerte impacto y abrió nuevos e inesperados caminos para su apreciación. Es más, en su Introducción Hoover manifiesta su asombro ante el hecho de que los propios conciudadanos de Agricola todavía no hubieran encarado una buena traducción al idioma alemán. A partir de este desafío, varios estudiosos y organizaciones alemanas decidieron dedicarse a esta tarea, cuya ejecución fue finalmente encomendada a la Sociedad de Ingenieros Alemanes quien asignó la organización del trabajo al Prof. Dr. Carl Schiffner, de Freiberg. El mismo conformó un grupo de trabajo con diversos expertos de Munich, Breslau, Magdeburgo y Freiberg. Finalmente en 1928 se editó en Berlin la moderna edición alemana con el título “*Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen*”. Para la reproducción de las figuras volvió a utilizarse la versión latina original de 1556. Posteriormente, en 1974, apareció una nueva edición alemana publicada en Dresde por el Museo Estatal de Mineralogía y Geología (Naumann 2006).

---

## 5. El “*Arte de los Metales*” de Álvaro Alonso Barba

Para finalizar este artículo parece especialmente interesante comentar brevemente una obra de características y enfoques similares a *De Re Metallica*, publicada en español y que tuvo un fuerte y perdurable impacto en la América Colonial. Se trata del “*Arte de los Metales*”, escrito por el sacerdote andaluz Álvaro Alonso Barba (1569-1662) y publicado en Madrid, en 1640. La obra ha sido considerada siempre como la única obra de metalurgia realmente original de todo el s. XVII y una de las más importantes e influyentes en la historia de la ciencia (Calvo y Sevillano 1998). Aunque no existen claras evidencias al respecto, es muy probable que Barba haya conocido la traducción de Pérez de Vargas del texto de Agricola (Naumann 2006).

La obra está dividida en cinco libros (Calvo y Sevillano 1998) y en ellos no sólo se reseñan los procesos utilizados localmente para la extracción y fundición de metales, sino también las características de los hornos empleados y de todas las herramientas y sistemas auxiliares utilizadas en estos procesos. Asimismo, contiene una importante cantidad de información sobre el procesamiento de oro, plata, cobre, plomo, estaño y antimonio y muchas de sus aleaciones. Al poco tiempo de su aparición alcanzó una rápida

y amplia difusión no sólo en Europa sino también en Sud América y aún durante el siglo siguiente, tuvo dos ediciones más en español, y también fue traducida varias veces al inglés, alemán y francés. Con el correr del tiempo llegó a denominarse simplemente “*Código Minero*”, debido a la aceptación que había alcanzado y a su prolongada influencia en las actividades extractivas y metalúrgicas durante más de dos siglos. Fue gracias a los trabajos de Barba, que en el Alto Perú se logró implantar definitivamente el método desarrollado por él y conocido como *cazo y cocimiento* (amalgamación en caliente), y en los primeros años del siglo XVII había miles de hornillos en las laderas del Cerro de Potosí y zonas aledañas produciendo todos ellos, con muy pocos gastos, abundante cantidad de plata muy pura (Baran 2010 a,b).

---

## 6. Comentarios finales

La principal razón de la duradera importancia de “*De Re Metallica*” y de su permanencia está seguramente ligada a su contenido, a la exactitud y claridad de su mensaje, así como a la elaborada presentación de todos los detalles. Todas sus páginas muestran un conocimiento preciso y fundamentado, basado en largos estudios y en la directa experiencia personal de su autor. Estas cuestiones quedan también reflejadas en la enorme cantidad de xilografías, muchas veces de alto contenido artístico, que ilustran con claridad y precisión todo lo que la obra describe. Y como ya se mencionara, también estas figuras muestran claramente la intervención del autor en su preparación. Estas figuras, incluso, aportan muchas veces detalles importantes para la construcción de los aparatos o sistemas descriptos.

Por otra parte, Agricola fue claramente un hombre del Renacimiento, todas sus descripciones son claras y precisas, dejando de lado todo lo que no sea pertinente a sus argumentos. Por otro lado, y como lo dice explícitamente en su texto, sentía una fuerte necesidad de elaborar este vasto compendio porque no existían todavía estudios sistemáticos sobre la producción de metales, especialmente si se los comparaba con la vasta literatura elaborada por los alquimistas y muchos otros que se dedicaban a tratar de producir oro. Pocos habían escrito sobre la minería y la metalurgia anteriormente y nunca antes y aún mucho tiempo después, en ese estilo claro y mundano y con tantos detalles técnicos y todos ellos perfectamente ilustrados y detalladamente comentados. Esto convierte a “*De Re Metallica*” en un manual instructivo totalmente necesario y lo transforma también en una herramienta sumamente valiosa para la historia de la ciencia.

La lectura de la obra muestra claramente que estamos ante un nuevo enfoque de la mineralogía. Agricola logró aunar muchos de los conocimientos antiguos ya establecidos, con sus conocimientos prácticos, cimentándolos en lo posible con una base teórica seria y comprensiva, y tratando de lograr herramientas de aplicabilidad práctica. Y en todo su texto queda bien

remarcado, como en ninguna otra obra técnica anterior, que era lo que aún no se sabía y que era lo que había que preguntar, investigar y clarificar. Está claro que en los comienzos del s. XVI se comenzaron a abrir nuevos caminos en muchas de las Ciencias, pero también comenzó de alguna manera la especialización. Y “*De Re Metallica*” muestra también muy claramente que un minero o metalurgista debería poseer no sólo conocimientos de geología y minería, sino también del arte de la matemática, el dibujo y la construcción, así como de pesos y medidas y de técnicas analíticas, entre otras habilidades (Marx 1999).

En ese sentido también es valioso considerar el impacto que la obra tuvo para el desarrollo de las Ciencias Químicas. Generalmente se considera que los orígenes de la química moderna arrancan inicialmente del trabajo de los alquimistas así como de los primeros médicos renacentistas. Si bien en muchos de los escritos dejados por los alquimistas se mezclan charlatanerías y especulaciones ridículas con conceptos más serios, es evidente que ellos, muchas veces a partir de sus conocimientos empíricos, lograron avances interesantes en algunos campos y nos legaron algunos métodos básicos de trabajo, que luego fueron claramente aprovechados por la Química. Así, la destilación, la filtración, la sublimación, la digestión y la extracción, fueron procesos bien conocidos y utilizados profusamente por los alquimistas y algunas de sus herramientas de laboratorio, constituyen también la base de nuestro equipamiento de trabajo actual. Por otro lado, con el correr del tiempo habían logrado desarrollar métodos adecuados para preparar y purificar numerosos compuestos químicos de interés (alumbres, bórax, sal ammoniac, salitre, hidróxidos metálicos y ácidos (níttrico, sulfúrico, acético, *aqua regia*). Asimismo, la participación de la Medicina en el desarrollo de la Química, también es bastante evidente, ya que aún en épocas anteriores a Paracelso y más aún luego de Paracelso, se interesó fuertemente en la utilización de las más variadas formulaciones químicas naturales (tanto minerales como botánicas) para el tratamiento de enfermedades (Ihde 1956).

Pero lo que no siempre es claramente reconocido por todos los estudiosos de la Historia de la Química, es el impacto que tuvo la metalurgia y la minería en el inicio y desarrollo de esta Ciencia. Sin embargo, ya los antes mencionados Berg- y Probier-Büchlein, generados a partir de la actividad minera, contienen una abundante cantidad de información química y lo mismo se daba, como también vimos, en los escritos sobre minerales de San Alberto Magno y en varios capítulos de la *Pirotechnia*. Y, finalmente en “*De Re Metallica*” todo el libro XII está básicamente dedicado al estudio de varias sales mientras que en otros libros también se habla de la utilización de ácidos, bases y sales fundentes y sus propiedades generales. Lo mismo puede decirse en el caso del “*Arte de los Metales*” y también deben mencionarse los trabajos de Lazarus Ercker (1528/30?-1594), sucesor inmediato de Agricola, y que trabajó en numerosos emprendimientos mineros de Europa Central, al servicio de al menos tres Emperadores, cuyo “*Probier Buch*” de 1574, a veces

llamado también “*Aula Subterranea*”, y que tuvo numerosas re ediciones y traducciones a varios idiomas, contiene una gran información de metodologías químicas sobre todo en relación al análisis y caracterización de minerales, metales y sales, describiendo además con suma claridad numerosas técnicas y procedimientos analíticos (Armstrong y Lukens 1939; Marx 1999). Es decir todos estos libros, no son solamente tratados de metalurgia y minería sino que constituyen también obras de contenidos químicos importantes y valiosos.

La influencia de las artes mineralógicas sobre la Química se ve no sólo en todas las obras citadas, sino también en el hecho de que aún en los siglos siguientes muchos científicos compartían intereses mineralógicos y químicos. Un ejemplo importante lo encontramos en el nombre de Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), uno de los padres de la Química moderna, y de muchos de sus discípulos, así como en otros químicos suecos tales como Georg Brandt (1694-1768), Torbern Olof Bergman (1735-1784), Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) o Per Theodor Cleve (1840-1905), así como en los españoles Andrés Manuel del Río (1764-1849) o los hermanos Juan José (1754-1796) y Fausto (1755-1833) D’Elhuyar, el francés Louis Nicolás Vauquelin (1763-1829) o el alemán Martin Heinrich Klaproth (1743-1817). Como conclusión final de este breve análisis parece ser correcto afirmar que la metalurgia, conjuntamente con la alquimia y la medicina constituyen los tres pilares de las Ciencias Químicas modernas (Ihde 1956).

---

## Referencias

- Agricola-Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Alonso R (2019) Biringuccio y la Pirotechnia, “El Tribuno”, Salta, 29.12.2019.
- Armstrong EV, Lukens HS (1939) Lazarus Ercker and his “Probierbuch”. Sir John Pettus and his “Fleta Minor”. *Journal of Chemical Education*, 16:553-562.
- Baran EJ (2010a) Las ciencias exactas y naturales. En: En Torno a 1810, Publicación de las Academias Nacionales en Homenaje al Bicentenario de la Revolución de Mayo, Abeledo-Perrot, Buenos Aires (Argentina), pp.79-116.
- Baran EJ (2010b) Homenaje a algunos de los precursores de las ciencias en el Río de la Plata, en el año del bicentenario de la Revolución de Mayo. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 62:31-36.
- Baran EJ (2021a) Hiperacumulación de metales por plantas. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 72:76-113.
- Baran EJ (2021b) Comentarios sobre la hiperacumulación de metales por plantas. En: Baran EJ *Metaloenzimas de plantas (Serie Publicaciones Científicas N° 17)*, Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, pp. 145-158.
- Beckmann J (1783) *Beyträge zur Geschichte der Erfindungen*, Kummer, Leipzig (Alemania), pp. 133.
- Billinger RD (1929) Assaying with Agricola. *Journal of Chemical Education*. 6:349-354.
- Brooks RR (1994) Plants that hiperaccumulate heavy metals. En: Farago ME (ed.). *Plants and the chemical elements*, Verlag Chemie, Weinheim (Alemania), pp.87-105.
- Callahan DL, Baker AJM, Kolev SD, Wedd AG (2006) Metal ion ligands in hiperaccumulating plants. *Journal of Biological Inorganic Chemistry* 11:2-12.
- Calvo N, Sevillano E (1998) Alvaro Alonso Barba y “El Arte de Los Metales”. *Química e Industria*, 45:106-111.
- Cannon HL (1960) Botanical prospecting for ore deposits. *Science* 132:591-598.
- Craddock PT (1994) Agricola, *De Re Metallica*, a landmark in the history of metallurgy. *Endeavour*, 18:67-73.

- Cruzan MB, Weinstein BG, Grasty MR, Kohn BF, Hendrickson EC, Arredondo TM, Thompson PG (2016) Small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones) in plant ecology. *Applications in Plant Sciences* 4:1600041.
- Cudeiro V (2016) San Alberto Magno. En: Martínez-Puche JA (ed.) *El año dominicano. 800 años de santidad en la Orden de los Predicadores: santos, beatos, venerables y siervos de Dios*, Edibesa, Madrid (España), pp. 1230- 1241.
- Farago ME (1994) Plants as indicators of mineralization and pollution. En: Farago ME (ed.) *Plants and the chemical elements*, Verlag Chemie, Weinheim (Alemania), pp. 221-240.
- Haldar SK (2013) Mineral exploration. En: Haldar SK (ed.) *Mineral Exploration: Principles and applications*. Elsevier, Amsterdam (Países Bajos), pp.55-71.
- Humberg O (2009) Schmelzöfen bei Georgius Agricola, Andreas Libavius und Johann Daniel Mylius. 18. Agricola Gespräch (11.12.2009). Agricola- Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Ihde AJ (1956) The pillars of modern chemistry. *Journal of Chemical Education* 33:107-110.
- Jenny BR (1955) Die Übersetzungen von Agricolas «De re metallica» als Beispiel für die Verbreitung wissenschaftlicher Texte in den Landessprachen des 16. Jh. *Ferrum* Nr.67, pp. 16-25.
- Marx G (1999) Chemie zur Zeit Agricolas. Vortrag vom 20.11.99, Agricola- Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Mellein R (2016) Plinius der Ältere. En: Kindler Kompakt Klassiker der Naturwissenschaften, J.B. Metzler Vlg., Stuttgart (Alemania), pp. 45-46.
- Morgan JL, Gergel SE, Coops NC (2010) Aerial photography: A rapidly evolving tool for ecological management. *BioScience* 60:47-59.
- Nagendra H (2001) Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing* 22:2377-2400.
- Naumann F (2006) 450 Jahre “*De re metallica libri XII*” - das Hauptwerk Georgius Agricolas. Vortrag vom 25.03.06, Agricola-Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Naumann F (2016) Vannuccio Biringuccio und Georg Agricola, Agricola- Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Pförr H (1996) Start in das montanwissenschaftliche Zeitalter durch “Ein nützlich Bergbüchlein” des Freiburger Renaissancegelehrten Doktor Ulrich Rülein von Calw (1465-1523), Freiberg, Sachsen. *Berichte der Geologischen Bundesanstalt* 35:279-286.
- Ramos Maldonado SI (2013) La Naturalis Historia de Plinio el Viejo: lectura en clave humanística de un clásico. *Ágora. Estudos Clássicos em Debate*, 15: 51-94.
- Rascio N y Navari-Izzo F (2011) Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180:169-181.
- Schwendt GH (2011) Arsen. *Chemie in unserer Zeit*, 45:354-355.
- Störig HJ (1969) Kleine Weltgeschichte der Philosophie, Vol. 1, Fischer Bücherei, Frankfurt a/M (Alemania), pp. 254-255.
- Tay JYL, Erfmeier A, Kalwij JM (2018) Reaching new heights: can drones replace current methods to study plant population dynamics? *Plant Ecology* 219:1139-1150.
- Vogel HU (2018) Kungu gezhi oder die Geschichte der chinesischen Übersetzung von Georgius Agricola De Re Metallica Libri XII. 27.Agricola Gespräch (27.11.2018). Agricola-Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>)
- Weeks ME (1932a) The discovery of the elements.I. Elements known to the Ancient World. *Journal of Chemical Education*, 9: 4-10.
- Weeks ME (1932b) The discovery of the elements.II. Elements known to the alchemists. *Journal of Chemical Education*, 9: 11-21.
- Weeks ME (1960) Discovery of the Elements, 6<sup>th</sup>. Edit., *Journal of Chemical Education*, Easton, Pa (U.S.A.).
- Xie Y, Sha Z, Yu M (2008) Remote sensing in vegetation mapping: A review. *Journal of Plant Ecology* 1:9-23.