

LOS PRIMEROS ESTUDIOS MINERALÓGICOS EN LA AMÉRICA COLONIAL ESPAÑOLA, SIGLOS XVI Y XVII

MIGUEL LEÓN GARRIDO

Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía (Sevilla)

Resumen

En este trabajo se analizan aspectos relativos a la descripción, clasificación y teorías sobre el origen de los minerales presentes en las Historias Naturales llevadas a cabo en territorio americano entre los siglos XVI y XVII por Gonzalo Fernández de Oviedo, Francisco Hernández, José de Acosta, Bernardino de Sahagún, Antonio Vázquez de Espinosa, Bernabé Cobo y Diego Rosales, así como el *Arte de los Metales* (1639) de Álvaro Alonso Barba. Todos estos estudios tienen en común el proceder de la observación directa de naturalistas con una sólida formación científica según las tradiciones aristotélicas, platónicas, alquímicas y organicistas vigentes antes de los inicios de la Revolución Científica. La Corona española, como parte interesada, impulsó además la elaboración de cuestionarios que aportaron un importante bagaje metodológico y permitieron la producción de exhaustivos catálogos o “historias” de minerales, en algunos casos antecedentes de los modernos tratados de mineralogía topográfica. La tardía publicación de diversos manuscritos impidió la difusión en las instituciones europeas de muchos datos sobre la mineralogía en el Nuevo Mundo.

Abstract

This paper analyzes aspects concerning the description, classification and theories on the origin of minerals appearing in Natural Histories produced by Gonzalo Fernández de Oviedo, Francisco Hernández, José de Acosta, Bernardino de Sahagún, Antonio Vázquez de Espinosa, Bernabé Cobo and Diego Rosales, as well as in Álvaro Alonso Barba's *Art of Metals* (1639). All these studies come from direct observations by naturalists with a solid scientific education in the Aristotelian, Platonic, alchemical and organicist traditions preceding the Scientific Revolution. The Spanish Crown also encouraged the elaboration of questionnaires that provided an important methodological background and allowed the production of exhaustive mineral catalogs or “histories” that were, in some cases, antecedents of modern treatises of topographic mineralogy. Late publication of various manuscripts hindered the transmission of many data on mineralogy in the New World to the European institutions.

Palabras clave: Mineralogía, Geología, Ciencia colonial, Hispanoamérica, Edad Moderna.

Keywords: Mineralogy, Geology, Colonial Science, Latin America, Modern Age.

Recibido el 4 de febrero de 2017 — Aceptado el 6 de septiembre de 2017

1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

Desde los primeros momentos de la llegada a América, los europeos entraron en contacto con las enormes riquezas mineras, constituyendo su explotación el motor principal de la economía colonial y un factor primordial en la ocupación y transformación del territorio americano. De hecho, Colón, en su segundo viaje (1493) arribó a La Española con herramientas para extraer oro de la isla, llegando a solicitar un año más tarde, a los Reyes Católicos, el concurso de mineros de Almadén para tales fines [PUCHE RIART, 2000, p. 45]. La apertura de las minas de plata, primero en el territorio novohispano y posteriormente en las actuales naciones andinas de Perú, Bolivia o Ecuador, tuvo lugar durante las décadas centrales del siglo XVI. Hacia 1555, el español Bartolomé de Medina puso en marcha las técnicas de amalgamación que se emplearán en las minas americanas. En 1639, el párroco de Potosí, Álvaro Alonso Barba, publicó *El Arte de los Metales*, en donde se exponían los métodos de amalgamación en caliente y otras técnicas metalúrgicas.

Si bien se han elaborado numerosos artículos, libros y monografías sobre la historia de la minería y metalurgia en la América colonial española, los estudios más propiamente relacionados con las primeras descripciones, clasificaciones y teorías sobre el origen de los minerales americanos han pasado a un segundo plano, en el marco de la historia de la actividad minera o de aspectos más generales de la Geología.¹ El propósito del presente trabajo consiste en esbozar una historia de los inicios de la Mineralogía, en sentido amplio, en la América colonial española, desde el Descubrimiento hasta las décadas avanzadas del siglo XVII, durante las cuales tuvieron lugar la formulación de las primeras “teorías de la Tierra” propuestas por René Descartes y Athanasius Kircher, entre otros, y la aparición del *Prodromus* de Niels Steensen o Nicolás Steno [1669] así como su *Ley de constancia de los ángulos diedros*. A lo largo de este recorrido se intentará establecer cuál fue la contribución de los autores anteriores en el campo de la Mineralogía, desde las aportaciones teóricas en relación a los principales paradigmas científicos de la época sobre el origen de los minerales, hasta los aspectos relativos a la metodología de recopilación de información, la descripción de las especies y yacimientos, los patrones de clasificación mineral o los estudios sobre sus aplicaciones.

La metodología para la realización del trabajo ha consistido en la localización y revisión de las principales Historias Naturales de Indias llevadas a cabo por autores como José de Acosta, Bernabé Cobo, Gonzalo Fernández de Oviedo, Francisco Hernández, Diego Rosales, Bernardino de Sahagún y Antonio Vázquez de Espinosa,

así como el tratado *Arte de los metales*, de Alonso Barba, disponibles en portales web de instituciones científicas y humanidades de reconocido prestigio o en la biblioteca de la Escuela de Estudios Hispanoamericanos de Sevilla. Estas obras se situarán dentro el contexto histórico-científico del momento en que son formuladas, por lo que se presentará un panorama, siquiera sucinto, sobre el marco teórico y epistemológico de las Ciencias Naturales, la Geología y la Mineralogía durante el período considerado. Para aspectos generales de la historia de la geología se ha partido de los trabajos de José Alsina Calvés [2006] y Francois Ellenberger [1989]. En lo relativo a España y sus territorios ultramarinos, se han consultado las obras de autores como Francisco Javier Ayala, Manuel Julivert, Juan Manuel López de Azcona, Octavio Puche o Leandro Sequeiros en España, Florencio G. Aceñolaza, Ricardo N. Alonso, Guillermo Furlong y Eduardo Ottone en Argentina, José Alfredo Salas Uribe en México y Armando Espinosa Barquero en Colombia, entre otros, así como los artículos y monografías disponibles al respecto en las revistas científicas de España e Hispanoamérica. A la hora de presentar un resumen de la historia de la mineralogía hasta finales del siglo XVII se han seguido fundamentalmente las monografías de Ricardo Sureda [2008] y Alejandro del Valle González y María Purificación Niño Sacristán [1993]. En lo relativo a los minerales conocidos en la época precolombina se ha tomado como principales referentes a Modesto Bargalló y Miguel León-Portilla.

Finalmente hay que hacer constar que, en esta época, las definiciones de minerales, piedras o fósiles eran muy amplias y no tenían el sentido que poseen en la actualidad. En la Antigüedad clásica se empleaba indistintamente el término *Fóssilis* para describir genéricamente tanto a los objetos excavados en la tierra o encontrados en su superficie, incluyendo a minerales, gemas, piedras preciosas e incluso restos arqueológicos. Su significado etimológico es “que se saca de la tierra”, que a su vez deriva del término griego *oryktós*, usado por Aristóteles en el libro tercero de *Meteorologica*. Fue utilizado ya a principios de la era cristiana por Plinio el Viejo (23-70) en su *Naturalis Historiae* y en la Antigüedad, Edad Media y en parte de la Edad Moderna [OTTONE, 2008]. CAPEL [1987, p. 182] comenta que en concepto “piedras” incluía minerales, algas, cálculos renales y biliares y todos los objetos que se asemejasen a las rocas.

2. UNA APROXIMACIÓN HISTÓRICA A LA INTERPRETACIÓN DE LOS MINERALES HASTA LA EDAD MODERNA

2.1. Prehistoria y la Antigüedad Clásica

La historia de la mineralogía comienza en Grecia. Aristóteles (384-322 a.C), en su *Tratado de las Piedras*, esbozó una clasificación que diferenciaba los minerales metálicos de los no metálicos, y entre estos últimos distingue entre las “piedras” y las “tierras”. Las primeras obras que abordaron de manera sistemática la descripción de los minerales fueron escritas por Teofrasto de Éfeso (378-287 a.C), que en su *De las*

Piedras describió 60 minerales y rocas, entre ellos el cinabrio, crisocola, magnetita y yeso, y sus diversas aplicaciones.

Plinio el Viejo (23-79 d.C.) escribió su monumental compendio sobre las Ciencias Naturales de su época, *Naturae Historium Libri*, en treinta y siete volúmenes. A él se le debe la tradicional división de la Naturaleza en tres reinos: animal, vegetal y mineral. Los últimos cuatro tomos estaban dedicados a los minerales, entre los que menciona diversas gemas como ópalo, diamante, ágata o berilo, alabastro, calcita, casiterita, electro, galena, hematites, malaquita y oropimente. Plinio incluyó a los minerales. en el sentido actual. y a los fósiles en el mismo grupo.

2.2. El Medievo

La herencia de la Antigüedad clásica fue recogida parcialmente por diversos autores, siempre en la estela de la física aristotélica e incorporando hacia el final del periodo planteamientos alquímicos y neoplatónicos. Además, se elaboraron muchos lapidarios anónimos, relacionados con la magia y de la astrología, si bien alguno de ellos, como el *Lapidario* de Alfonso XII el Sabio, contiene observaciones dignas de interés, citando un total de 337 piedras. Hacia el año 600, San Isidoro de Sevilla (560-636) recopiló datos sobre numerosos minerales y metales. Estudió las propiedades del hierro y sus diversas variedades dependiendo del tipo de tierras de las que se extraiga.

Los principales tratados sobre los minerales durante esta época tuvieron como protagonistas a estudiosos musulmanes. El persa Al-Biruni (973-1048) distinguió en su libro *Gemas* entre “piedras preciosas” y “metales”, describiendo un centenar de minerales, los tipos de depósito en donde se encontraban y las rocas asociadas, su producción, costos y precios. Para ellos definió sus propiedades, como el color o la dureza, y determinó la densidad mediante balanza hidrostática en 18 minerales con una precisión que apenas se alcanzó en Europa ocho siglos después. El cordobés Avicena (980-1037 d.C.) recuperó la primera clasificación conocida de rocas y minerales que Aristóteles había llevado a cabo en su *Tratado de las Piedras*. Así, diferenció entre “metales” (los minerales de los que a partir de su fusión se obtienen los metales, incluyendo igualmente a las gemas), las “piedras que no daban metales” (refractarias al fuego), los “azufres” (totalmente volátiles al quemar) y finalmente las “sales” (solubles en el agua).

En Europa los primeros tratados de Minería y Mineralogía comenzaron a escribirse unos años más tarde, con motivo del desarrollo de la actividad minera en Alemania. El dominico alemán Albert von Bollstatt (1207-1280), san Alberto Magno, atribuyó en su libro *De rebus metallicis et mineralibus* el origen de los yacimientos a la destilación de los metales en el interior ígneo del planeta y su condensación en vetas formadas por relleno de fracturas en la corteza. Siguiendo la tradición aristotélica, san Alberto Magno sostenía la idea de que los metales verdaderos sólo podían engendrarse por la sublimación de los principios húmedos y de los principios secos,

y consideraba al azufre y al mercurio como el “padre” y la “madre” de todos los metales, en una interpretación similar a la de los alquimistas. San Alberto Magno definió la clase *mineralibus*, constituida por los metales, piedras y todo lo que se encuentra entre los dos, incluidas las gemas de Plinio [FRESQUET FEBRER, 1999, p. 59].

2.3. Los inicios de la Edad Moderna

A inicios del siglo XVI, con motivo de la recuperación de los saberes clásicos, el interés por la Naturaleza y el impulso de la minería y la metalurgia, los estudios sobre la Geología y los minerales van a tomar un renovado brío. Se asiste, además, a la relectura de clásicos como Aristóteles, Platón y Plotino y de los escritos herméticos y mágicos. Durante estos años surgieron tratados de metalurgia que revolucionaron la actividad minera, como *La Pirotechnia* [1540], de Vannoccio Biringuccio de Siena, de *De Re Metalica* [1551] de *Christoph Entzel* (Encelius), *De Natura Fossilium* [1554-55], *De Re Metallica* 1556], de Georg Bauer o *De Re Metalica* [1569] de Bernardo Pérez de Vargas, el primer libro científico publicado en castellano sobre los metales y los minerales.

Georg Bauer, Agrícola, (1494-1555) fue médico y farmacéutico en las minas de Joachimstahl (Bohemia). Su obra *De re metallica* [1556] estuvo centrada en el subsuelo minero y en cuestiones relacionadas con las aguas subterráneas, las menas metálicas, los minerales, las rocas y los fósiles, a los que incluyó genéricamente en este grupo, en su condición de objetos excavados e inorgánicos. Agrícola describió de los minerales su color, brillo, dureza, transparencia, solubilidad, densidad, formas geométricas, fusibilidad, fractura y algunas características específicas. También hizo descripciones sobre metales y procesos metalúrgicos. El médico alemán distinguió entre “gemas” (incluyendo perlas o cálculos biliares), “tierras” (por ejemplo, la arcilla de alfarero), “metales” (menas minerales), “fluidos solidificados” (sal, brea, ámbar o corales) y por último las “piedras” (que incluirían sustancias como la magnetita, la mica y el yeso, elementos que hoy se clasificarían como fósiles y a piedras caídas desde el cielo). Para Agrícola, en la formación de estos minerales tiene una gran importancia el agua, pero no pura, ya que al circular por las fracturas (“venas o venillas”) del terreno absorbería elementos terrosos (*lutum*) en donde se fijarían los “metales” [ÁLVAREZ SUÁREZ, BERJILLOS RUIZ, GARCÍA DE LA TORRE, PEDRINACI RODRÍGUEZ, Y SEQUEIROS SAN ROMÁN, 1996]. Así, los elementos minerales o metales se “engendrarían” cuando esta disolución acuosa fuera rellenando huecos y grietas en las rocas preexistentes. Agrícola creía todavía en la influencia determinante de los astros; cada uno de ellos gobernaría la producción de un determinado metal, atrayendo de la profundidad vapores o exhalaciones que se infiltrarían por filones y grietas, revelando “una mezcla entre la experiencia práctica y un resto depurado de las teorías herméticas” [ELLENBERGER, 1989, p.167].

El ceramista francés Bernardo de Palissy (1510-1589) fue el primero que incluyó a las arcillas en los minerales. Palissy aportó precisiones interesantes sobre el concepto

de mineral, separándolo claramente de los materiales de procedencia orgánica, aunque estén mineralizados (que corresponderían ya al concepto moderno de fósil). Como Agrícola, Palissy atribuyó el origen de los minerales a la acción de las “aguas congelativas”, las cuales serían responsables de precipitar y endurecer los productos que se encuentran disueltos. Los minerales transparentes (cristal de roca, etc.) constituirían una prueba de ello, pues lo considera productos de congelación. En esta época no se conocía el fenómeno de la cristalización, y toda solidificación se consideraba una “congelación”, del mismo modo que el hielo se formaba por la congelación del agua.

Por lo que respecta a las gemas, el belga Anselmo Boecio de Boodt (1550-1632) publicó en 1609 la obra *Historia gemmarum et lapidarum*, enumerando 647 piedras preciosas, minerales y rocas y describiendo sus propiedades, yacimientos y usos. Prestó gran atención a las propiedades físicas. Por ejemplo, en la dureza distingue cinco grados: piedras endurecidas, piedras blandas, piedras duras atacables por las limas, piedras que tienen que trabajarse con el esmeril y piedras que sólo se pueden trabajar con el diamante. Durante esta época se constituyeron las primeras colecciones de minerales, que tuvieron lugar en Italia, destacando la de Francesco Calzolari (1521-1600), farmacéutico veronés cuyo museo privado alcanzó un gran renombre en su época.

Como ya se ha comentado, Nicolás Steno (1638-1686) expuso en su *Prodromus* [1669] la primera ley cristalográfica o Ley de constancia de los ángulos diedros, tras medir los ángulos entre las caras sobre cristales de cuarzo de variado tamaño y procedencia. A finales del siglo XVII se asiste al establecimiento de las bases de las modernas Óptica y Cristalografía por Erasmus Berthelsen (1625-1698) y Christiaan Huygens (1629-1695), y a la generalización del uso del microscopio óptico simple diseñado por Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) para el estudio de los minerales.

2.4. Los minerales en la América precolombina

Los minerales y sus usos prácticos ya fueron conocidos en América desde mucho antes de la llegada de los europeos. Su explotación se inició en el área andina, en los actuales Perú y Bolivia, en torno al 1500 a. C., fecha comprendida en el denominado Período Inicial (1800-900 a. C.). Los mineros andinos distinguían unos minerales y otros por su olor, sabor o color, e intuían su presencia por la coloración del terreno o la existencia de determinada vegetación. La actividad minera se difundió durante el primer milenio hacia Chile y Argentina al sur y Colombia y el istmo sudamericano al norte, llegando al área mexicana entre los años 800 y 600 a.C. Según los estudios arqueológicos, nada más que en el México antiguo hay constancia del uso de 35 minerales no metalíferos y aproximadamente otros 14 que sí lo son [LEÓN-PORTILLA, 1978, 2014; VETTER PARODI, 2007].

En ambas regiones las menas tradicionalmente explotadas fueron elementos nativos como el oro, la plata y el cobre, así como la cuprita, la casiterita, la galena argen-

tífera para la obtención de plata, diversos óxidos de hierro, como el hematites o la magnetita, como fundentes, o el cinabrio, el cual no fue transformado en metal sino en polvo o pasta con fines rituales. Los aztecas trabajaron el estaño procedente de la casiterita elaborando utensilios de bronce, conocido como “cobre claro” [BARGALLÓ, 1955, pp. 30-31]. En el área mesoamericana destacaron las minas de piedras preciosas o semipreciosas, como las turquesas o *chalchivites*, y la obsidiana. En el foco andino, a finales de la época precolombina, cobraron gran importancia los yacimientos superficiales de oro, plata, cobre y, en menor cantidad, de estaño y plomo. En el centro y sur de América era completamente desconocido el hierro y no se ha constatado arqueológicamente el uso del mercurio para la preparación de amalgamas en todo el ámbito americano en fechas anteriores a la llegada de los europeos [BARGALLÓ, 1955, pp. 30-36].

Los elementos nativos debieron haber sido los primeros en ser utilizados, dado la facilidad de su identificación por su brillo, color, textura y su densidad. Se explotaban normalmente las mineralizaciones más superficiales, que a veces se ampliaban en profundidad por medio de socavones o túneles que seguían las vetas o filones del mineral, empleando pozos o tiros de aire para la ventilación [LEÓN-PORTILLA, 1978; VETTER PARODI, 2007; PALACIOS, 2011]. En México, fray Bernardino de Sahagún consideró a los toltecas como los primeros grandes maestros en el aprovechamiento de los minerales [SAHAGÚN, 1830, pp. 109-110]. En Perú, Pedro Cieza de León (1520-1554) dejó testimonio de la minería y metalurgia preincaica de plata y galena argentífera, concentrando los metales por calcinación mediante el uso de hornos de viento o *guayras* [CIEZA DE LEÓN, 1553, p.272].

2.5. Las teorías sobre el origen de los minerales a inicios de la Edad Moderna en Europa y América

A fin de contextualizar los diversos estudios realizados en la América colonial española durante un periodo relativamente dilatado de tiempo (inicios del siglo XVI a comienzos del siglo XIX), resulta imprescindible presentar, siquiera de manera sintética, el marco histórico-científico de las Ciencias de la Tierra bajo el cual los diversos estudiosos elaboraron sus modelos interpretativos. Para ello se ha seguido fundamentalmente a ÁLVAREZ SUÁREZ ET AL. [1996], CAPEL [1980], ELLENBERGER [1989], GARCÍA CRUZ [2007], SEQUEIROS [2001] y SEQUEIROS Y PEDRINACI [1999]. Este marco va a partir de los diversos paradigmas que se han propuesto para explicar el origen de los minerales desde la Antigüedad hasta finales del siglo XVII.

El concepto de “paradigma” fue planteado por Tomas Kuhn [2004] en *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, un concepto un tanto impreciso, entendido como “logros científicos universalmente aceptados que durante algún tiempo suministran modelos de problemas y soluciones a una comunidad de profesionales” [KUHN, 2004 pp.13-14]. Kuhn introduce el concepto de “ciencia normal”, que define

como “una investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas, realizaciones que alguna comunidad científica reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento de su práctica posterior” [KUHN, 2004, p.33]. Esta “ciencia normal” que realizan los científicos se lleva a cabo en el marco de unos “modelos o patrones” para la práctica científica cotidiana. Estas realizaciones son asumidas en momentos históricos por la comunidad científica y quedan plasmadas en tratados científicos clásicos. Kuhn no comparte una visión del progreso científico como el resultado de un mero proceso evolutivo por acumulación de saberes, y postula la existencia de momentos históricos en los que las que esas teorías comúnmente aceptadas por dicha comunidad científica para la explicación de determinados fenómenos y procesos (“paradigmas”) resultan insatisfactorias para explicar los nuevos hallazgos y fenómenos que progresivamente se van registrando en el transcurso de la investigación científica. En determinados momentos (“revoluciones científicas”) esos paradigmas entran en crisis y son sustituidos por nuevos modelos (o paradigmas). Ejemplos de crisis de paradigma y sustitución por otro nuevo sería la revolución copernicana, la física newtoniana o la física de Einstein.²

Durante los siglos XVI y XVII en Europa se formularon tres grandes modelos explicativos de la génesis mineral; aquellos encuadrados dentro de la tradición organicista aristotélica, los relacionados con la alquimia o la astrología y el paradigma organicista de Athanasius Kircher, estos dos últimos con una clara raíz neoplatónica.

El universo aristotélico es un mundo teleológico que tiene como claves los procesos cíclicos para comprender el mundo natural. El cambio continuo en la región terrestre daría lugar a procesos de generación, crecimiento, decrecimiento y decadencia, similares a los de los organismos vivos. Dichos procesos estarían condicionados por sus causas finales. La visión de la geodinámica terrestre que Aristóteles presenta en su *Metereologica* supone la existencia de cuatro elementos básicos, tierra, aire, mar y fuego. El fuego es cálido y seco, el agua, fría y húmeda, el aire, cálido y húmedo, y la tierra es fría y seca. Estos elementos interactuaban entre sí bajo las fuerzas de la atracción o repulsión, amor y odio. En el marco de este modelo, los metales se generan a partir de los vapores que emanan del interior de la Tierra, los cuales se introducen en huecos y fisuras en donde se van espesando y endureciendo hasta formarse cada elemento [VALLE GONZÁLEZ Y NIÑO SACRISTÁN, 1993, p. 372; BARRERO, 2004, pp. 109-110; GARCÍA CRUZ, 2007].

La tradición aristotélica fue recogida por escolásticos como san Alberto Magno, así como por la obra de autores árabes y la traducción de la *Meteorologica* al latín por Juan Ginés de Sepúlveda [CAPEL, 1980]. Posiblemente en su transmisión a las instituciones universitarias americanas jugaron un papel importante humanistas procedentes de la metrópoli, como Francisco Cervantes de Salazar (circa 1513/1518-1575), catedrático de Retórica en la Real y Pontificia Universidad de México, a la que estuvo ligado desde su fundación en 1553. El año 1546, aun en la metrópoli, escribió en su comentario al *Apólogo de la ociosidad y el trabajo*, de Luis de Mexía:

Veo las causas de la generación de las piedras. (...) diré la de Aristóteles, que en esto es más cierta. La cual es que las piedras se engendran en dos maneras, la una por congelación fría y constrictiva, la otra por conglutinación de cálido exicativo, obrando en ambas como de instrumentos la virtud efectiva o generativa de las piedras llamada *mineral*. Házense de los cuatro elementos, como todas las otras cosas, pero hay dos géneros de piedras, según Alberto Magno: unas que abundan de sustancia aquea con sequedad terrestre, como el cristal y el veril y otros semejantes; otras que abundan más de lo térreo seco mezclado con lo ya dicho, aqueo seco, como sin los mármoles, metales, jaspes y otras así [CERVANTES DE SALAZAR, 2012, pp. 156-157].

La Alquimia, o “tradición mágica” [García Cruz, 2007, p. 70], procedente del mundo árabe, habría recogido, elaborado y transmitido una serie de conocimientos científicos procedentes del antiguo Egipto y de la escuela filosófica de Alejandría, así como las ideas de Platón y sus seguidores. Platón, en su *Timeo*, alude al fuego interior de la Tierra como causa de la formación de metales debido a las exhalaciones del fuego que van “transformando” las piedras en metales, idea que fue desarrollada posteriormente por los alquimistas. Para éstos, la materia estaba formada por dos principios comunes: el mercurio (el carácter metálico y la volatilidad) y el azufre (la combustibilidad). El mercurio actuaría como el “esperma” o germen de los metales, un principio regenerador que favorece la transmutación de los elementos con la acción del calor terrestre, mientras que el azufre constituiría un principio pasivo, a veces una impureza que es preciso eliminar para que la “transmutación” de una piedra en metal tenga éxito. Además, relacionaban los cuerpos celestes con la composición de los metales: Oro-Sol, Plata-Luna, Estaño-Júpiter, Cobre-Venus, Hierro-Marte, Mercurio-Mercurio, Plomo-Saturno, según una tradición que proviene de la Antigüedad, siendo formulada por el filósofo neoplatónico Proclo (412-485) y recogida a principios de la Edad Moderna en el *Bergbüchlein* [1505], un tratado sobre minería atribuido por Agrícola al médico alemán Colbus Fribergius. La alquimia constituyó un cuerpo de conocimientos organizado y los alquimistas contribuyeron tanto a la aparición de la moderna Química como a los avances en Minería. La teoría alquímica comenzará a desmoronarse cuando se cuestione la teoría de los cuatro elementos aristotélicos y la ciencia se oriente hacia la experimentación, especialmente tras la obra de Robert Boyle [ÁLVAREZ SUÁREZ, BERJILLOS RUIZ, GARCÍA DE LA TORRE, PEDRINACI RODRÍGUEZ, Y SEQUEIROS SAN ROMÁN, 1996; VALLE GONZÁLEZ Y NIÑO SACRISTÁN, 1993, pp. 370-371; ELIADE, 1977, pp. 21-22; SALAZAR-SOLER, 2001, p. 484; ESTEVA DE SAGRERA, 2005]. La alquimia fue igualmente cultivada por religiosos católicos. Franciscanos como Roger Bacon (*circa* 1210-*circa* 1290), Arnau de Vilanova (1240-1311), Jean de Rupescissa (1302-1366) y posiblemente Ramon Lull (1232-1316) fueron autores de diversos tratados alquímicos. Los dominicos san Alberto Magno o Tomasso d’Aquino, santo Tomás de Aquino (1224-1274), estuvieron interesados en estos conocimientos. Aunque las doctrinas alquímicas fueron condenadas por Juan XXII el año 1317 mediante la bula *Spondent quan nos exhibent*, el médico francés Pierre-Jean Fabre (1588-1658), intentó el año 1632 conciliar la Alquimia y el Cristianismo en su obra *Alchymista Christianus* [SALAZAR-SOLER, 2001, pp 488-490].

El modelo organicista neoplatónico tuvo como máximo exponente al jesuita alemán Athanasius Kircher (1602-1680). En su *Mundus subterraneus* [1665], el fuego central pasa a ser, de acuerdo con ciertos aspectos de la tradición platónica, el elemento fundamental de la estructura del Globo. Esta obra versa sobre un *Geocosmos* que constituiría el mundo terrestre considerado como una unidad, a medio camino entre el macrocosmos (el mundo, *kosmos* en griego) y el microcosmos (el organismo humano). Según Kircher, en el centro de la Tierra existiría un “gran fuego interno”, con un conjunto de grandes cavidades llenas de fuego, agua y aire, a las que denominó respectivamente pirofilacios, hidrofilacios y aerofilacios, que estarían comunicadas entre ellas y con la superficie terrestre por una red de canales. La circulación de las aguas por los hidrofilacios estaría activada por el fuego central, el cual provocaría la coalescencia de sustancias minerales en las matrices interiores de la tierra. Así, el origen de las venas minerales metálicas se explicaría mediante la hipótesis de que el mineral crecería en los lugares “favorables” para ello. En la difusión de las ideas neoplatónicas a los territorios americanos jugaron un papel importante órdenes religiosos como agustinos, franciscanos y muy especialmente los jesuitas, como entre otros José de Acosta, en general críticos con la tradición aristotélica. Kircher conoció la obra de Acosta y estuvo interesado en la naturaleza americana. A través de otros miembros de su orden tuvo contacto con los centros políticos y culturales del Nuevo Mundo, como fue el caso de los jesuitas, radicados en México, Francisco Jiménez y Alejandro Fabiano [CAPEL, 1980; SEQUEIROS, 2001].

Según los tres modelos anteriores, el mineral sería creado permanentemente en el subsuelo, una teoría de la generación continua ya esbozada por Plinio respecto a las mineralizaciones de plomo en Italia. De hecho, en diversos grabados, Agrícola representaba a las minas a modo de árboles con raíces que crecen dentro de la tierra [BOUYASSE-CASSAGNE, 2005, p.447].

Aristotelismo, alquimia y organicismo neoplatónico van a acomodarse al relato bíblico y a las Escrituras, que partía de la creación del mundo. La observación de la Naturaleza se concibe a la vez como la comprensión de la obra divina. “A través de la contemplación y estudio de la naturaleza el cristiano podía encontrar un camino hacia la divinidad y sus atributos, fortalecer su fe mediante la contemplación de la obra de Dios” [CAPEL, 1987, p.180].

En cuanto al sentido e interpretación de los minerales en el Nuevo Mundo, en general los habitantes prehispánicos relacionaban la existencia de grandes riquezas en el subsuelo con sus dioses y creencias sobrenaturales, atribuyendo un carácter sagrado a determinados lugares o actividades relacionadas con la minería. Los metales nobles poseían una fuerte carga simbólica en las sociedades precolombinas. El oro tradicionalmente se asociaba a la divinidad solar [MAZADIEGO MARTÍNEZ Y PUCHE RIART, 1998]. Las piedras preciosas y semipreciosas se utilizaban en máscaras y ofrendas rituales en Mesoamérica y el jade, uno de los minerales más apreciados, se consideraba un símbolo acuático asociado al dios de la fertilidad, Tláloc [FRANÇA, 2010].

Los metalúrgicos del México antiguo tenían como protector a un dios propio, Xipe Tótec [LEÓN-PORTILLA, 1978, p.27].

En el área andina, el oro y la plata se reservaban para uso ritual de manera exclusiva para las élites, mientras que el cobre y sus aleaciones le serían permitidos al resto de componentes de la sociedad. El Cerro Rico de Potosí pudo haber sido consagrado al Sol por los incas debido a sus riquezas minerales, y el oro se identificaba como lágrimas del astro rey. Se celebraban cultos a dioses litomorfizados en las minas, asociados a los depósitos de metales. Según los incas, las minas eran *waka*, lugares sagrados, en las que habitaba las *mamas* o “piedras de la primera cosecha”, que son las madres de las minas y que garantizan la producción del mineral, y otros personajes como guardianes de sus tesoros [BOUYASSE-CASSAGNE, 2005, 2008]. Estos y otros relatos eran semejantes a las tradiciones ancestrales de los mineros europeos que se desplazaron al Nuevo Mundo, acerca de la presencia de demonios en las minas, admitida incluso por Agrícola y hasta bien entrado el siglo XVII por Juan Solórzano Pereira o Athanasius Kircher [ORCHE, PUCHE, AMARÉ Y MAZADIEGO, 2004, pp. 39-41].

3. LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XVI. LAS DESCRIPCIONES INICIALES DE LOS MINERALES AMERICANOS. FERNÁNDEZ DE OVIEDO

3.1. Los minerales en las primeras Crónicas e Historias Naturales

López Piñero y Glick [1993] establecen tres etapas para el estudio de la Historia Natural en América en el periodo comprendido entre el siglo XVI y las primeras décadas del siglo XVII, una primera denominada “noticias y descripciones iniciales” (1492-mediados del siglo XVI), una segunda en la que se elaboran los primeros estudios sistemáticos sobre la Historia Natural, basada en los trabajos de Nicolás Monardes (1493-1588) y Francisco Hernández, (1550-1580) y una tercera en la que se superan los niveles de descripción y análisis, y se ofrece una imagen global del Nuevo Mundo en un modelo explicativo que asimila su realidad distinta y que tiene su culmen en José de Acosta y su *Historia natural y moral de las Indias* (1590).

Dentro de las “Noticias y descripciones iniciales” se elaboraron escritos precisos sobre la naturaleza americana, destacando la *Historia general y natural de las Indias* [1535] de Gonzalo Fernández de Oviedo, la *Historia de las Indias* de Francisco López de Gómara [1552] y la *Crónica del Perú* de Pedro Cieza de León [1553]. De todas ellas es la obra de Fernández de Oviedo (1478-1557) la que presta mayor atención a los aspectos más puramente mineralógicos. Fernández de Oviedo, conocedor de la obra de Plinio y de sus escritos sobre las minas de oro hispanas, fue un agudo observador de los procesos geológicos, como demostró en su conocimiento de los fenómenos volcánicos centroamericanos o en la descripción de los yacimientos de betún que efectúa en su *Historia natural y general*. Dentro del capítulo VIII del

Libro VI “o de los depósitos”, se detuvo en los yacimientos de oro de la isla de La Española. Distinguió entre dos tipos de depósitos auríferos, unos primarios, en las sierras, y otros secundarios formados por lo que hoy definiríamos como procesos de meteorización, transporte y sedimentación, en laderas, llanos y ríos, modelo general que amplió a los territorios coloniales conocidos.

Hase de tener por cierto (...) que la mayor parte del oro nasce en las cumbres é mayor altura de los montes; pero criasse y engédrasse en las entrañas de la tierra, é assi como lo pare o echa fuera de sí, por la abundancia de la materia en las cumbres, las aguas de las lluvias, después, poco á poco, con el tiempo, lo traen y abaxan a los arroyos y quebradas de agua que nasçen de las sierras; non obstante que muchas vesçes se halla en los llanos que están desviados de los montes (...). Pero por la mayor parte é más continuadamente, se halla el oro en las haldas de los çerros i en los ríos mismos y quebradas, porque ha mucho tiempo que se recoge en ellos [FERNÁNDEZ DE OVIEDO, 1851, p.186].

El autor estableció una relación entre la proximidad al depósito primario y el valor del mineral. Según observó, cuando más alejado se encuentra el metal de su lugar original, más liso y pulido estaba y más quilates tenía [FERNÁNDEZ DE OVIEDO, 1851, p.188]. Fernández de Oviedo pudo publicar en vida la primera parte de su *Historia natural y general*, pero la falta de recursos económicos interrumpió la edición de las partes restantes, cosa que hizo finalmente la Academia de la Historia de Madrid entre 1851 y 1855.

4. LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XVI.

FRANCISCO HERNÁNDEZ Y BERNARDINO DE SAHAGÚN. JOSÉ DE ACOSTA.

La siguiente etapa está plasmada en varias investigaciones que abordan de manera exhaustiva, aunque desde diferentes enfoques y metodologías, la Historia Natural del Nuevo Mundo: la *Historia Medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias Occidentales* [1565] del farmacéutico Nicolás Monardes (1493-1588), cuyas tres partes redactó sin moverse de Sevilla, y los estudios del médico y naturalista Francisco Hernández (1514-1587), que viajó al continente americano visitando el Virreinato de Nueva España entre los años 1570 y 1577, por encargo de Felipe II. A estos dos estudios habría que añadirle la obra de fray Bernardino de Sahagún (1499-1590).

A la obtención de nuevos conocimientos contribuyó de manera importante la cada vez mayor sistematización de los análisis sobre la realidad americana. Poco a poco y desde las narraciones de Fernández de Oviedo se fueron generalizando una serie de cuestionarios que incorporaban aspectos relativos a la Historia Natural del Nuevo Mundo, emitiéndose una instrucción al efecto ya en 1533. Las *Ordenanzas* de Juan de Ovando, con apoyo del cosmógrafo Juan López de Velasco, y aprobadas por Felipe II en 1573, permitieron definir un cuestionario, las “Relaciones Geográficas de Indias”, con más de doscientas preguntas que incluían conocimientos geográficos, demográficos, naturaleza animal, vegetal y mineral y que originó un gran cúmulo de información escrita [ÁLVAREZ PELÁEZ, 1999].

El sevillano Nicolás Monardes estudió en Alcalá de Henares y llevó a cabo una completa descripción de unas 700 plantas americanas, al disponer de ellas en el puerto de la ciudad. Su obra alcanzó una amplia difusión ya en vida. Aunque se centró en el reino vegetal, se ocupó también de productos minerales, como el azufre, el hierro y los ungüentos de mercurio, prescritos para tratar la sífilis [ESTEVA DE SAGRERA, 2006, p.70].

4.1. Francisco Hernández y su Historia de los Minerales de la Nueva España (1570-1577)

Francisco Hernández fue nombrado por Felipe II, en 1570, protomédico de las Indias occidentales, Islas y Tierra Firme, siéndole encomendada la realización de una expedición botánica que duró siete años (1570-1577), a fin de estudiar la naturaleza americana. Durante este periodo recorrió la práctica totalidad del territorio novohispano. Hernández poseía una amplia formación científica, habiendo traducido la obra de Plinio el Viejo. Pronto quedó impresionado por los conocimientos botánicos de los indígenas, sus esquemas de clasificación de la Naturaleza y por los animales, plantas y minerales del Nuevo Mundo. En su estancia recolectó muestras de miles de plantas, animales y minerales y acompañado por copistas, pintores indígenas, asistentes, sirvientes y mulas, entrevistó a los nativos acerca de los usos medicinales de las hierbas, utilizando cuestionarios pormenorizados. Con una ingente cantidad de información, Hernández regresó a España con dieciséis volúmenes de notas, especímenes e ilustraciones que entregó a Felipe II. La edición fue encomendada al médico napolitano Antonio Recchi, que eliminó gran parte de la información recopilada, y que murió en 1595 antes de poder terminar el encargo. Tras diversos azares, se publicaron varias ediciones italianas de los trabajos de Hernández, con anotaciones del propio Recchi y otros autores entre 1630 y 1651 [ÁLVAREZ PELÁEZ, 1995; AYALA, 2005]. El año 1984 la Universidad Autónoma de México editó las *Obras completas* de Francisco Hernández. Los datos que el médico español recogió sobre las piedras y minerales los agrupó en 35 capítulos, bajo el título *Historia de los Minerales de Nueva España*, que aparecen en el tomo III de dichas *Obras completas*. Hernández recogió hasta 47 denominaciones de minerales y piedras diferentes, nombrándolas según las lenguas indígenas y comparándolas con los minerales y piedras de la península.

En su *Historia de los Minerales* Hernández no siguió un orden sistemático, prestando gran atención a las propiedades curativas que los indígenas atribuían a muchos minerales, aunque en algunos casos muestra sus reservas personales sobre su verdadera eficacia. Hay que hacer constar que en aquella época se empleaban muchas gemas por parte de la nobleza europea a modo de amuletos para la prevención de enfermedades. Entre los minerales que describe se encuentran la biotita o *chimaltizatl*, el *iztacalli* o arena blanca mexicana (posiblemente caolinita), el *hoitzitziltetl* o heliotropo mexicano (una variedad de ágata), el *texotli* (calcantita o azurita), la piedra *itzli* (obsidiana), la sal o *itzal*, el *tetízatl* (yeso o piedra caliza), óxidos y sulfatos, y numerosos jaspes, turquesas y esmeraldas. Mencionó además un cuarzo cristal de roca con

inclusiones fluidas (*pedra ácuea*). Finalmente incluyó en el reino mineral materiales de procedencia orgánica, como el *chapopotli* o betún natural, o el *tecuítlatl*, unos depósitos de algas cianofíceas de aspecto limoso empleados en la alimentación indígena [HERNÁNDEZ, 1984; PRIETO, 1984].

4.2. Bernardino de Sahagún y la *Historia general de las cosas de Nueva España* (1577)

El franciscano Bernardino de Sahagún (1499-1590) formado en historia, derecho, filosofía y teología en la Universidad de Salamanca, se trasladó al Nuevo Mundo a finales de la década de los 20 del siglo XVI. Profesor de latín en la Escuela de Tlaxcolco y misionero, residió el resto de su vida en México. Recorrió e investigó la Naturaleza novohispana entre 1547 y 1577, alejándose de la visión etnocentrista europea, usando fuentes procedentes de los propios nativos y aprendiendo su lengua, el náhuatl. Sahagún llevó a cabo detalladas encuestas a los indígenas, a fin de recabar una información lo más exhaustiva posible. Para el caso de las piedras preciosas y espejos, el cuestionario aplicado por Sahagún correspondía al siguiente modelo: 1. ¿De dónde viene el nombre? 2. ¿Cuál es su aspecto? 3. ¿Quiénes pueden usarlas?, 4. ¿En qué forma se pulen o utilizan? (en el caso de las piedras preciosas) y 5. ¿Qué valor les atribuyen? [LÓPEZ AUSTIN, 2011, p. 387]. Su *Historia general* constituye un documento valioso para conocer qué minerales eran aprovechados por los indígenas y cuáles eran las técnicas de excavación minera, la metalurgia y los oficios mineros en los tiempos prehispánicos [ZAMORA AYALA, 2003].

Sahagún preparó sus trabajos para su publicación, bajo la denominación *Historia general de las cosas de la Nueva España* en 1577-1578. El fraile entregó sus trabajos en un manuscrito a sus superiores, copia que se identifica con el llamado *Códice Florentino*, concluido en 1575-1577, con textos en náhuatl y castellano y más de 2.000 pinturas, hoy en la Colección Palatina de la Biblioteca Laurenziana de Florencia. La obra fue confiscada por orden del rey Felipe II. Entre las causas de este secuestro de sus escritos se ha especulado tanto con la valoración favorable que hacía Sahagún de la cultura náhuatl, que podría dificultar las labores de evangelización, al no presentarse como un pueblo sin civilizar, como con la reticencia de Felipe II a publicar datos de sus extensos dominios que pudieran ser utilizados en su contra por sus numerosos enemigos. El manuscrito se organiza en tres volúmenes y 12 capítulos, correspondiendo al XI a “las propiedades de los animales, aves, peces, árboles, hierbas, flores, metales y piedras, y de los colores”. En la descripción de los minerales hace hincapié, sobre todo, en sus aplicaciones farmacéuticas o medicinales. Los trabajos de Sahagún quedaron inéditos hasta 1830 [SÁNCHEZ RUIZ, TEJADA ROSALES, SÁNCHEZ TEJEDA, Y SÁNCHEZ TEJEDA, 2012].

En el Libro XI “De las propiedades de los animales, aves, peces, arboles, yerbas, flores, metales, piedras y colores” abordó en varios capítulos las cuestiones relativas a piedras, gemas, minerales y metales, incluyendo a las conchas y a las perlas dado su

carácter inanimado. Sahagún clasificó a minerales y rocas según su uso: piedras medicinales (capítulo VII), piedras preciosas (capítulo VIII), metales, gomas y resinas (capítulo IX), piedras útiles (capítulo X) y tintes o colores (capítulo X). Sahagún aportó 94 denominaciones, frente a las 47 de Hernández, y amplió la información de los datos existentes en lo que respecta al jade, ámbar, turquesa y esmeraldas [MOTTANA, 2012].

En el capítulo VIII se refirió pormenorizadamente a las piedras preciosas, sus nombres en náhuatl, sus propiedades y aplicaciones. Presentó los depósitos en donde se encuentran turquesas, jaspes o azabaches, ya fueran minas subterráneas o yacimientos aluviales, describiendo los diversos tipos de esmeraldas y turquesas existentes, sus formas, tamaños, colores, corte, propiedades mecánicas y aplicaciones, así como las variedades de jades, jaspes, zafiros y azabaches y las *itztetl* u obsidianas. Igualmente mencionó las propiedades curativas del sílex, o el cristal de roca [SAHAGÚN, 1830, pp. 295-302] y el *extel* o “piedra de sangre”, que puede corresponder con el heliotropo, al que atribuye propiedades terapéuticas, para frenar las hemorragias.

Yo tengo experiencia de la virtud de esta piedra, porque poséo una tan grande como un puño o poco menos, es tosca como la quebraron de la roca, cual en este año de 1576, en esta pestilencia *ha dado la vida á muchos que se les salta la sangre*, y la vida por las narices, (...) y tomándola en la mano y teniéndola algún rato apuñada, cesaba de salir la sangre, y sanaban de ésta enfermedad de que han muerto y mueren muchos en toda esta N. España [SAHAGÚN, 1830, p. 301].

Sahagún se refería al *Cocolitxli*, una enfermedad hemorrágica viral que diezmo las poblaciones de Nuevo México desde la aparición de su primer brote en 1545-47. Posiblemente el interés despertado por el uso terapéutico de piedras y minerales estuviera relacionado con la propagación de las enfermedades que diezmaron a las poblaciones prehispánicas durante el siglo XVI y buena parte del XVII. De ahí la preocupación por parte de los misioneros en conocer las prácticas curativas de los indígenas [ALVIM Y MENDOÇA-FIGUEROA, 2007, p.58].

Aunque Sahagún no se ocupó de manera explícita sobre los mecanismos de formación de minerales y rocas, apuntó a una cierta influencia de los astros, mencionando vapores que surgían del terreno y suelos humedecidos como signos que acontecen en determinados momentos del día, indicativos de la presencia de piedras preciosas para las personas avisadas.

Hay personas que conocen donde se crían las piedras preciosas, y és, porque cualquiera de éstas donde quiera que esté, está echando de sí vapor ó ecshalacion como un humo delicado, y éste se aparece cuando quiere el sol salir, ó á su salida, y los que las buscan y conocen, pónense en lugar conveniente (...). También hay otra señal donde se crían piedras, especialmente las que se llaman *chalchivites*: en el lucrar donde están ó se crían, la yerba que esta allí nacida, siempre está verde, y es porque estas piedras continuamente echan de sí una ecshalacion fresca y húmeda, y donde esto está, caban y hallan las piedras en que se crían estos *chalchivites* [SAHAGÚN, 1830, pp. 295-296].

Esta descripción parece seguir la teoría de las “exhalaciones” aristotélicas, aunque también podría derivarse de las tradiciones indígenas recogidas por Sahagún [MOTTANA, 2012; ALVIM Y MENDOÇA-FIGUEROA, 2007, pp- 59-60].

4.3. José de Acosta y la *Historia Natural y Moral de las Indias* (1590)

La *Historia Natural y Moral* del jesuita José de Acosta está dividida en siete libros, versando los cuatro primeros sobre la Naturaleza americana. De ellos, el libro cuarto aborda la descripción de los denominados “cuerpos mixtos o compuestos”, según la doctrina jerárquica de los tres reinos, siguiendo un orden expositivo ajustado a lo establecido por la ciencia clásica según el legado de Aristóteles [VALCÁRCEL MARTÍNEZ, 1989, p. 410]. Los primeros capítulos están dedicados a los metales (oro, plata y mercurio), esmeraldas y perlas. Acosta no abordó propiamente las cuestiones relacionadas con la Mineralogía, aunque sí realizó una serie de afirmaciones interesantes sobre el origen de los metales y acerca de los distintos tipos de yacimientos de oro y plata presentes en el territorio americano. Respecto a la aparición de los metales, afirma:

Los metales son como plantas encubiertas en las entrañas de la tierra, y tienen alguna semejanza en el modo de producirse, pues se ven también sus ramos, y como tronco de donde salen, que son las vetas mayores y menores que entre sí tienen notable trabazón y concierto, y en alguna manera parece que crecen los minerales al modo de plantas. No porque tengan verdadera vegetativa y vida interior, que esto es sólo de verdaderas plantas, sino porque de tal modo se producen en las entrañas de la tierra por virtud y eficacia del sol, y de los otros planetas, que por discurso de tiempo largo se van acrecentando, y cuasi propagando [ACOSTA, 1590, p.119].

Aunque relaciona el origen de las vetas metalíferas a la acción de los astros, resulta interesante la analogía que establece entre la formación de las mineralizaciones y el crecimiento de las plantas de la misma manera que Agrícola lo hizo con anterioridad, apuntando un cierto pensamiento organicista en la cuestión del origen de los minerales.

Acosta se mostró como un perspicaz observador de las minas americanas. Así, entre las mineralizaciones auríferas, distinguió varios tipos: el “oro en piedra”, que nace “de la misma piedra o pedernal”, que se hallaría en pozos y minas en forma de vetas similares a las argentíferas y que requeriría procedimientos metalúrgicos para su extracción; el “oro en pepita”, nativo, el más raro, sin mezcla de otros minerales y que se puede trabajar directamente y finalmente el “oro en polvo”, en depósitos aluviales, siendo este tipo de yacimientos el más explotado [ACOSTA, 1590, pp.124-125]. En cuanto a la plata mencionó dos maneras de aparición:

Hállanse minas de plata comúnmente en cerros y montes muy ásperos y desiertos, aunque también se han hallado en sabanas a campos. Estas son en dos maneras: unas llaman sueltas, otras llaman vetas fijas. Las sueltas son unos pedazos de metal, que acaece estar en partes donde, acabado aquel pedazo, no se halla más. Las vetas fijas son las que en hondo y en largo tienen prosecución, al modo de ramos grandes de un árbol, y donde se halla una de éstas es cosa ordinaria haber cerca luego otras y otras vetas [ACOSTA, 1590, p. 126].

5. EL SIGLO XVII. ANTONIO VÁZQUEZ DE ESPINOSA.

EL ARTE DE LOS METALES DE ÁLVARO ALONSO BARBA.

LOS MINERALES EN LA OBRA DE BERNABÉ COBO. DIEGO ROSALES

5.1. Antonio Vázquez de Espinosa y el *Compendio y descripción de las Indias occidentales* (circa 1629)

El fraile carmelita descalzo jerezano Antonio Vázquez de Espinosa (1570-1630) dedicó buena parte de su vida a recorrer el continente americano. En su *Compendio y descripción de las Indias Occidentales* (circa 1629), que no fue publicado por primera vez hasta 1948, recogió numerosos datos relativos a la actividad minera, terremotos y erupciones volcánicas.

El *Compendio* únicamente hace dos alusiones interesantes a los minerales americanos. Mencionó la presencia en El Pajonal (Atacama, Chile), de esmeraldas, turquesas, “piedras de sangre” y otras piedras semipreciosas [VÁZQUEZ DE ESPINOSA, 1969, p. 439]. Igualmente nombra a las esmeraldas del valle de Itoto, en la actual Colombia, y refiere la presencia en sus proximidades de “virilos muy finos, entre los cuales hay grandes cristales, lúcidos, claros y translúcidos” [VÁZQUEZ DE ESPINOSA, 1969, p. 979].

5.2. La clasificación y el origen de los minerales en el *Arte de los metales de Alonso Barba* (1639)

El misionero y sacerdote secular onubense Álvaro Alonso Barba (1569-1662) publicó, en 1639, su *Arte de los metales*, considerada la obra de química, minería y metalurgia más importante del siglo XVII, siendo reeditada en numerosas ocasiones y traducida al inglés, alemán y francés. La obra de Barba refleja su propia experiencia como minero y su amplio conocimiento del Alto Perú, en donde ocupó diversos cargos eclesiásticos entre los años 1609 y 1644. Barba igualmente dominaba el quechua y el aimara. El objetivo del autor, apoyado por la Audiencia de Charcas y el poderoso Gremio de Azogueros de Potosí, era contribuir a la prosperidad de la minería, el principal eje de la economía colonial [SALAZAR-SOLER, 2017].

La obra consta de cinco libros, centrándose en el beneficio de los metales por diversos procedimientos, y su posterior separación y refinamiento. De especial interés es el Libro I, que consta de 36 capítulos, “en que se trata del modo con que se engendran y cosas que los acompañan”. Destacan en el mismo las numerosas menciones a numerosas autoridades clásicas (Empédocles, Platón, Aristóteles, Calístenes, Dioscórides, Plinio, Galeno...), filósofos medievales tanto árabes (Avicena, Al Razi), como cristianos, especialmente alquimistas (san Alberto Magno, Rupescissa, Llull o Vilanova), así como a autores que denomina “modernos”, como el propio Agrícola, Teophrastus Bombast von Hohenheim, “Paracelso” (1493-1541), Gerolamo Cardano (1501-1576), Giovanni Bracesco (1482-1555) o incluso a Galileo Galilei

(1564-1642), cuyo modelo astronómico pro-copernicano había sido condenado por la Iglesia Católica en 1633. Por el contrario, llama la atención la ausencia de citas o referencias bíblicas en su obra, pese a ser el autor un religioso que el año de publicación del *Arte de los Metales* ejercía de coadjutor en la iglesia de San Bernardo de Potosí [BARBA, 1639; SALAZAR-SOLER, 2001, 2005, 2017]. Barba dividió a los “mixtos de la tierra” en cuatro grupos, “piedras”, “tierras”, “metales” y “xugos” en función de sus propiedades:

Los mixtos que la naturaleza produce en las entrañas de la tierra, o se derriten o no: si no se derriten, o son duros y se llaman piedras; ó blandos y que fácilmente se desmenuzan en pequeñísimas partes y se llaman tierras; y si se derriten, o vultos á su primera forma quedan duros y aptos á estirarse con el golpe de martillo, y estos son metales; o no quedan con la dureza y aptitud dichas, y estos son los que se llaman xugos [BARBA, 1639, pp. 9-10].

La clasificación de Barba puede considerarse como una modificación de la efectuada por Teofrasto [AMORÓS, 2001, p. 163], Aristóteles o Avicena (véase *supra*). A las clásicas categorías de “piedras”, “tierras” y “metales” el sacerdote onubense añadió un cuarto grupo, el de los “xugos”. Dentro de estos “xugos” incluyó al alumbre, la caparrosa, la sal (distinguiendo la formada por evaporación y la que se encuentra en minas subterráneas), el nitro o amoniaco, el betún, el azufre y el antimonio, el filosilicato margarita y el oropimente, enumerando sus propiedades físicas, especialmente el color, la dureza, los lugares de aparición, asociación con otros minerales y aplicaciones.

Distribuyó las “piedras” en cinco grupos; piedras preciosas “si son pequeñas, raras, duras y que tiene resplandor o lustre” mármoles, “grandes, aunque sean raras, y su lustre mucho”, pedernales “si quebrándose se hacen astillas o como escamas”, guijarros “si están menudamente granadas” y peñas o piedras ordinarias, si no poseen ninguna de las características anteriores [BARBA, 1639, p. 25]. Barba clasificó a las piedras preciosas según sus propiedades ópticas: transparentes como el diamante, opacas como el ónix, o traslúcidas, como el jaspero, propiedades que hace depender del agua. Según Barba estas piedras se originarían a partir de “un xugo semejante al agua”, y sus propiedades van a depender de la “pureza” y del color del líquido del cual se formaron; si el jugo es semejante al agua de mar, se formará el cristal de roca, si es menos claro, originará al diamante y si es de color verde o azul dará lugar, respectivamente, a la esmeralda o al zafiro [BARBA, 1640, pp. 26-27].

Más adelante abordó el origen de los metales, negando tanto la creación divina de las vetas metálicas desde el origen de los tiempos, como la influencia de la astrología. Para ello utilizó dos argumentos fundamentales: su conocimiento de la existencia de un octavo metal, el bismuto o “bisimuto”, descubierto por Agrícola, y la obra de Galileo sobre el movimiento de los satélites de Júpiter [BARBA, 1639, p. 46]. Barba partió de postulados alquímicos, defendiendo la interacción en el interior de la Tierra entre las distintas exhalaciones de azufre y mercurio para la generación de los minerales, apoyado por sus propias observaciones [BARBA, 1640, pp. 36-38] y la existencia

de “antipatías” entre minerales y metales en su Libro III [BARBA, 1640, 106-107]. El sacerdote onubense concedía una gran importancia a la acción del calor y el frío:

con el calor mezcla uniformemente lo terreo con lo húmedo, que es la materia de que se componen: cuécelo, y lo digiere y espesa, y con el frío lo endurece y cuaxa, en forma de metal más o menos espeso, según la mayor o menor pureza que halló en la disposición presente en la materia [BARBA, 1640, p. 41].

Para Barba, el calor y los rayos solares constituyen las fuerzas esenciales en el proceso de transformación de los metales [CAPEL, 1980], en una interpretación de clara raíz neoplatónica. Además Barba, como Plinio, pensaba que los metales se generaban continuamente en la mina y que si se dejaban sin explotar renacerían solas, como sucedía en minas italianas de hierro. Esta interpretación guarda, además, una gran similitud con los relatos de las *mamas* creadoras del mineral procedentes de la tradición indígena [BOUYASSE-CASSAGNE, 2005, p.447].

Lo propio juzgan muchos que sucede en este rico cerro de Potosí, y por lo menos vemos todos, que las piedras que años antes se dexaban dentro de las minas porque no tenían plata, se sacaban después con ella, tan continua y abundantemente, que no se puede sino atribuir al perpetuo engendrarse de la plata [BARBA, 1640, p. 37].

Los dos últimos capítulos del Libro I del *Arte de los Metales* tratan de las propiedades de los minerales. En el capítulo XXX (“De los colores de todos los minerales generalmente”) Barba asignó un papel relevante al color, agrupándolos en función del mismo.

El *Arte de los Metales* constituye un texto único, en el que por un lado se conjugan las más avanzadas técnicas metalúrgicas, procedentes de la observación y experimentación de un científico con un amplio conocimiento de la actividad minera y por otros planteamientos alquímicos y neoplatónicos que hunden sus raíces en la Antigüedad clásica.

5.3. Bernabé Cobo y la *Historia del Nuevo Mundo* (1653)

Bernabé Cobo (1580-1657), nacido en Lopera (Jaén) llegó muy joven al Nuevo Mundo, ingresó en la Compañía de Jesús en año 1601 y se formó en el Colegio de San Martín de Lima en Teología y lenguas indígenas. El plan de estudios de las universidades jesuitas comprendía la lectura y comentario de la “filosofía natural” aristotélica [UDÍAS VALLINA, 2015]. Viajó por Perú, Bolivia, Ecuador, Centroamérica y México. Su *Historia del Nuevo Mundo*, cuyos trabajos se iniciaron en 1612, fue terminada en 1653 y permaneció prácticamente olvidada hasta que el explorador y naturalista Marcos Jiménez de la Espada editó, entre 1890 y 1893, los manuscritos recuperados.

Cobo ofrece una de las mejores Historias Naturales de Indias que se conservan, siendo testigo de la acción de la corriente marina, hoy conocida como de Humboldt, y la desecación de la laguna de México [MATEOS, 1964]. Desde la filosofía clásica y

criticando las perspectivas etnocentristas del siglo anterior y la excesiva dependencia de los clásicos como Plinio, intentó armonizar la Naturaleza del Nuevo Mundo con las Escrituras. Su *Historia del Nuevo Mundo* consta de tres libros, el primero de los cuales versa sobre la Naturaleza del Nuevo Mundo. Presenta primero a los minerales, luego las plantas y animales y finalmente a los pobladores americanos [MILLONES-FIGUEROA, 2003]. En su prólogo a la obra manifiesta que su intención es contrastar y aclarar la diversidad de opiniones que existen sobre el continente americano [COBO, 1964, p. 3], y que para ello utilizará la información proporcionada tanto por los nativos como por los españoles. Respecto al origen de los minerales o “mixtos inanimados”, lo atribuye a la acción divina, a fin de ser útiles para el ser humano, según los planteamientos teleológicos y causales de la tradición aristotélica y escolástica:

Asimismo produjo en ella todos los géneros de mixtos inanimados que encierra en sus senos, como son los minerales de piedras y metales; porque, aunque de la producción de estos mixtos, que también eran necesarios para el servicio de los hombres, no se haga especial mención en el primer capítulo del Génesis, debemos creer haber sido producidos de la tierra en el tercer día, primero que las plantas, como inferiores a ellas [COBO, 1964, p. 17].

El capítulo tercero del primer Libro aborda las cuestiones relacionadas con el reino mineral. Para Cobo, lo común de los “mixtos inanimados” residía en el elemento tierra, y pensaba que las propiedades de estos mixtos inanimados van a depender de la proporción de los otros tres elementos (aire, agua, fuego) que se mezcle con la misma. Así:

Si en la mixtura concurriera la mayor proporción de tierra que los otros elementos, engendrarse ha un cuerpo grave, seco, duro, espeso y oscuro, cual es el hierro, y si sobrepujare el agua producirse ha minerales claros y transparentes, como los diamantes, zafiros y demás piedras preciosas. De la misma forma, si concurriera en la misma mixtión mayor copia de tierra y agua que de aire y fuego y la tierra y agua son casi iguales fuerzas y facultades oscureciesen notablemente los dos elementos, generarse ha minerales de naturaleza fluente, macizos, graves y algún tanto claros y relucientes, como lo son el oro, plata, cobre, estaño plomo y azogue, concurriendo siempre a la generación de los metales más perfecta, más pura y más ascendrada materia, y por el contrario, más feculenta e impura a los de los imperfectos e impuros [Cobo, 1964, pp. 108-109].

Pese a este bosquejo de clasificación de los minerales, basado en la física aristotélica, Cobo no niega la influencia de la astrología en la formación de los metales. “Para lo cual, así los alquimistas como los astrólogos atribuyen a cada especie de metal un planeta propicio que presida y asista a su generación y le de toda su actividad y fuerza” [COBO, 1964, p. 109]. Cobo llevó a cabo un exhaustivo estudio de las diversas tierras, sustancias bituminosas, rocas, gemas y minerales presentes en el Nuevo Mundo, dedicando asimismo varios capítulos a los metales preciosos, el mercurio, las minas y las técnicas de extracción y tratamiento. A la hora de presentar los mixtos inanimados sigue un cierto orden: en primer lugar, el bitumen y las sales, luego lo que hoy se denominaría minerales y rocas industriales, prosiguiendo por las rocas ornamentales, los materiales de procedencia orgánica (maderas petrificadas, perlas, piedras bezar), las gemas y piedras preciosas y finalmente los metales, en total unas

70 sustancias diversas. Esta clasificación parece comenzar por los mixtos más “imperfectos” (productos petrolíferos) y acaba por los más “perfectos” (el oro y la plata). Entre los minerales recogidos se encuentran el alumbre o caparrosa, la glauberita el yeso alabastrino, la “piedra imán” o magnetita, la *copaquira* o cardenillo (calcantita), la *haquimasci* o toba caliza, la *coravari* o crisolita y piedras semipreciosas y preciosas (amatistas, calcedonia, esmeraldas o topacios) [COBO, 1964, pp.113-135]. De todas éstas y de diversas rocas, tierras y “piedras” Cobo hizo detalladas descripciones tanto de su aspecto como de sus propiedades y localizaciones. Como casi un siglo antes hizo Sahagún, Cobo incluyó dentro del grupo de los minerales y rocas a elementos de origen orgánico, como la piedra bezoar, las perlas o incluso huesos fósiles, debido a su carácter “inanimado”.

Cobo aporta explicaciones interesantes sobre los procesos de cristalización mineral en el capítulo XXX relativo al “Coco del Paraguay”, en realidad geodas de cuarzo amatista. Cobo, tras describir detalladamente las muestras, afirma que estos cristales se generan bajo el subsuelo por crecimiento en cavidades endurecidas en las que el aire que queda encerrado no puede comunicarse con el exterior, por lo que “es fuerza que, calentándose o enfriándose con la mudanza del tiempo, se dilate o condense, y a cualquiera alteración de éstas que en si reciba, reviente el casco de la piedra o coco” [COBO, 1964, p. 132].

5.4. Diego Rosales y la *Historia general del Reino de Chile, Flandes Indiano* (1674)

El recorrido por las principales obras sobre la Historia Natural americana finaliza con el jesuita Diego de Rosales (1601-1677), durante muchos años misioneros en Arauco, Chile. Profundo observador de la Naturaleza de la región, en el Libro II *Historia general del Reino de Chile, Flandes Indiano*, escrita en 1674 pero no editada hasta dos siglos más tarde, se ocupó de la geografía e historia natural. Rosales se muestra conocedor de las obras de Kircher y de Barba, adoptando posturas claramente organicistas en lo relativo al origen de los fenómenos volcánicos:

Son tambien los Volcanes segun el sentir de muchos causa de los espantosos temblores destas tierras (...). Porque el fuego y el ayre en las entranas, y concauidades de los Volcanes, pelean ya condensandose el uno, y rarificandose el otro, y la materia del fuego alentando de el ayre, bulle, y lo padece la tierra, que no pudiendo sufrir en sus concauidades el ayre, padece palpitations y mortales ansias en el corazon, y estupendos temblores en todo el cuerpo [ROSALES, 1877, p. 204].

No obstante Rosales no abordó directamente en su obra el origen de los minerales, aunque parece desprenderse de la lectura de su obra que establece una clara relación entre la riqueza del subsuelo chileno y las exhalaciones o vapores del subsuelo: “Por el camino de Uco, que va por la quebrada del Rio Maipu, se padece algo por aver cerros muy lebantados y por causa de los vapores de los minerales de azogue y otros metales que alli se crian” [ROSALES, 1877, p. 218].

De especial interés es su mención de la “piedra cruz” presente en el río Laraquete y recolectada para amuletos, joyería y orfebrería. Observó que “por donde quiera que partan aquellas piedrecitas queda señalada una cruz con los remates a manera de la cruz de los caballeros de Malta” [ROSALES, 1877, p. 214]. Rosales estaba describiendo a la andalucita en su variedad quiastolita, cuyas inclusiones de grafito originan una cruz muy característica al cortar transversalmente el mineral. El jesuita citó los yacimientos de “piedra carbón” cercanos a Concepción, así como un cerro cercano a Santiago en el que abunda la “piedra imán” [ROSALES, 1877, p. 215].

Por último, en el capítulo VI “De otras piedras, y de las dificultades que ocurren en labrar las minas”, entre otros aspectos, describe los “cocos de mina” o amatistas, el talco, el yeso o “*lapis specularis*”, diversos sulfatos de aluminio (“caparrosa”) y minerales de antimonio, sin desarrollar una clasificación de los mismos [ROSALES, 1877, pp.216-217].

6. CONCLUSIONES

Los problemas sobre la generación de los metales, la prospección de nuevos yacimientos o la exploración de nuevos métodos para aprovecharlos impulsaron el conocimiento de la “geología” durante el siglo XVI. En este contexto van a predominar las “historias” de minerales en las que se recopila, lo más exhaustivamente posible, la descripción de sus características internas y externas, sus poderes mágicos y terapéuticos, correspondencias, “simpatías” y “antipatías”. Estas “historias” tenían, en este contexto, un significado exclusivamente descriptivo y narrativo, consistiendo en una investigación, estudio sistemático y clasificación de los objetos (animales, plantas y minerales) y fenómenos naturales, sin relación alguna con el tiempo [CAPEL, 1987, p. 17; GARCÍA CRUZ, 2014, p. 92].

En este marco, en el Nuevo Mundo se llevaron a cabo importantes estudios mineralógicos durante la primera mitad de la Edad Moderna. Una serie de factores hicieron posible la recopilación de numerosos datos sobre el reino mineral en la América colonial española: el interés de la Corona en la explotación de los metales y piedras preciosas o en sus aplicaciones farmacológicas, impulsando expediciones naturalistas como la de Hernández en Nueva España; la existencia de una administración colonial que necesitaba conocer y clasificar las riquezas de los terrenos conquistados, para lo cual impulsará una metodología para recabar de una manera más fidedigna los datos: las Relaciones Geográficas de Indias; la presencia en tierras americanas de una serie de humanistas y naturalistas con una amplia formación que hundía sus raíces en la cultura clásica y la tradición escolástica medieval; la labor de una red de colegios, universidades e instituciones que recogen y transmiten los conocimientos de historia natural de la época, un caso paradigmático lo constituye Cobo, que se formó casi íntegramente en Lima; y la cada vez mayor sensibilidad de muchos misioneros hacia la comprensión y el conocimiento de las culturas indígenas y sus saberes tradicionales, con enfoques

alejados de planteamientos etnocentristas y que buscaban revalorizar el conocimiento ancestral que los habitantes precolombinos tenían de sus minerales.

Así, durante los siglos XVI y XVII, las principales Historias Naturales escritas en el Nuevo Mundo incluyen, en mayor o menor medida, estudios “mineralógicos”. En dichas historias se recogen aspectos relativos a la descripción, clasificación, consideraciones de la génesis de los diversos yacimientos, teorías sobre el origen de los minerales y sus aplicaciones prácticas. Estas obras proceden de la observación directa de sus autores, conjugada con la necesidad de hacer constar la autenticidad de los datos recogidos, aportando datos precisos sobre localizaciones de minerales, nombres vernáculos, propiedades físicas o usos prácticos, lo que indujo a diversos estudiosos a perfilar sus propias técnicas de investigación (Sahagún o Hernández) elaborando detallados cuestionarios para ser cumplimentados por los indígenas [ELLIOTT, 2011].

En las clasificaciones y descripciones de muchos autores predominaron los aspectos prácticos de la aplicación de los minerales, que a *grosso modo* responde a la siguiente agrupación: minerales metálicos, piedras preciosas y semipreciosas, rocas ornamentales, minerales y rocas industriales y sustancias bituminosas. Los criterios de clasificación de los autores se fueron volviendo progresivamente más complejos, desde la simple relación de minerales (Hernández) al uso medicinal (Sahagún), la consistencia y propiedades mecánicas (Barba) o la proporción entre los cuatro elementos aristotélicos (Cobo). Además de las propiedades terapéuticas, se percibe un progresivo mayor interés en las propiedades físicas como el color, textura o su comportamiento ante la luz. No está documentado en territorio americano, a finales del siglo XVII, el uso del microscopio simple para el estudio de muestras minerales.

Otro aspecto a tener en cuenta es que muchos autores aportan localizaciones precisas de las muestras estudiadas, las cuales pueden constituir las primeras menciones históricas en el continente americano de numerosos minerales (como por ejemplo la andalucita descrita por Rosales). Este hecho y la variedad de especies y gemas citadas por algunos autores permiten considerar algunas Historias Naturales como verdaderos antecedentes de los tratados de mineralogía topográfica de la Edad Contemporánea redactados en español. En ese sentido se adelantaron en más de dos siglos a los *Materiales para la geografía mineralógica de España y de sus posesiones de América* (1799), de Cristiano Herrgen, el primer intento de sistematización de la mineralogía española, y en casi tres a *Elementos de Mineralogía General, Industrial y Agrícola* de Naranjo, publicado en 1862 [CALVO REBOLLAR Y CALVO SEVILLANO, 2010]. En diversos casos describieron detallados procesos de génesis y enriquecimiento mineral y diversas tipologías de yacimientos primarios y secundarios, especialmente en el caso del oro y de la plata (Fernández de Oviedo o Acosta), fenómenos de cristalización (Cobo), o interpretaron algunas menas como precipitados a partir de líquidos acuosos (Barba).

Inicialmente sus teorías sobre la génesis de los minerales pasaron a un segundo plano o no llegaron a plantearse, al menos explícitamente (Hernández y Sahagún). Acosta recurrió a argumentos vagamente organicistas. Curiosamente Rosales, conocedor de la obra de Kircher, no abordó la formación de minerales, aunque en otras partes de su obra empleó presupuestos organicistas en la estela de Kircher para explicar el origen del vulcanismo. Los dos autores que elaboraron los modelos más complejos sobre la formación de los metales, Cobo y Barba, pueden ejemplificar la presencia en el mundo americano de dos “escuelas” o “tradiciones”, acerca de la génesis mineral, la aristotélica y la alquímica. Cobo, puede considerarse un “naturalista”, que se ha formado en el Nuevo Mundo partiendo de la tradición escolástico-aristotélica, con una innata curiosidad y una gran capacidad de observación e intuición sobre los procesos de formación de minerales (véase *supra*). Barba, por el contrario, es un “práctico”, un “experto” en minería, continuador de la tradición alquímica de muchos religiosos católicos y que ha estado en contacto con los avances científicos protagonizados por los autores europeos que le fueron contemporáneos. Cobo postuló un origen divino de los metales según la teleología cristiana, si bien no negó las influencias astrológicas en su formación. Barba, en cambio, elaboró un modelo explicativo que siguió presupuestos alquímicos en la estela neoplatónica. Ambas teorías “mineralogenéticas” esgrimidas se pueden considerar “modernas” ya que siguen los paradigmas usados durante la época previa a la Revolución Científica, modelos que arraigaron y difundieron ampliamente en la América colonial.

A este respecto habría que considerar, siquiera mínimamente, el papel que jugaron la naturaleza americana y el propio hecho del Descubrimiento en la recepción y desarrollo de las explicaciones europeas sobre el origen de los minerales en los nuevos territorios. Las fabulosas riquezas minerales, la abundancia del oro en las tierras conquistadas, la imagen de un Nuevo Mundo como lugar inocente, una suerte de paraíso terrenal no contaminado por el pecado y la degradación del Viejo Mundo, necesariamente habrían de impactar sobre cronistas e historiadores de Indias. Aparece la visión de un subsuelo americano pleno de riquezas áureas y poderes mágicos, no contaminado, un verdadero “paraíso mineral” para los alquimistas. Surge la leyenda del “Árbol del Oro” [AMODIO, 2011], del que Pedro Mártir de Anglería, en su *Décadas del Nuevo Mundo*, escribe en una fecha tan temprana como 1516:

Tienen averiguado que el filón de oro es un árbol vivo por donde quiera que encuentra un camino, desde la raíz, por hendiduras abiertas y blandas, echa ramas hasta las crestas supremas de la montaña, y nunca se detiene hasta que logra el aire del cielo [MÁRTIR DE ANGLERÍA, 1989, p. 228].

Además, la activa geodinámica americana en forma de seísmos, erupciones y fenómenos termales, llevaron a los primeros cronistas e historiadores de Indias como Fernández de Oviedo, Bartolomé de Las Casas o Acosta a considerar la existencia de “exhalaciones subterráneas” y canales de fuegos que discurrirían por el subsuelo comunicando entre sí volcanes, y a interpretar los fenómenos naturales establecien-

do paralelismos entre la Naturaleza y el cuerpo humano [PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, 2007]. Todos estos factores posiblemente favorecieron la aceptación inicial y la difusión por el territorio americano de las teorías sobre el origen de los minerales formuladas en Europa.

Gran parte de este valioso caudal de información sobre la mineralogía y, en general, de la geología americana recogida en muchas Historias Naturales no pudo transmitirse desde la metrópoli o desde el Nuevo Mundo hacia las instituciones científicas europeas. Varios de estos trabajos, algunos monumentales, tardaron más de dos siglos en publicarse, siquiera de manera parcial. Este fue el caso de las obras de Hernández, Sahagún y Cobo, precisamente los estudiosos que más datos recopilaron sobre los minerales del Nuevo Mundo. Su recuperación en tiempos relativamente recientes ofrece a los investigadores la oportunidad de profundizar en aspectos interesantes y un tanto inéditos de la historia de la Geología y de las Ciencias Naturales, y de los mecanismos de difusión de conocimientos entre el Viejo y el Nuevo Mundo durante la Edad Moderna.

NOTAS

1. Sin embargo, desde el periodo de la Ilustración se disponen de excelentes publicaciones. A título de ejemplo se pueden mencionar Manuel Castillo Martos (2005) o el ya clásico artículo de Francisco Javier Ayala Carcedo y Octavio Puche Riart (1993).
2. Para una mayor profundización en el concepto de “paradigma” y en la discusión al efecto entre Kuhn y su maestro Karl Popper, véanse SEQUEIROS (2001, 2012)

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, J. (1590) *Historia natural y moral de las Indias*. Sevilla, Juan de León. [Edición de José Alsina Franch. Madrid, Historia 16. 1987]
- ALSINA CALVÉS, J. (2006) *Historia de la Geología*. 1ª edición, Barcelona, Montesinos.
- ÁLVAREZ PELÁEZ, R. (1995) “La obra de Hernández y su repercusión en las ciencias naturales”. *Asclepio*, 47(22), 27-44.
- ÁLVAREZ PELÁEZ, R. (1999) “Felipe II, la ciencia y el Nuevo Mundo”. *Revista de Indias*, 59(215), 9-30.
- ÁLVAREZ SUÁREZ, R.M., BERJILLOS RUIZ, P., GARCÍA DE LA TORRE, E., PEDRINACI RODRÍGUEZ, E., SEQUEIROS SAN ROMÁN, L. (1996) *Los materiales terrestres: Rocas, Minerales, Piedras figuradas, Metales y Minas. Fundamentación didáctica y desarrollo para el aula en Educación Secundaria*. Memoria final del trabajo de investigación e innovación didáctica realizada dentro del proyecto 005/CO de la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía (1991-1996) Córdoba, Equipo Terra, no publicado. [Original facilitado por el Dr. Leandro Sequeiros San Román].
- ALVIM, M.H. Y MENDOÇA FIGUEROA, S.F. (2007) “Minerales y piedras preciosas en la Nueva España del siglo XVI, a través de la obra *Historia general de las cosas de la Nueva España*, del fray Bernardino de Sahagún”. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 15(1), 56-64.
- AMODIO, E. (2011) “*Mundus subterraneus*. La representación del mundo subterráneo americano. Del Barroco a la Ilustración”. En: *Entre cielos e infiernos. Memoria del V Encuentro*

- Internacional sobre Barroco*, Pamplona, Fundación Visión Cultural-Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra, 43-55.
- AMORÓS, J.L. (2001) “Notas sobre la historia de la mineralogía y cristalografía IV. La mineralogía española en la época del Barroco”. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Geología)*, 61, 167-186.
- AYALA, M.L. (2005) “La Historia Natural en el Siglo XVI: Oviedo, Acosta y Hernández”. *Estudios del Hombre*, 20, 19-37.
- AYALA CARCEDO, F.J. Y PUCHE RIART, O. (1993) “La “Orygthología” de Juan José Elhúyar (1754-1796) y la “Oritognosia” de Andrés Manuel del Río (1764-1849), primeros tratados geológicos, escritos por españoles en América”. *Boletín Geológico y Minero* 104(1), 72-112.
- BARBA, Á. A. (1817) *Artes de los metales, en que se enseña el verdadero beneficio de los de oro y plata por azogue, el modo de fundirlos y como se han de refinar y apartar unos de otros*. Lima, Imprenta de los Huérfanos. <https://books.google.es/books?id=gDkwAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- BARGALLÓ, M. (1955) *La Minería y la Metalurgia en la América española durante la época colonial*. 1ª edición, México, Fondo de Cultura Económica.
- BARRERO, A. (2004) “El aporte de Aristóteles a la Meteorología”. *Meteorol. Colomb*, 8, 107-113. <http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero08/08_13.pdf>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- BOUYSSÉ-CASSAGNE, T. (2005) “Las minas del centro-sur andino, los cultos prehispánicos y los cultos cristianos”. *Bulletin de l’Institut français d’études andines*, 34(3), 443-462.
- BOUYSSÉ-CASSAGNE, T. (2008) “Minas del sol, de Inka, y de la gente. Potosí en el contexto de la minería prehispánica”. En: P.J. Cruz y J.J. Vacher (eds.) *Mina y metalurgia en los Andes del Sur*. Lima, Instituto de Recherche pour le Développement-Instituto Francés de Estudios Andinos, 91-120.
- CALVO REBOLLAR, M. Y CALVO SEVILLANO, G. (2010) “Mineralogía topográfica española. A cien años de la publicación de “Los Minerales de España”, de Salvador Calderón”. *De Re Metallica*, 14, 99-105.
- CAPEL, H. (1980) “Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII”. *Geocrítica*, 27-28, 1-91. <<http://www.ub.edu/geocrit/geo27-28.htm>>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- CAPEL, H. (1987) “Naturaleza y cultura en los orígenes de la geografía española”. En: A. Lafuente y J.J. Saldaña *Historia de las ciencias*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 167-193.
- CASTILLO MARTOS, M. (2005) *Creadores de la ciencia moderna en España y América: Ulloa, los Delbuiar y del Río descubren el platino, el wolframio y el vanadio*. Brenes, Muñoz Moya-Editores Extremeños.
- CERVANTES DE SALAZAR, F. (2012) *Apólogo de La ociosidad y el trabajo, de Luis Mexía, glosado y moralizado por Francisco Cervantes de Salazar*. “Textos recuperados”, 29, 1ª edición, Salamanca, Ediciones de la Universidad de Salamanca. Estudio y edición crítica de Consolación Baranda.
- CIEZA DE LEÓN, P. (1553) *La Crónica del Perú. El señorío de los incas*. “Colección Clásica”, 226, 1ª edición, Caracas, Biblioteca Ayacucho.
- COBO, B. (1964) *Historia del Nuevo Mundo* “Obras del P. Bernabé Cobo”, Tomo I, Madrid, Biblioteca de Autores Españoles. Estudio preliminar y edición del P. Francisco. Mateos.

- <<http://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/catalogo/consulta/registro.cmd?id=1014725>>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- ELIADE M. (1983). *Herreros y alquimistas*. “El Libro de Bolsillo”, 2ª edición. Madrid, Alianza Editorial.
- ELLENBERGER, F. (1989) *Historia de la Geología, vol. I. De la Antigüedad al siglo XVII*. 1ª edición, Barcelona, Ed. Labor.
- ELLIOTT, J. (2011) *El viejo mundo y el nuevo, 1492-1650*. “El libro de bolsillo: Humanidades/ Historia”, 4185, Madrid, Alianza Editorial. 1ª reimpresión de la primera edición, 2000.
- ESTEVA DE SAGRERA, J. (2005) “La farmacia alquimista. Metales sanadores”. *Offarm*, 24(7), 84-90.
- ESTEVA DE SAGRERA, J. (2006) “La farmacia, comercio y ciencia. Monardes y Hernández como ejemplo”. *Offarm*, 25(11), 68-73.
- FERNÁNDEZ DE OVIEDO, G. (1855) *Historia natural y general de las Indias, islas, y tierras firmes del mar océano. Primera parte*. Madrid, Real Academia de la Historia. <http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/historia-general-y-natural-de-las-indias-islas-y-tierra-firme-del-mar-oceano-primer-parte--0/html/014747fa-82b2-11df-acc7-002185ce6064_285.htm>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- FRESQUET FEBRER, J.L. (1999) “El uso de productos del reino mineral en la terapéutica del siglo XVI. El *Libro de los medicamentos simples* de Juan Fragoso (1581) y el *Antidotario* de Juan Calvo (1580)”. *Asclepio*, 51(1), 55-92.
- FRANÇA, L.M. (2010) “El jade y las piedras verdes en Teotihuacán, México”. *Revista do Museu de Arqueologia e Ecologia*, 20, 327-344.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2007) “De la “teoría de la tierra” de James Hutton a la “hipótesis Gaia” de James Lovelock”. *Asclepio*, 59, 65-100.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (2014) “Aproximación a las sensibilidades históricas y teorías de la tierra: de la fe a la razón”. *Llull*, 37(80), 87-111.
- HERNÁNDEZ, F. (1984) “Historia de los Minerales de Nueva España”. En: C. Zolla *Obras completas del Dr. Francisco Hernández*, Tomo III. “Historia natural de la Nueva España”, 2. Universidad Nacional Autónoma de México, 405-412. <http://www.franciscohernandez.unam.mx/tomos/slide/07_Tomo_11Historiadelosminerales/index.html>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- KUHN, T. (2004) *La estructura de las Revoluciones Científicas*. 1ª edición, México, Fondo de Cultura Económica. [Octava reimpresión de la primera edición en castellano, 1971]. <http://www.conductitlan.net/libros_y_lecturas_basicas_gratuitos/t_s_kuhn_la_estructura_de_las_revoluciones_cientificas.pdf>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- LEÓN-PORTILLA, M. (1978) “La minería y la metalurgia en el México Antiguo”. En: M. León-Portilla; J. Gurría Lacroix; R. Moreno y E. Madero Bracho *Minería Mexicana. Estudios sobre su desarrollo histórico*. 1ª Edición, México, Comisión de Fomento Minero, 7-36.
- LEÓN-PORTILLA, M. (2014) *Totecáyotl. Aspectos de la cultura náhuatl*. México, Fondo de Cultura Económica. [Décima reimpresión de la 1ª edición, 1980].
- LÓPEZ AUSTIN, A. (2011) “Estudio acerca del método de investigación de fray Bernardino de Sahagún”. *Estudios de cultura náhuatl*, 42, 353-400.
- LÓPEZ DE AZCONA, J.M. (1962). *Bibliografía de minería, metalurgia, geología y ciencias afines*. Madrid, IGME.
- LÓPEZ DE AZCONA, J.M. (1981). “La geología en el mundo hispánico hasta la muerte de George Cuvier”. *Boletín Geológico y Minero*, 92, 240-244.

- LÓPEZ DE AZCONA, J.M. y HERNÁNDEZ SAMPELAYO, P. (1974). *La Geología y Minería Españolas. Notas históricas*. Madrid, IGME.
- LÓPEZ PIÑERO, J.M. y GLICK, T.F. (1993) *El megaterio de Bru y el presidente Jefferson. Una relación insospechada en los albores de la Paleontología*. Valencia, Cuadernos Valencianos de Historia de la Medicina y de la Ciencia, CSIC.
- MÁRTIR DE ANGLERÍA, P. (1989) *Décadas del Nuevo Mundo*. Madrid, Ediciones Polifemo.
- MATEOS, F. (1964) "Introducción. Personalidad y escritos del P. Bernabé Cobo". En: B. Cobo (1964). *Historia del Nuevo Mundo "Obras del P. Bernabé Cobo"*, Tomo I, Madrid, Biblioteca de Autores Españoles. Estudio preliminar y edición del P. Francisco. Mateos. <http://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/catalogo/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1001312>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- MAZADIEGO MARTÍNEZ, L.F. y PUCHE RIART, O. (1998) "Mitología del oro: el oro y el sol". *Boletín Geológico y Minero*, 109(5), 629-640.
- MILLONES-FIGUEROA, L. (2003) "La historia natural del padre Bernabé Cobo. Algunas claves para su lectura". *Colonial Latin American Review*, 12(1), 85-97. <doi: 10.1080/1060916032000084776>.
- MOTTANA, A. (2012) "Mineral novelties from America during Renaissance: the "stones" in Hernández' and Sahagún's treatises (1576-1677)". *Rend, Fis.Acc. Lincei* 23, 165. <doi: 10.1007/s12210-012-0175-3>.
- ORCHE, E., PUCHE, O, AMARÉ, P. Y MAZADIEGO, L.F. (2004) "Un caso de patrimonio minero intangible. El Tío de las minas bolivianas". *De Re Metallica*, 3, 33-42.
- OTTONE, E.G. (2008) "José Sánchez Labrador (1717-1798) y la Geología del Paraguay Natural". En: F.G. Aceñolaza (ed.) *Historia de la Geología Argentina I*. Serie "Correlación Geológica" 24, 1ª edición, Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, 43-54.
- PALACIOS, T.A. (2011) "Metalurgia prehispánica de Sudamérica". *Revista de la Asociación Argentina de Materiales* 8(2), 15-28.
- PETIT-BREUILH SEPÚLVEDA, M.E. (2007) "La concepción científica de la dinámica terrestre en los Cronistas de Indias". En: F. Navarro Antolín (ed.) *Orbis incognitus: avisos y legajos del Nuevo Mundo: Homenaje al profesor Luis Navarro García*, vol. I. Universidad de Huelva, 405-421.
- PRIETO, C. (1984) "Los Minerales de la Nueva España". En: C. Zolla *Obras completas del Dr. Francisco Hernández*, Tomo VII. "Comentarios a la obra de Francisco Hernández". Universidad Nacional Autónoma de México, 259-264. <http://www.franciscohernandez.unam.mx/tomos/slide/07_Tomo_11Historiadelosminerales/index.html>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- PUCHE RIART O. (2000) "Minería en América de lengua española: periodo colonial". En: F.A. Freitas et al. (eds.) *Brasil 500. A construção do Brasil e da América Latina pela mineração*. Río de Janeiro, CETEM, 45-58.
- ROSALES, D. (1877) *Historia general del reino de Chile. Flandes indiano*, Tomo I. Valparaíso, Imprenta del Mercurio. Edición de Benjamín Vicuña Mackenna. <<http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-8023.html>>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- SAHAGÚN, B. (1830) *Historia general de las cosas de Nueva España*, Tomo III. México, Imprenta de Alejandro Valdés. Edición con notas y suplementos de Carlos María de Bustamante. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080012524_C/1080012525_T3/10800-12525-MA.pdf>. [Consulta: 6-septiembre-2017].

- SALAZAR-SOLER, C. (2001) "La alquimia y los sacerdotes mineros en el virreinato del Perú en el siglo XVII". *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 30(3). <<http://bifea.revues.org/7085>; DOI: 10.4000/bifea.7085>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- SALAZAR-SOLER, C. (2005) "Obras más que de gigantes: los jesuitas y las ciencias de la tierra en el Virreinato del Perú (siglos XVI y XVII)". En: L. Millones Figueroa y D. Ledezma (coords.) *El saber de los jesuitas, historias naturales y el Nuevo Mundo*, 147-172.
- SALAZAR-SOLER, C. (2017) "La escritura de la historia por un experto de la minería en el Perú del siglo XVII", *e-Spania*. <<http://e-spainia.revues.org/26396>; DOI: 10.4000/e-spainia.26396>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- SÁNCHEZ RUIZ, J.F., TEJADA ROSALES, M.E., SÁNCHEZ TEJEDA, J.F. Y SÁNCHEZ TEJEDA, M.G. (2012) "La farmacia, la medicina y la herbolaria en el *Código florentino*". *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 43(3), 55-66.
- SEQUEIROS, L. (2001) "Popper y Kuhn: veinte años después. Reflexión didáctica en el centenario (1902-2002) del nacimiento de Karl R. Popper". *Enseñanza y de las Ciencias de la Tierra* 9(1), 2-11
- SEQUEIROS, L. (2001) "El Geocosmos de Athanasius Kircher". *Llull*, 24, 755-807.
- SEQUEIROS, L. (2012) "Las propuestas de Thomas S. Kuhn siguen vivas después de medio siglo". *Tendencias*, 21,16 de febrero. <http://www.tendencias21.net/Laspropuestas-de-Thomas-S-Kuhn-siguen-vivas-despues-de-medio-siglo_a10016.html>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- SEQUEIROS, L. y PEDRINACI, E. (1999) "De los volcanes de Kircher a la Gaia de Lovelock". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7(3), 187-193.
- SUREDA, R.J. (2008) *Historia de la Mineralogía*. "Correlación Geológica", 23. Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica. 1666- 9479. [<http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg-23-0-00.pdf>]. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- UDÍAS VALLINA, A. (2015) *Los jesuitas y la ciencia*. Bilbao, Mensajero.
- VALCÁRCEL MARTÍNEZ, S. (1989) "El padre José de Acosta". *Thesaurus*, 44(2), 389-428.
- VALLE GONZÁLEZ, A. DEL Y NIÑO SACRISTÁN, M.P. (1993) *Introducción a la sistemática mineral. Nomenclatura y Clasificación Mineral*. Facultad de Ciencias Universidad de Valladolid. <<http://greco.fmc.cie.uva.es/articulos/clasminavg.pdf>>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- VÁZQUEZ DE ESPINOSA, A. (1969) *Compendio y descripción de las Indias Occidentales*. Madrid, Atlas. Edición de Balbino Velasco Bayón.
- VETTER PARODI, M.L. (2007) *El papel de los plateros indígenas en la época colonial temprana del virreinato del Perú*. Tesis de Fin de Máster. Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. <<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5319>>. [Consulta: 6-septiembre-2017].
- ZAMORA AYALA V. (2003) "El conocimiento de los metales y su beneficio por los indígenas". *Acta Universitaria*, 13(1), 36-48.