

RESEARCH ARTICLE

## Art and geology in the Renaissance: Leonardo da Vinci, Alberto Durero and Georgius Agricola

### *Arte y Geología en el Renacimiento: Leonardo da Vinci, Alberto Durero y Georgius Agricola*

Jesús Martínez Frías<sup>1</sup>, Jesús Enrique Martínez Martín<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC-UCM). C/ Doctor Severo Ochoa 7. Edificio Entrepabellones 7 y 8, planta 4ª. 28040 Madrid.

<sup>2</sup> Facultad de Educación, Universidad Camilo José Cela, Urb. Villafranca del Castillo, Calle Castillo de Alarcón, 49, 28692 Villanueva de la Cañada, Madrid.

Corresponding author: [j.m.frias@igeo.ucm-csic.es](mailto:j.m.frias@igeo.ucm-csic.es) (Jesús Martínez Frías)

### ABSTRACT

#### Key points

Leonardo Da Vinci was, primarily, a self-thought person and a great observer and thinker about Nature and Cosmos

The Durer solid, (alunite), "Melencolia I", could represent the first natural motive, related to geology, which he incorporated in his opus

Georg Bauer, "Georgius Agricola" is considered one of the fathers of mineralogy and the author of the first real illustrated opus on this subject

The Renaissance was a human time period in which culture stood out as a common whole. It was based on a humanistic and integrative cosmivision of mankind in the framework of nature and the universe. This article synthetically describes and analyses the relationships between Art and Geology through three exceptional and illustrative Renaissance figures: Leonardo da Vinci, Albert Dürer and Georgius Agricola. In the first two, making an approach from Art to Geology and in the latter, from Geology to Art. Leonardo is, unquestionably, the quintessential polymath and a pioneer, among other areas of knowledge, in geology and geosciences. His global contributions will be described using his own phrases, writings, drawings and paintings. In the case of Dürer, his famous work, Melancholy I, will be the main focus of study, specifically with reference to the mineralogical hypothesis regarding his enigmatic polyhedron. Thirdly, Agricola will be uncovered through his famous work, "De Re Metallica". He was a scientist and an engineer, but also a pioneer in geology and mineralogy who used drawings to complement his geoscientific contributions. Finally, this Renaissance thematic connection will be compared to today's world situation. It has been suggested that Digital Age could correspond to a new period similar to the Renaissance, where innovation and creativity merging Art, Science and Technology, would be enhanced and benefited from a context of global education and communication.

**Keywords:** Alunite; Art; Geology; Nature; Renaissance.

#### Article History:

Received: 05/06/2021

Accepted: 18/11/2021

### RESUMEN

#### Puntos clave

Leonardo Da Vinci fue sobre todo un autodidacta y un gran observador y pensador sobre la Naturaleza y el Cosmos

El sólido de Durero, Melancolía I, representaría el primer motivo natural, relacionado con la geología, que él incorporó en su obra

George Bauer, "Georgius Agricola", está considerado uno de los padres de la mineralogía y el autor de la primera obra ilustrada sobre el tema

El Renacimiento fue un período de la humanidad en el que la cultura destacó como un todo común, basado en una cosmovisión humanística e integradora del hombre en relación con la naturaleza y el universo. Este artículo describe y analiza, de manera sintética, las relaciones entre Arte y Geología a través de tres personajes renacentistas excepcionales e ilustrativos de este período: Leonardo da Vinci, Alberto Durero y Georgius Agricola. En los dos primeros, el análisis se realiza desde el Arte a la Geología y en el tercero de la Geología al Arte. Leonardo es, sin duda, el polímata por excelencia y un pionero, entre otras áreas del conocimiento, de la geología y geociencias. Sus aportaciones globales se describirán usando sus propias frases, escritos, dibujos y pinturas. En el caso de Durero, el foco principal será su famosa obra Melancolía I, concretamente recogiendo la hipótesis mineralógica relativa a su enigmático poliedro. En tercer lugar, en el caso de Agricola se expondrá cómo a través de su famosa obra, De Re Metallica, un científico e ingeniero, también pionero de la geología y mineralogía utiliza los dibujos para complementar sus contribuciones geocientíficas. Finalmente, esta conexión temática renacentista se compara con el mundo actual. Se ha propuesto que la Era Digital podría corresponder a un nuevo período de la humanidad asimilable al Renacimiento, donde la innovación y la creatividad fusionando Arte, Ciencia y Tecnología se potenciarían y beneficiarían de un contexto de educación y comunicación globales.

**Palabras clave:** Alunite; Arte; Geología; Naturaleza; Renacimiento.

#### Historial del artículo:

Recibido: 05/06/2021

Aceptado: 18/11/2021

## 1. Introducción

La creatividad humana se manifiesta de distintas formas. Artes y Ciencias son dos caras de la misma moneda a través de las cuales emergen las motivaciones con las que intentamos comprender nuestro entorno, la Naturaleza y el Universo. Diferentes expresiones que integran los intentos de satisfacer nuestra curiosidad y abordar la exploración del exterior y también de nuestro interior, incrementando así el conocimiento acerca de lo que nos rodea y de nosotros mismos. Ciencias y Artes, disciplinas y sensaciones en las que las fronteras son, en ocasiones, difusas y cuya combinación en paralelo nos ha hecho progresar y evolucionar como especie.

Si existe un período de la humanidad donde este mestizaje está representado en su plenitud, este es el Renacimiento. Un movimiento cultural inter y transdisciplinar, que tuvo lugar especialmente en Europa occidental entre los siglos XV y XVI. Italia, con Florencia a la cabeza, constituye su foco principal a partir del cual se fue extendiendo por el resto del continente. Uno de los aspectos fundamentales del Renacimiento fue precisamente esta concepción humanista, integrando el trinomio Hombre, Naturaleza y Universo en una cosmovisión que retoma muchos aspectos de la cultura clásica greco-romana en un movimiento que huye de los dogmas y evoluciona del teocentrismo al antropocentrismo.

Este artículo describe la correlación entre Geología y Arte (o Arte y Geología) a través de tres extraordinarios genios del Renacimiento: Leonardo da Vinci, Alberto Durero y Georgius Agricola, comprendiendo un período de 103 años, desde el nacimiento del primero en el siglo XV (1452) al fallecimiento del último en el siglo XVI (1555). En el caso de Leonardo da Vinci se ofrecerá una visión general del personaje, incidiendo en los aspectos geológicos relacionados con la Tierra y el Espacio, principalmente el agua, las rocas y las montañas y la Luna. En relación con Alberto Durero, nos centraremos igualmente en una breve descripción del gran genio alemán, focalizando la atención en una de sus obras, *Melancolía I*, recogiendo la interpretación mineralógica de su famoso sólido. Finalmente, con Georgius Agrícola se realizará una visión opuesta, describiendo como trasladaba su agudeza, imaginación y perspicacia como ingeniero y su interés por los minerales a unos maravillosos grabados ilustrativos, propios de los esquemas modernos de hoy en día. Su

obra, *De Re Metallica* está considerada un arquetipo de la geología y mineralogía de varios siglos después. Es decir, en los dos primeros, se realizará un análisis desde el Arte a la Ciencia y en el tercero será al contrario, de la Ciencia y la Ingeniería al Arte, fusionando, de manera coherente, las aportaciones geológicas y artística (y también conceptuales) de los tres genios renacentistas.

Los antecedentes que sustentan la presente revisión son: 1) la conferencia virtual sobre Leonardo da Vinci impartida por el primer autor en el Planetario de Madrid (Martínez-Frías, 2020a); 2) los artículos sobre Alberto Durero y *Melancolía I* publicados en las revistas *Tierra y Tecnología* y en la web sobre Geología de Segovia, este último coincidiendo con la exposición de Durero en el Torreón de Lozoya (Martínez-Frías and Nadal, 2006; Martínez-Frías, 2020b) y 3) una nueva aportación, describiendo algunas de las principales obras de Georgius Agricola, conectando ambos campos: arte y geología. Los tres son personajes extraordinariamente complejos y sobre ellos se han realizado estudios, tesis y obras completas por expertos muy diversos. Obviamente también, las referencias contenidas en ellos.

La faceta que se muestra aquí corresponde al análisis desde el ámbito de la geología y las geociencias, en unos casos abordando y describiendo de manera sintética su significado y su labor pionera, y en otros intentando aportar, desde esta perspectiva geológica, una nueva visión más que añadir al conjunto de investigaciones y contribuciones acerca de ellos.

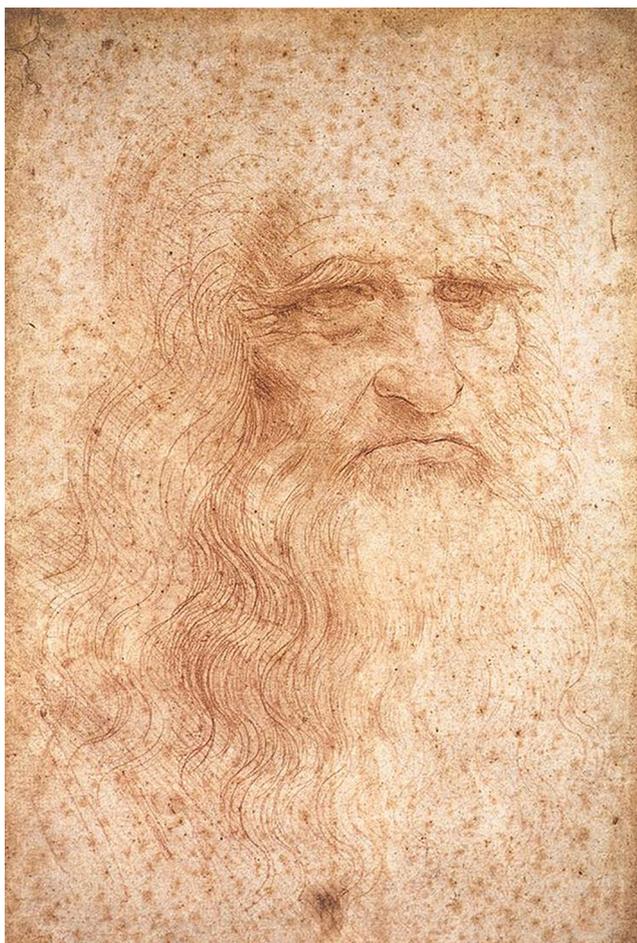
## 2. Leonardo da Vinci: Geología y Espacio

Resulta casi pretencioso intentar describir, en una única contribución, la figura global de Leonardo da Vinci (Hind 1968; Brown, 1998; Sherwin 2001; Kemp, 2004; Ruiza *et al.*, 2004; Cremante, 2005). Pero sí es posible acercarnos a una de las muchas facetas del personaje intentando comprender a través de sus propias frases y sus obras –desde los dibujos aparentemente más “simples” a sus obras más sofisticadas– cuáles eran sus esquemas mentales y sus ideas acerca de la naturaleza y el cosmos. Es importante reseñar que todas las frases que se mencionan más adelante en cursiva son citas originales del propio Leonardo da Vinci (con el único cambio de su traducción), correspondiendo las fuentes a sus

códices, notas y numerosos escritos (Richter, 1970; da Vinci, 1999, 2011).

Todo lo relativo a Leonardo es un enigma. Él mismo lo es. Existen varios autorretratos (Fig. 1), retratos y esculturas de da Vinci, representando su figura con distinta edad, pero no hay certeza de cómo era en realidad. También existen representaciones de Leonardo en otras obras, como en la famosa La Escuela de Atenas, donde Rafael Sanzio representa a da Vinci como Platón, apuntando con su dedo hacia arriba junto a Aristóteles (a su izquierda), apuntando con el dedo hacia abajo (Fernández, 2006). Ambos sujetan entre sus brazos dos libros, el Timeo y Ética, respectivamente.

Leonardo da Vinci (Vinci, 15 de abril de 1452-Amboise, 2 de mayo de 1519) fue un polímata florentino del Renacimiento italiano. Es el arquetipo y símbolo del hombre del Renacimiento, genio universal, considerado uno de los más



**Figura 1.** Posible autorretrato de Leonardo da Vinci hecho entre 1512 y 1515, trazado con tiza roja. 33 cm x 21,6 cm. Biblioteca Real de Turín.

**Figure 1.** Possible self-portrait of Leonardo da Vinci, around 1512-1515, using red chalk. 33 cm x 21,6 cm. Royal Library of Turin.

grandes pintores de todos los tiempos y, probablemente, la persona con el mayor número de talentos en múltiples disciplinas que jamás ha existido (al menos que ha llegado a nuestro conocimiento) (Kemp, 2004). Fue pintor, anatomista, arquitecto, geólogo/paleontólogo, botánico, escritor, matemático, escultor, filósofo, ingeniero, inventor, astrónomo, músico, poeta, etc. Un erudito y un pionero, versátil en muchos ámbitos, interesado profundamente por el ser humano, la Naturaleza y el Universo.

Una de las claves para comprender la mentalidad de da Vinci es que carecía de una buena formación, o al menos de una como la que mostraban sus coetáneos del círculo social en que se movía. Comprendía, aunque no dominaba, el latín y no disponía de conocimientos de griego. De alguna manera, esto le perturbaba aunque su talento y capacidad de instrucción como autodidacta, hicieron que en 1472, con tan solo 20 años, ya figurara en el Libro Rojo de Gremio de San Lucas, donde estaban registrados los principales artistas y doctores en medicina de Florencia (en la época, un foco cultural universal). Sin duda, todo lo que aprendió, desde que en 1469 entró a trabajar como aprendiz en el taller de su maestro Verrocchio (Bortolon, 1965), le fue de gran ayuda para disponer de ese barniz básico que le permitió avanzar y progresar por sí mismo.

Es por eso, por lo que Leonardo se aferraba y era un ferviente defensor del método experimental, lo que suponía un enfrentamiento con los partidarios de los studia humanitatis (Fernández Gallardo, 1999).

“...Estoy seguro de que, por no ser yo una persona con formación literaria, alguien presuntuoso considerará razonable poderme criticar bajo el pretexto de que soy un hombre iletrado («omo sanza lettere») ¡Gente necia! [...].

“...Dirán que por no tener yo una educación literaria no seré capaz de exponer lo que quiero tratar. Pues bien, no saben estos que mis objetos de estudio («le mie cose») requieren ser tratados más a partir de la experimentación que de las palabras de otros. La maestra de quien escribe cosas válidas es la experimentación y, en consecuencia, yo la consideraré mi maestra y en todos los casos a ella me remitiré...”

Leonardo era un auténtico autodidacta y un gran observador y pensador de la Naturaleza. Pero también estaba muy interesado por el estudio de la filosofía natural. La ciencia no existía tal

y como la conocemos ahora (el término científico surgió siglos después, en 1840; se asigna al inglés William Whewell in 1833). También existen evidencias que indican que planeaba escribir, compendiar y publicar numerosos tratados científicos con los materiales recogidos en sus cuadernos, aunque su extraña personalidad, que ha sido analizada incluso por Freud (Santiago Herrero, 2009) era un impedimento para ello. Un estudio reciente indica que podría estar afectado por un Defecto de Atención y un Desorden de Personalidad (Catani and Mazarello, 2019), lo que explicaría que no acabara sus obras y la desordenada y casi caótica forma de manejar todo lo que generaba. Solo en cuanto a documentación, se conservan más de seis mil páginas. Contienen miles de dibujos y gráficos acompañados de textos intencionadamente crípticos; por ejemplo, algunos fragmentos están escritos de derecha a izquierda, de modo que hay que leerlos con un espejo (estudios recientes sugieren que era zurdo, aunque podía utilizar sin problemas ambas manos). La mayor parte de su obra se encuentra dispersa y en colecciones privadas y seguramente muchos otros se han perdido y en cuanto a sus pinturas solo se conservan poco más de 20, algunas de ellas discutidas en su autoría (Buchholz, 2000).

Aunque más adelante, abordaremos la conexión Arte y Geología, incidiendo también en su obra pictórica para comprender la mentalidad de da Vinci y cuál era su percepción de la Naturaleza y el Universo, es muy relevante conocer e intentar interpretar, si ello es posible, sus escritos y grabados (Popham, 1946), especialmente haciéndolo desde la posición de geólogos y con ese salto temporal que nos separa de más de medio milenio. Por ello, es ineludible referirnos a los Códices, de donde se han extraído las frases que se incorporan más adelante (da Vinci, 2016, 2020; Guamieri, 2019).

El Códice Leicester, también conocido como Códice Hammer, es una compilación de textos y dibujos que aborda una amplia variedad de temas, junto con escritos autobiográficos y de viajes, con maravillosas ilustraciones. El códice fue vendido a Thomas Coke, conde de Leicester, cuyos descendientes lo conservaron durante más de dos siglos y medio. En 1980, pasó a manos del empresario Armand Hammer. Posteriormente, Bill Gates lo adquirió por más de 30 millones de dólares a través de la casa de subastas Christie's, en Nueva York, el 11 de noviembre de 1994.

El Códice Atlántico constituye una colección encuadrada de dibujos y escrituras que consta de 12 volúmenes. Contiene 1.119 hojas que datan de 1478 a 1519, tratando también de una gran variedad de temas. Este códice fue reunido por el escultor Pompeo Leoni, a finales del siglo XVI. Actualmente, se encuentra en la Biblioteca Ambrosiana, en Milán.

Además de las anteriormente indicadas, existen otras recopilaciones de manuscritos en la Biblioteca Trivulziana, Milán (Codex Trivulzianus), en la Biblioteca Real del Castillo de Windsor (Codex Windsor), en el Museo de Victoria y Alberto de Londres (Codex Forster), en el Museo Británico (Codex Arundel), en la Biblioteca Nacional de España (Códices Madrid I y II), en el Instituto de Francia en París (manuscritos A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, L y M), en la Biblioteca Real de Turín (Codice sul volo degli uccelli, Códice sobre el vuelo de los pájaros), Codex Urbinas (Biblioteca Apostólica Vaticana).

Otro aspecto que es fundamental para comprender a Leonardo es el movimiento, enlazando en el ámbito geológico con el concepto de geodinámica, aunque él lo extrapolaba a todo, como veremos más adelante con el agua, incluyendo el cosmos.

“El movimiento es la causa de todo tipo de vida”

“La Necesidad es maestra y guía de la Naturaleza.”

“¡Oh investigadores de cosas! No presumáis de conocer las cosas que la propia Naturaleza manifiesta de manera ordinaria, sino alegraos de conocer el fin de aquellas cosas que son ideadas en vuestras mentes.”

Cuando se refería a la Necesidad, Da Vinci se refería a ella de manera similar a la actual en que existen patrones en la naturaleza a los que necesariamente se amoldan las cosas que después tienen una aplicación (como ingeniero y arquitecto lo sabía muy bien). De alguna manera, hizo suya la causa general implícita en el hilo conductor de las ideas de la ciencia en el Renacimiento, sosteniendo que había que establecer una clara correspondencia entre la mente humana y la realidad por medio de los conocimientos matemáticos que llevaba a su aplicación efectiva. Tal vez, la mejor representación gráfica de esta cosmovisión sea el famoso Hombre de Vitruvio, en el que se ha sugerido que las relaciones proporcionales de las partes del cuerpo humano reflejan el dise-

ño universal. Leonardo creía que el funcionamiento del cuerpo humano era análogo al funcionamiento de la naturaleza y el universo, como veremos más en detalle al equiparar las rocas y montañas como los huesos de la Tierra y el agua a la sangre.

“...La Tierra está dotada de un principio vegetativo [anima], en la medida en que su carne es el suelo, sus huesos son las rocas que componen las cadenas montañosas, sus tendones son los depósitos calizos, y las venas de agua son su sangre...”

“...Los pensadores de la Antigüedad llamaron al hombre un mundo menor y ciertamente esta denominación es apropiada porque el hombre, al igual que el mundo, está compuesto por tierra, agua, aire y fuego. Su cuerpo se asemeja al del mundo. La tierra tiene un espíritu de crecimiento, tiene huesos que sostienen sus carnes al modo de las rocas de las que las montañas están compuestas y su sangre son las fuentes de agua, etc. [...].”

Si acudimos a una de las principales bases de datos, la Web of Science, para conocer el número de registros acerca de Leonardo en publicaciones incluidas en el Science Citation Index, cruzando los términos “Leonardo da Vinci” y “Geology” aparecen 17 registros. Estos integran distintas áreas y están distribuidos en revistas científicas con diferentes temáticas, siendo, por países, Italia, EEUU, Francia y Rusia los principales países en los que se enmarcan dichos trabajos y en menor proporción, Australia, Inglaterra, Alemania y Suiza.

Si extendemos esta misma búsqueda a Google, se comprueba fehacientemente una mayor cantidad y distribución de artículos, notas, imágenes y referencias sugiriendo la mayor relevancia del enigmático genio renacentista en los ámbitos sociales, periódicos, webs y de las redes que en los propiamente científicos (aunque obviamente la rigurosidad es mayor en estos últimos). Sin ninguna duda, Leonardo da Vinci está considerado como uno de los grandes padres y pioneros de la geología (Jones, 1962; Vai, 1995; Berger, 2005; Martínez Frías, 2020c), a nivel general y en varias de sus áreas (ej. Estratigrafía, Paleontología), adelantándose a su época en muchos conceptos. En este sentido, es un clásico el libro de Giuseppe de Lorenzo “Leonardo da Vinci e la Geología” (De Lorenzo, 1871) del que se han publicado numerosas ediciones y donde se abordan muchas de sus ideas. Si hubiera que enmarcar el lugar temporal de Leonardo con respecto a

una evolución general de la Geología, podríamos hacerlo de acuerdo con el siguiente esquema sintético, que debe tomarse solamente de manera orientativa para contextualizar al autor sin pretender ser exhaustivo:

- 370-287 BCE: Los primeros estudios científicos sobre la Tierra se remontan a la antigua Grecia con Teofrasto con su trabajo *Peri Lithon* (Sobre las Piedras)
- 973-1048 CE: El origen de la Geología como tal se ha sugerido que comienza con Abu al-Rayhan al-Biruni, uno de los primeros científicos persas que escribió sobre la geología de la India.
- 981-1037: Ibn Sina (Avicenna) propuso explicaciones detalladas sobre las montañas, los terremotos y otros temas geológicos.
- 1031-1095 En China, Shen Kuo formuló una hipótesis sobre la formación del terreno, estudiando conchas y estratos geológicos.
- 1452-1519: Leonardo da Vinci. Pionero de la Geología
- 1494-1555: Georgius Agricola: Uno de los padres de la mineralogía, metalogena e ingeniería modernas y también pionero de la geología
- 1638-1686 Nicolas Steno propuso la ley de superposición, el principio de horizontalidad y el principio de continuidad lateral: ambos básicos en Estratigrafía
- El término Geología se usó por primera vez por Ulisse Aldrovandi (uno de los padres de la historia natural) in 1603, y después por Jean-André Deluc in 1778.
- 1741 La mejor institución de la época en el campo de la historia natural, el Museo Nacional de Historia Natural en Francia, creó la primera plaza de enseñanza, diseñada específicamente para la Geología.
- 1769-1839: William Smith dibujó uno de los primeros mapas geológicos y empezó el proceso de ordenación de estratos rocosos, examinando fósiles contenidos en ellos. 1726-1797 James Hutton es considerado el primer “geólogo moderno”. En 1785 presentó su *Theory of the Earth* en la Royal Society of Edinburgh.
- 1797-1875: Sir Charles Lyell publicó su famoso libro, *Principles of Geology* in 1830. Este libro influyó en las ideas de Charles Darwin (quien también se autodefinía como geólogo).

En relación con su visión de la Tierra como planeta realizó apreciaciones de carácter global, avanzando ideas cercanas a las de Galileo o Copérnico.

“El Sol no se mueve”

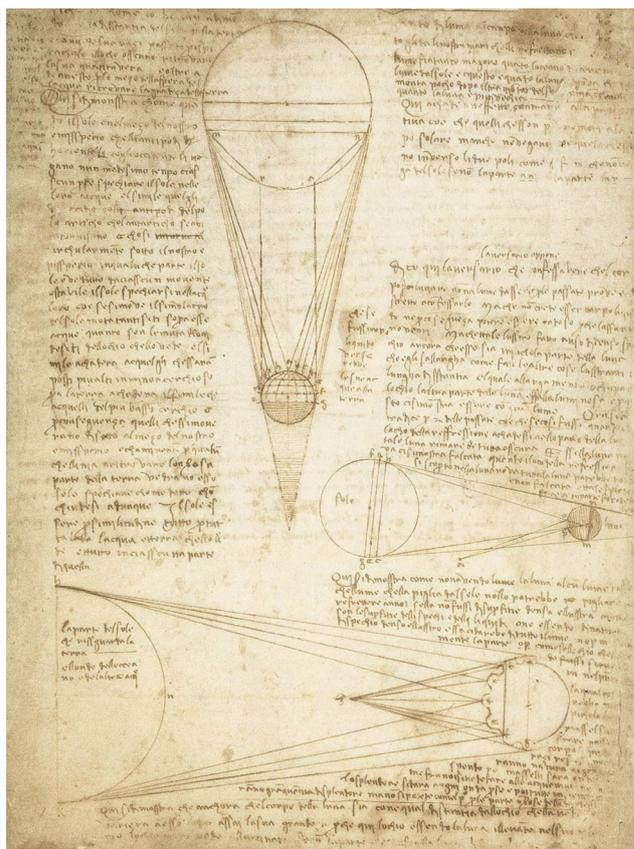
Esta frase se ha interpretado, tal vez con mayor pretensión que la realizada por el propio da Vinci, pues no la contextualiza científicamente en ningún marco que lleve a pensar que realmente estaba indicando que el sol no gira alrededor de la Tierra.

En otros ámbitos planetarios, sí se aventuró a teorizar sobre lo que hoy llamaríamos geofísica y geodinámica, proponiendo incluso una estructuración en capas que –aunque equivocada pues la asignaba al agua– ya sugería una especie de diferenciación de la Tierra por densidades con dibujos realmente impresionantes al respecto (Figs. 2 y 3) y relacionando a la Tierra con la Luna, incluso comparando ambos cuerpos composicionalmente.



**Figura 2.** Detalle de dibujos de Leonardo da Vinci mostrando sus ideas sobre la Tierra y el agua. De alguna manera, ya indicaba una especie de diferenciación en capas del planeta, aunque sus ideas sobre la composición en un sistema Tierra-Agua no eran correctas. Codex Leicester.

**Figure 2.** A detail of drawings of Leonardo da Vinci, showing his ideas about the Earth and water. In a certain way, he already indicated different layers of our planet.



**Figura 3.** Leonardo realizaba numerosos diagramas esquemáticos sobre las posiciones de la Tierra, la Luna y el sol; muchos de ellos se enmarcaban en ideas globales sobre el cosmos y otras más específicas relacionadas con el estudio de la luz y las sombras. Codex Leicester.

**Figure 3.** Leonardo realized numerous schematic diagrams about the positions of the Earth, the Moon and the sun; many of them matched with the global ideas of the epoch about the cosmos, whereas other much more specific were related to the study of the light and shadows. Codex Leicester.

“La Tierra tiene un núcleo de agua”

“Todo peso que desciende en libertad se dirige al centro de la Tierra; y aquel que más pesa más rápido desciende; y cuanto más desciende, más gana en velocidad.

“La Tierra es una estrella muy parecida a la Luna”

En sus observaciones de la Naturaleza, Leonardo da Vinci profundizaba, casi como si fuera un naturalista del siglo XVIII y estudió, entre otros, el agua (con la que estaba cautivado, el paisaje, los estratos rocosos de las montañas. Descubrió fósiles marinos (identificándolos como antiguos restos de organismos vivos ya fallecidos) lejos de la costa, lo que le indujo a pensar que en algún momento los océanos debieron cubrir la Tierra. Todo ello impresionante y vanguardista, teniendo en cuenta que estamos hablando de los siglos XV y XVI.

“El agua erosiona las montañas y llena los valles, y si pudiera, le gustaría reducir la Tierra a una esfera perfecta“

“Cómo con pocas piedras se desvía el curso de un río si se sabe la dirección de la corriente“

“Así como cuando el sol calienta la cabeza del hombre aumenta la cantidad de sangre, creciendo de tal forma junto con otros humores que por la presión de las venas produce dolor de cabeza, lo mismo sucede con los manantiales que se ramifican por todo el cuerpo de la Tierra...”

Frases que acompañaban a dibujos prodigiosos sobre remolinos, agua fluyendo, cursos fluviales, etc. Incluso llegó a la conclusión de que la cantidad de agua permanece constante solo que:

“circula y da vueltas de manera continua“

Adelantándose al concepto moderno del ciclo del agua. Posteriormente, veremos algunos de estos fundamentos reflejados en algunas de sus grandes obras pictóricas, con una aproximación al medio natural en sus ideas cercana a la hidrología e hidrogeología, la estratigrafía y la sedimentología.

En relación con la paleontología, se le considera realmente un pionero. En un artículo reciente (Marchant, 2010) le define como el fundador de la Paleontología y en otro del mismo año (Baucon, 2010) como el padre de la Icnología, pues realizó numerosas observaciones y dibujos sobre estos temas (Barras, 2012):

“Encontré algunas conchas en las rocas de los Apeninos altos y, sobre todo, en la roca de la Verna“

“En las capas de roca todavía se hallan las huellas de las lombrices que reptaron por ellas cuando aún no se habían secado“

“Los antiguos fondos marinos se han convertido en cordilleras“

Haciéndose preguntas y realizando observaciones e interpretaciones realmente sorprendentes que chocaban frontalmente con los postulados de los geólogos bíblicos:

“¿Por qué se encuentran en lo alto de las montañas los huesos de grandes peces y ostras y corales y otras varias conchas y caracoles de mar?“

“...de la estupidez y simpleza de quienes pretenden que estos animales hayan sido arrastrados por el diluvio a estos lugares, lejos del mar“

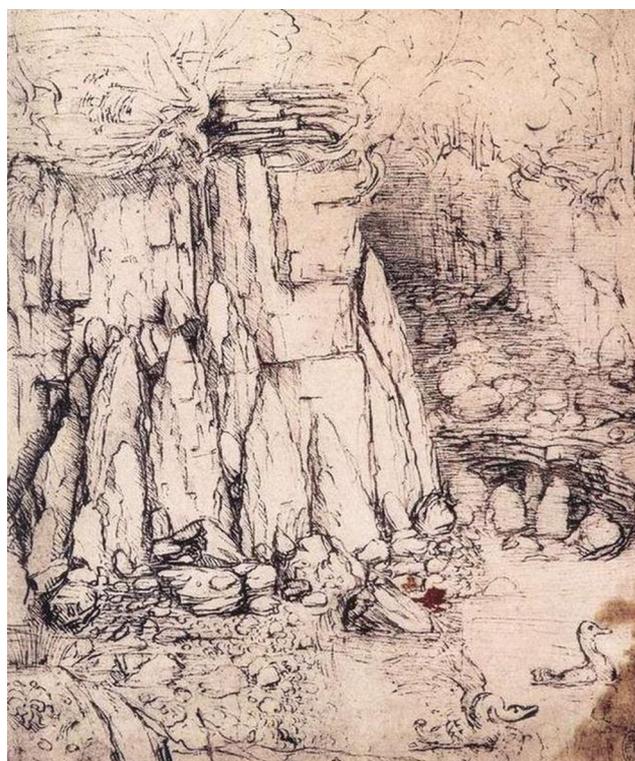
“Si el diluvio hubiera llevado las conchas a distancias de tres y cuatrocientas millas de la orilla del mar, las habría traído mezcladas con otros muchos

objetos naturales y amontonadas unas junto a otras. Incluso a una distancia del mar como esta vemos ostras, crustáceos y jibias, además de otras conchas que se encuentran apiladas y muertas“

“Podemos contar en las conchas de las almejas y las caracolas, sus años y meses de vida, tal como se hace con los cuernos de los bueyes y los carneros y con las ramas de los árboles“

Esta última frase es también sorprendente por la apreciación que realiza Leonardo da Vinci, aproximándonos al concepto actual de dendrocronología y sus implicaciones.

Yendo ya de los textos de los códices a algunas de sus obras, destaca, por ejemplo, el Paisaje del Valle del Arno. El interés de Leonardo por el paisaje le llevó a una nueva manera de representarlo, con efectos de la atmósfera y la perspectiva en la lejanía. De hecho, se le considera el inventor de la perspectiva aérea, por la que los objetos lejanos aparecen menos nítidos y azulados. En ella refleja la turbulencia del agua e incluso los estratos. Otros grabados son auténticos bocetos geológicos de afloramientos rocosos, como en Caverna con patos (Fig. 4), donde pone



**Figura 4.** Caverna con patos (Leonardo da Vinci). Obsérvese cómo los detalles geológicos del afloramiento se han representado con toda precisión. Royal Library, Windsor.

**Figure 4.** Cave with ducks (Leonardo da Vinci). Note how the geological details of the outcrop have been represented with great accuracy. Royal Library, Windsor.

de manifiesto las estructuras tal y como las podría dibujar un geólogo en su libreta de campo, con diaclasas, fracturas, estratificaciones, etc. En este caso probablemente referidas a un afloramiento típico de areniscas, similares a las de la zona del Arno. Bressan (2018) denomina a esto la “geología oculta” en la obra de Leonardo.

Otra obra emblemática (realmente son dos) es La Virgen de las Rocas en sus dos versiones, la del Museo del Louvre, París y la de la National Gallery, Londres (Fig. 5). Ha sido gracias a la “geología oculta” y la incorporación de los detalles geológicos del paisaje y las rocas, que se ha podido comprobar que la auténtica realizada por Leonardo fue la de París, estando cuestionada la de Londres (al menos que esté hecha en su totalidad por da Vinci; pudo haber tenido cierta participación).

De acuerdo con Pizzorusso (1996) existen al menos ocho elementos geológicos en la obra que

permiten probar la autenticidad de la del Louvre: 1) la meteorización esférica de las areniscas; 2) los contactos entre superficies; 3) la estratificación de las areniscas; 4) las uniones columnares; 5) el buzamiento de las areniscas estratificadas alejándose del campo de visión; 6) el contacto basal; 7) el sill de diabasa y 8) los remanentes erosivos.

Y también la propia Gioconda o Mona Lisa encierra su componente geológica en esta genial y enigmática obra. Tras ella, algunos autores identifican el paisaje como el Lago Iseo en los Alpes italianos. De acuerdo con Bressan (2015), Leonardo da Vinci comprendía la geología y reflejó ciertos elementos geológicos relativos a los procesos de erosión y sedimentación, incluyendo también aspectos de rocas estratificadas con su buzamiento, entre otros.

En el ámbito de la geología planetaria, Leonardo da Vinci también se aventuró a teorizar



**Figura 5.** Virgen de las Rocas. Izquierda: Museo del Louvre (París). Derecha: National Gallery, Londres.

**Figure 5.** Virgin of the Rocks. Left: Louvre Museum (Paris). Right: National Gallery, London.

sobre el sistema Tierra-Luna, como ya se indicó someramente con anterioridad relacionando ambos cuerpos planetarios en algunas de sus frases. Pero fue más allá, realizando un descubrimiento que –aunque erróneo en sus postulados sobre los materiales constituyentes de ambos cuerpos planetarios acordes con los conocimientos de la época–, sí es científicamente relevante.

Uno de los más hermosos, aunque sean erróneos pero sí coherentes con su época, es el que figura en el Códice Leicester sobre la Luna y la luz cenicienta (Fig. 6). En este códice existe una página titulada: “Sobre la Luna: ningún cuerpo sólido es más ligero que el aire”. En ella, Leonardo indicaba su convicción de que la Luna tiene atmósfera y océanos y que es un buen reflector al estar cubierta de tanta agua y que el resplandor fantasmal/Luz Cenicienta se debía a que la luz del sol rebotaba en los océanos de la Tierra golpeando en nuestro satélite.

“La Luna no es luminosa en sí misma pues no brilla sin el Sol”

“Si estuvieras sobre la Luna o una estrella, la Tierra te parecería que hace el mismo efecto que hace la Luna”

“La Luna es fría y húmeda. El agua es fría y húmeda. Así parecen nuestros mares en la Luna, como los de la Luna a nosotros”

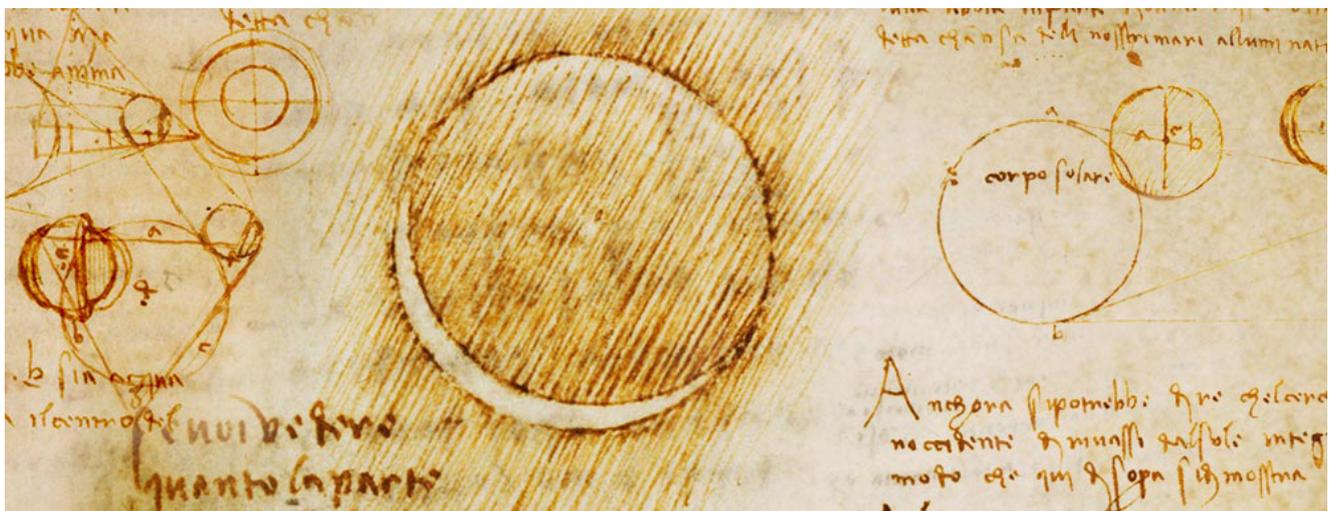
“De aquí puede concluirse que lo que brilla en la Luna es agua como la de nuestros mares, y en olas como en este, y aquella parte que no brilla se compone de islas y tierra firme”

Incluso abordó las “manchas oscuras” de nuestro satélite, los denominados maria basálticos subrayando, de acuerdo con sus postulados, que no eran vapores y que no se movían:

”Algunos han dicho que hay vapores que se desprenden de la Luna a la manera de las nubes, y se interponen entre la Luna y los ojos. Si este fuera el caso, estas manchas nunca serían fijas, ya sea en cuanto a la posición o forma; y cuando la Luna se ve desde diferentes puntos, estas manchas no cambian”

La figura de Leonardo da Vinci está representada astrogeológicamente en dos cráteres de impacto de la Luna y Marte y en un asteroide. El cráter da Vinci es una estructura de impacto de 38 km de diámetro y más de 2 km de profundidad, que se encuentra en la parte oriental de la Luna, al NW del Mare Fecunditatis y también existe un cráter da Vinci en Marte: localizado en el cuadrángulo Oxia Palus de Marte, situado en 1,4 ° N latitud y 39.4 ° W longitud. Mide 100.2 km de diámetro. El asteroide 3000 Leonardo, es de tipo carbonáceo, de unos 9,5 km de diámetro. Fue descubierto el 2 de Marzo de 1981 por el astrónomo americano Schelte Bus en el Siding Spring Observatory en Australia.

Finalmente, para terminar este binomio entre Leonardo y la Geología, indicar que existe un mineral muy raro del grupo de la eudialita localizado en la Península de Kola (Rusia), denominado davinciita  $\text{Na}_{12} \text{K}_3 \text{Ca}_6 \text{Fe}_3^{2+} + \text{Zr}_3 (\text{Si}_{26} \text{O}_{73} \text{OH}) \text{Cl}_2$  en honor al genio renacentista (Khomyakov *et al.*, 2012).



**Figura 6.** Folios del Códice Leicester donde Leonardo describe y explica el fenómeno de la Luz Cenicienta– Fol.35v (izquierda) y Fol.2r (derecha).

**Figure 6.** Folios of Codex Leicester where Leonardo describes and explains the earthshine – Fol.35v (left) y Fol.2r (right).



y fusiona sus ideas y la filosofía de la vida con la religión, la naturaleza y diversos objetos en una composición realmente difícil de interpretar (especialmente si se quiere hacer en un solo sentido).

Uno de estos objetos es un poliedro singular: el enigmático sólido de Durero (Martínez Frías, 2020b). La incorporación de figuras poliédricas era relativamente frecuente en los trabajos artísticos del Renacimiento (Paolo Ucello, Luca Pacioli, Leonardo da Vinci, Nicolaus Neufchatel). Field (2004) subraya la popularidad que alcanzaron los poliedros en esta época como temas de ilustración en tratados sobre perspectiva. Sin embargo, numerosos estudios sobre Durero y su legado, han incidido en la búsqueda de significados adicionales de “su” sólido, por ejemplo, desde el punto de vista puramente matemático/geométrico. No obstante, la interpretación puramente geométrica del sólido es, cuando menos, controvertida, puesto que al no ser un elemento convencional ni regular, solamente se cuenta con la fuente del grabado de Durero para tratar de reproducir con la mayor exactitud posible su realidad geométrica. Se han publicado otras interpretaciones que intentan explicar el significado del poliedro en el contexto general del grabado: un icono de la naturaleza matemática de la ‘Esfera Intelectual’ (Finkelstein, 2006); una representación de la visión Pitagórica sobre el sentido de número y forma en el Cosmos, e incluso un constituyente importante de la doctrina alquímica, sugiriéndose que podría corresponder al plomo como imagen de la Piedra Filosofal (Read, 2006). En este mismo año, Martínez Frías y Nadal (2006) proponen -sin descartar otros posibles factores o motivaciones adicionales que pudieron contribuir a la incorporación de dicho sólido en el grabado-, una nueva interpretación mineralógica para explicar su significado. El poliedro representaría un cristal de alunita (serie alunita-jarosita) (Fig. 8), a través del cual Durero intentó simbolizar, también, algunas circunstancias sociales, religiosas y económicas que caracterizaron los inicios del siglo XVI.

Existe una correspondencia total entre el enigmático poliedro de Durero y los cristales de alunita (Fig. 8). De acuerdo con la orientación del cristal, el sólido de Durero muestra las caras 001, 1-12, 0-1-2 y -102. Este mineral, junto con la jarosita, constituyen dos términos principales de una serie bien conocida de sulfatos. Los minerales de esta serie (Grupo de la Alunita) se definen



**Figura 8.** Cristales de alumbre crecidos en laboratorio, orientados de forma similar al sólido de Durero. Tamaño del cristal: 3 cm. Créditos: dmishin. Tomada de Martínez Frías (2020b).

**Figure 8.** Alum crystal which grown on the lab; oriented similarly to the Durer solid. Crustal size: 3 cm. Credits: dmishin. From Martínez Frías (2020b).

como un grupo isoestructural de sulfatos de fórmula general  $AB_3(XO_4)_2(OH)_6$ , donde A es un catión monovalente ( $K^+$  y  $Na^+$  son los más comunes, aunque también se han observado  $Pb^+$ ,  $Ag^+$ ,  $H_4^+$  y  $H_3O^+$ ), y B es  $Al^{3+}$  (alunita),  $Fe^{3+}$  (jarosita) u otro catión trivalente (Scott, 2000, Dutrizac and Tambor, 2000). Tanto alunita como jarosita son trigonales, aunque algunos cristales, principalmente los de alunita (Fig. 4), se asemejan a romboedros cúbicos.

Pero, ¿cuál sería la causa y por qué un cristal de alunita? Como se indica en Martínez Frías y Nadal (2006), existen razones adicionales. La alunita era (y es) una de las fuentes más importantes para la obtención de alumbre. El uso frecuente del alumbre hizo de él uno de los productos más valiosos y estratégicos en el comercio europeo de la época. Grandes cantidades de alunita –que fue descubierta en la vecindad de Tolfa, una pequeña ciudad dentro de los Estados Papales–, estaban bajo el control del Vaticano, produciendo alumbre de muy alta calidad a escala industrial. Pero para defender sus beneficios económicos, los Papas calificaron los depósitos como un bien divino amenazando con la excomunión a aquellos que adquirieran alumbre procedente de otros países (Cooper and Mirete, 2001; Mckim, 2003). Estos hechos, junto con la política -particularmente después de 1514- de compra-venta de indulgencias (Mckim, 2003), en muchos casos utilizando directa o indirectamente los beneficios de la minería, dañó seriamente la credibilidad de la jerarquía eclesiástica del momento.

Durero fue un artista socialmente comprometido que manifestó claras diferencias contra este tipo de comportamientos, y mostró un profundo interés y apoyo a la doctrina reformista de Lutero.

También es un hecho inequívoco que Durero sentía, como se ha mencionado anteriormente, una inmensa curiosidad por la Naturaleza, utilizando su espíritu enciclopédico para estudiar los seres vivos, animales y vegetales, con la misma pasión y rigor científico que aplicarían un zoólogo, un botánico o cualquier naturalista aunque su finalidad no fuera exactamente la misma. Por ello, aunque es cierto que muchas de sus obras tienen una temática religiosa, también fue capaz de combinarlo con una intensa observación de la Naturaleza. A menudo, incorporaba animales exóticos creando composiciones inusuales, tales como un mono en un grabado de la Virgen María, o un alce en uno sobre Adán y Eva. También produjo trabajos realmente magníficos sobre temas naturales: rinocerontes, liebres, leones, loros, mandriles, cigüeñas, langostas, escarabajos, etc.

Por otro lado, dada su gran formación artística, experiencia y motivaciones por la búsqueda del conocimiento, Durero conocía perfectamente el alumbre, sus propiedades y sus usos, no solo como un componente fundamental en sus técnicas pictóricas, sino también desde el punto de vista alquímico. El uso común del alumbre para la preparación de algunos compuestos, tales como pigmentos, utilizados por los artistas del Renacimiento (ej. en acuarelas, óleos) (Butler and Furbacher, 1985) apoya claramente esta hipótesis y Durero fue uno de los primeros artistas en utilizar acuarelas (en su sentido moderno).

Por todo ello, el poliedro de alunita que aparece en Melancolía I, ha sido interpretado, de acuerdo con Martínez Frías y Nadal (2006) como “un elemento natural, procedentes del mundo real”. Sería, por tanto, “el primer motivo en relación con la Naturaleza de tipo “geológico/mineralógico”, que Durero incorpora en sus obras, además de los ya conocidos de animales y plantas”. Asimismo, se podría también teorizar sobre el tamaño exageradamente grande del cristal de alunita en el grabado, sugiriendo que Durero podría estar reflejando sus bien conocidas críticas a la excesiva ambición de la jerarquía eclesiástica de la época, en relación con el comercio del alumbre y las Indulgencias. El gran poliedro de alunita (alumbre) –representando simbólicamente estas malas prácticas de la jerarquía eclesiástica– obs-

taculizaría lo que en Melancolía I se ha interpretado como la escalera de Jacob (acceso entre la Tierra y el Cielo).

Esta interpretación mineralógica sobre el enigmático poliedro no excluye otras previas (y ya se ha recogido en varias webs sobre arte o en la propia wikipedia); es compatible con el lugar y momento histórico del genial artista, coincide con la importancia social, económica (y también alquímica) del mineral y es coherente con la formación, ideas y pensamiento socio-religioso de Durero.

#### 4. Georgius Agricola: de la geología y mineralología al Arte

Si con los dos genios anteriores, el proceso de conexión Arte-Geología, sigue dicha pauta, es decir, desde el arte extraemos y subrayamos una serie de conceptos científicos, que también forma parte de todo lo que rodea al autor y permiten contextualizar mejor su obra, con Georgius Agricola el proceso es el opuesto: desde la geología, mineralología y la ingeniería destacamos la forma en la que las representa artísticamente.

Georg Bauer, conocido como Georgius Agricola (24 marzo 1494 – 21 noviembre 1555) está considerado como uno de los padres de la mineralología moderna (Fig. 9) y, probablemente, el autor del primer tratado impreso ilustrado. Pero también fue un pionero en el ámbito de la metalurgia y la minería y uno de los fundadores de la geología. Su emblemática obra *De Re Metallica* (Fig. 10), un compendio de doce volúmenes, fue publicada en 1556, un año después de su muerte.

Su formación iniciada en la Universidad de Leipzig, incluía Teología, Filosofía, Filología a los que después se unieron Física, Química y Farmacia. Combinaba su interés y curiosidad por todos los temas de la Naturaleza, con los aspectos del origen de minerales y rocas y los tratados de minería y procesamiento. De alguna manera, se adelantó a los principios modernos relacionados con la mineralogénesis, la metalogenia y la mineralurgia y metalurgia. En su trabajo *De ortu et causis subterraneorum*, publicado en 1544 ya discutía los efectos del agua y el viento como fuerzas geológicas, avanzando la importancia de los agentes geodinámicos externos, así como otros muchos aspectos ligados a las aguas subterráneas, los fluidos mineralizantes, el calor de la Tierra y las principales divisiones del reino mineral, aunque mantenía ideas erróneas en relación con los fósiles.



Figura 9. Escultura de Georgius Agricola, Glauchau, Alemania.

Figure 9. Sculpture of George Agricola, Glauchau, Germany.

Sería absurdo pretender, al igual que con Leonardo y Durero, sintetizar toda la vida y obras de Agricola, pero sí parece apropiado destacar cómo en esta dualidad Arte-Geología, en este caso no solamente sus ideas eran innovadoras, sino también la forma artística, sencilla, elegante y tan visual en que las expresaba a través de sus xilografías.

De *Re Metallica* consta de los siguientes partes:

- Prefacio
- Libro I: Los argumentos a favor y en contra de este arte
- Libro II: El minero y un discurso en el hallazgo de las venas
- Libro III: Las venas y largueros y costuras en las rocas
- Libro IV: Delimitación de las venas y las funciones de los funcionarios de la minería
- Libro V: La excavación del mineral y el arte del topógrafo
- Libro VI: herramientas y máquinas de los mineros
- Libro VII: En el ensayar de mineral
- Libro VIII: Roasting, trituración y mineral de lavado

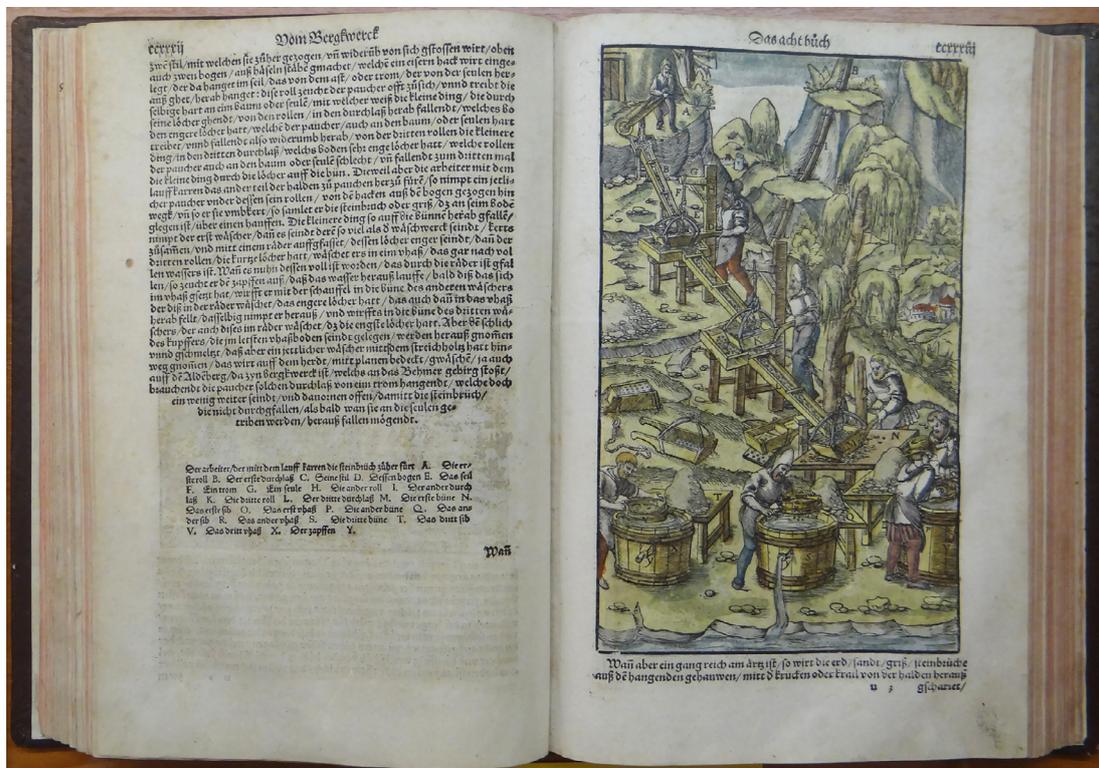


Figura 10. De *Re Metallica* consta de 12 capítulos (libros) y está extraordinariamente bien ilustrado con imágenes que describen los textos sobre geología, ingeniería, mineralogía y minería.

Figure 10. *De Re Metallica* contains 12 chapters (books) and it is extraordinarily well illustrated, with images which describe the texts about geology, engineering, mineralogy and mining activities.

- Libro IX: Métodos de minerales de fundición
- Libro X: La separación de la plata del oro y el plomo de oro o plata
- Libro XI: La separación de la plata del cobre
- Libro XII: La fabricación de la sal, soda, alumbre, vitriolo, azufre, betún, y vidrio

En 1912 se publicó la primera traducción inglesa de *De Re Metallica* en Londres. Los traductores fueron Herbert Hoover, ingeniero de minas y años después presidente de los Estados Unidos, junto con su esposa, Lou Henry Hoover, geóloga y latinista. ¡Quién le iba a decir a Agricola que su descomunal obra iba a ser traducida al inglés 400 años después por el mismísimo presidente de los EEUU! La formación técnica en ingeniería de minas y geología de ambos fue esencial para disponer de una terminología adecuada y comprender los conceptos que se abordaban en la obra a la hora de traducirlos apropiadamente. *De Re Metallica* siguió siendo obra de referencia casi dos siglos después de su publicación. Agricola lo escribió en latín y se publicó en Alemania. En la actualidad, una búsqueda sobre Agricola en la base de datos Web of Science (SCI) indica la existencia de 43 registros, con un máximo de 17 en el área de Historia, 11 Procesamiento de minerales, 5 en Geología y 5 en Química, entre otros.

La Universidad Politécnica de Madrid, conserva en su sede de la biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, dos ejemplares de esta obra, correspondientes a las ediciones de 1561 y 1621.

Como curiosidad, uno de los dibujos de Agricola ilustró la portada del libro sobre Recursos Minerales de España del CSIC, coordinado por uno de los autores de este artículo (García Guinea and Martínez Frías, 1992).

Yendo ya directamente al tema artístico de sus xilografías, la relevancia de todas las imágenes que forman parte de los 12 volúmenes anteriormente indicados fue puesta de manifiesto por el propio Agricola, al considerarlas tan necesarias como las palabras para ser plenamente comprendido. Todas ellas son realmente excepcionales trabajos artísticos, pero como ejemplo se han seleccionado tres, representativas tanto por su exquisitez xilográfica como por reflejar perfectamente la actividad realizada y descrita en el texto, prospección, laboreo, lavado, utensilios de trabajo, transporte, etc. (Figs. 11 y 12).

## 5. Consideraciones finales

En este artículo se han descrito las relaciones entre Arte y Geología correspondientes a tres personajes extraordinarios, considerados exponentes ejemplares del espíritu renacentista. Como se indicaba al principio, su cosmovisión donde hombre, naturaleza y universo, se asemejan, en cierto modo, a la tendencia actual hacia la inter y transdisciplinariedad. El término Renacimiento procede del italiano Rinascita y se refiere a un renacer de la cultura (en toda su amplitud). Los tres, Leonardo, Durero y Agricola, fusionaron a la perfección ambos términos y con sus pensamientos e ideas innovadoras, combinando distintas áreas del conocimiento, iluminaron el camino hacia el futuro de la cultura con mayúsculas.

Se ha asignado a Carl Jung la frase “un pensamiento puede llegar a cambiar y a materializar lo que no existe”. Lo que parecía imposible hace 500 años, casi lo estamos consiguiendo gracias a los sistemas digitales y los avances tecnológicos. Un estudio reciente (González Bree *et al.*, 2017) indica que el Renacimiento y la Era Digital



**Figura 11.** Xilografías extraídas de una copia de *De Re metallica* mostrando procesos de tostado, molienda, lavado y fundición de menas (Hoover & Hoover, 1950).

**Figure 11.** Xylographies selected from a copy of *De Re Metallica*, showing roasting, grinding and melting processes of ores (Hoover & Hoover, 1950).



**Figura 12.** Una de las ilustraciones más y mejor difundidas de *De Re Metallica* mostrando distintas labores de trabajo minero y, sobre todo, de prospección.

**Figure 12.** One of the most known and widespread illustrations of *De Re Metallica*, showing different mining activities, and, above all, prospection.

están unidos por la polimatía. Así, la comprensión del mundo que nos rodea (y de otros mundos) no se reduciría a fundamentos exclusivamente basados en la lógica, sino que conllevaría combinaciones innovadoras y creativas uniendo los puntos entre Arte, Ciencia y Tecnología, facilitado por un ámbito de comunicación global que posibilita dichas interacciones con potencial educativo. Algunos autores, entre otros Giannini y Bowen (2020) han propuesto que la Era Digital podría corresponder a un nuevo período de la humanidad asimilable al Renacimiento. La Ciencia es Cultura. Nuestra sociedad cambiante se nutre de ese mestizaje cultural donde lo digital, las interconexiones de las comunicaciones y las redes cada vez están más presentes en cualquier actividad y, por ello, no pueden desligarse de las estructuras educativas, creativas e innovadoras. Una especie de síntesis que combina ciencia y arte a través de las nuevas tecnologías y la transdisciplinariedad. Hacer ciencia desde el arte y arte desde la ciencia. Lo estamos viendo en el Arte y también, en nuestro caso, en la Geología y las Geociencias. Una sociedad que se proyecta hacia el futuro, en la que seguramente destacarán un nuevo tipo de polímatas que –salvando la distancia temporal con Leonardo y sus contemporáneos renacentistas–, se sustentarán sobre los mismos principios de integración cultural. Un

avance en la cosmovisión de lo que nos rodea, cuyos enigmas, siempre presentes y cada vez diferentes, nos harán progresar como especie.

## Referencias

- Barras, C. (2012). Leonardo fossil sketch may depict early nests. *Nature*, 04/06/20, doi.10.1038/nature.2012.11841;
- Baucon, A. (2010). Leonardo da Vinci, the founding father of ichnology. *Palaios*, 25(6), 361-367.
- Berger, M. G. (2005). Leonardo da Vinci: Founder of the science of geological facies. *Lithology and Mineral Resources*, 40, 89–91.
- Bortolon, L. (1965). *The Life and Times of Leonardo*. Paul Hamlyn, London, 74 pp.
- Brandolini, A. M. (2016). El legendario Durero, 02/06/20, <https://anamariabrandolini.wordpress.com/2016/06/12/el-legendario-durero/>
- Bressan, D. (2015). Leonardo da Vinci's Geological Observations Revolutionized Renaissance Art. *Science section*. 02/06/20, <https://www.forbes.com/sites/davidbressan/2015/07/31/leonardo-da-vincis-geological-observations-revolutionized-renaissance-art/#6fdc847849d9>
- Bressan, D. (2018). The Hidden Geology In Leonardo da Vinci's Art. *Science section*, 29/05/20, <https://www.forbes.com/sites/davidbressan/2018/04/15/the-hidden-geology-in-leonardo-da-vincis-art/#-670dfd223249>
- Brown, D. A. (1998). *Leonardo Da Vinci: Origins of a Genius*, Yale University Press, New Haven, 248 pp.
- Buchhold, E. L. (2000). *Leonardo da Vinci*. Könemann, Berlin, 95 pp.
- Butler, I. S., and Furbacher, E. J. (1985). Chemistry and artists' pigments. *Journal of Chemical Education*, 62, 334.
- Catani, M., and Mazarello, P. (2019). Grey Matter Leonardo da Vinci: a genius driven to distraction. *Brain*, 142(6), 1842–1846.
- Cooper E., and Mirete, S. (2001). La mitra y la roca: intereses de Alfonso Carrillo, Arzobispo de Toledo en la ribera del Ebro. *Diputación Provincial de Toledo, Toledo*, 179 pp.
- Cremante, S. (2005). *Leonardo da Vinci: Artist, Scientist, Inventor*. Giunti Editore, Firenze, 640 pp.
- Da Vinci, L. (1999). *Cuadernos de Notas*. EDIMAT Libros, Madrid, 301 pp.
- Da Vinci, L. (2011). *The Notebooks of Leonardo Da Vinci*. Lulu, Morrisville, 736 pp.
- Da Vinci, L. (2016) *DaVinci Codex: Leicester's Guide*, Webup Spa, 02/06/20, <http://hammercodex.com/>
- Da Vinci, L. (2020). *Codex Atlanticus*, FWA, 02/06/20, <https://www.codex-atlanticus.it/#/>
- De Lorenzo, G. (1871). *Leonardo Da Vinci E La Geologia*. Nabu Press, Charleston, 214 pp.

- Dutrizac, J. E., and Jambor, J. L. (2000). Jarosites and their application in hydrometallurgy. C.N. Alpers, J.L. Jambor, y D.K. Nordstrom (eds.). *Sulfate Minerals: Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 40(1), 405–452.
- Fernández Gallardo, L. (1999). En torno a los «studia humanitatis» en la Castilla del Cuatrocientos. Alonso de Cartagena y los autores antiguos. *En la España Medieval*, 22, 213-246.
- Fernández, S. (2006). Un cuadro filosófico: La Escuela de Atenas. *Sigma*, 29, 125-132.
- Field, J. V. (2004). Renaissance mathematics: Diagrams for geometry, astronomy and music. *Interdisciplinary Science Reviews*, 29(3), 259-277.
- Finkelstein, D. R. (2006). MELENCOLIA I: The physics of Albrecht Durerer, Cornell University, 03/06/20, <http://arxiv.org/abs/physics/0602185>
- García Guinea, J. and Martínez-Frías, J. (1992). Recursos Minerales de España. Servicio de Publicaciones del CSIC, Col. Textos Universitarios, CSIC, T.XV, 1448p.
- Giannini, T., and Bowen, J. P. (2019). *Museums and Digital Culture: New Perspectives and Research. Springer Series on Cultural Computing*. Cham: Springer. 590 pp, ISBN 978-3-319-97457-6.
- González-Bree, F., Soto, I., Cano, J.A., Zeidán, F., and Villoch, N. (2017). “Polímatas”, Deusto Business School, 3M, Date: 2017 [https://engage.3m.com/que\\_es\\_la\\_polimatia?WT.mc\\_id=www.3m.com.es/polimatia](https://engage.3m.com/que_es_la_polimatia?WT.mc_id=www.3m.com.es/polimatia)
- Guarnieri, M. (2019). “Reconsidering Leonardo”. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 13(3), 35–38.
- Hind, L. (1968). *Drawings of Leonardo da Vinci*. The Ballantyne Press, Londres, 128 pp.
- Hoover, H. C., and Hoover, L. H. (1950). *De Re Metallica (English)*. Dover publications, New York, 638 pp.
- Jones, D. J. (1962). Leonardo da Vinci–Pioneer Geologist. *Brigham Young University Studies*, 4 (2), 119-132.
- Kemp, M. (2004). *Leonardo*. Oxford University Press, Oxford, 328 pp.
- Lienhard, J. H. (2001). *The Engines of Our Ingenuity: An Engineer Looks at Technology and Culture*, Oxford University Press, Oxford, 262 pp.
- Marchant, J. (2010). Leonardo da Vinci: paleontology’s founding father. *New Scientist*, 208(2780), 34-37.
- Martínez Frías, J., and Nadal, J. (2006). El enigmático poliedro de Alberto Durero en Melancolía I. Una nueva interpretación mineralógica. *Tierra y Tecnología*, 30, 60-64.
- Martínez Frías, J. (2020). Leonardo da Vinci. *Tierra y Cosmos, Planetario de Madrid: Planetario en Casa 2020*, 29/05/2020, <https://www.youtube.com/watch?v=2Qj-VTrkhhA>
- Martínez Frías, J. (2020). Durero, la geología y la búsqueda de vida en Marte, *Geología de Segovia*, 30/05/2020, <http://www.geologiadesegovia.info/durero-geologia-marte/>
- Martínez Frías, J. (2020). Leonardo da Vinci: genio multidisciplinar y pionero de la Geología y Geociencias, *SciLogs. Investigación y Ciencia*, 27/05/2020, <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/astrologia/71/posts/leonardo-da-vinci-genio-multidisciplinar-y-pionero-de-la-geologia-y-geociencias-18527>
- Mckim, D. K. (2003). *The Cambridge Companion to Martin Luther*. Cambridge University Press, United Kingdom, 313 pp.
- Peraldo, G., and Badilla, E. (2011). El uso del calco del paisaje como técnica didáctica para el estudio geomorfológico. *Rev. Geol. Amér. Central*, 45, 147-150.
- Pizzorusso, A.C. (1996). Leonardo’s Geology: The Authenticity of the Virgin of the Rocks. *Leonardo*, 29(3), 197-200.
- Popham, A. E. (1946). *The Drawings of Leonardo da Vinci*. Jonathan Cape, Eureka, 320 pp.
- Read, J. (2006). Albrecht Durer’s Melencolia. *Alchemy Lab*, 01/06/20, <http://www.alchemylab.com/melancholia.htm>
- Richter, J. P. (1970). *The Notebooks of Leonardo da Vinci (Volumen 2)*. Dover Publications, Mineola, 499 pp.
- Rona, P. A., Seilacher, A., Luginsland, H., Seilacher, E., de Vargas, C., Vetriani, C., Bernhard, J. M., Sherrell, R. M., Grassle, J. F., Low, S., and Lutz, R. A. (2003). Palaeoduction, A Living fossil on the Deep See Floor. *Eos, Transactions American Geophysical Union (Fall Meeting 2003)*, Nice, 84 (16).
- Ruiza, M., Fernández, T., and Tamaro, E. (2004). Leonardo da Vinci. *Biografía. Biografías y Vidas: La enciclopedia biográfica en línea*, 01/06/2020, <https://www.biografiasyvidas.com/monografia/leonardo/>
- Santiago Herrero, F. J. (2009). Sigmund Freud. Un recuerdo infantil de Leonardo da Vinci. *Revista Internacional de Psicología*, 10(2), 1-18.
- Scott, K. M. (2000). Nomenclature of the alunite supergroup: Discussion. *Canadian Mineralogist*, 38(5), 1295-1297.
- Sherwin, B. N. (2001). *Leonardo Da Vinci*. Phoenix Press, Penguin Books, London, 176 pp.
- Vai, G. B. (1995). Geological priorities in Leonardo Da Vinci’s notebooks and paintings. G.Giglia, C. Maccagni N. Morello (eds.), *Rocks, Fossils and History, Inhigeo*.