

HUMANITAS

ANUARIO DEL CENTRO DE ESTUDIOS HUMANÍSTICOS

14



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

1973

ARISTOTELES Y LA FORMACION DE MINERALES Y METALES

PROF. DR. J. E. BOLZAN
Universidad Católica
"Santa María de los Buenos Aires",
Buenos Aires, Argentina.

"—¿Qué opina Ud. de mi teoría?
—Que toda ella es pura suposición.
—Por lo menos con ella se explican todos los hechos."

(A. CONAN DOYLE, *Memorias de Sherlock Holmes*)

LA TEORÍA ARISTOTÉLICA acerca de la formación de minerales no es una cuestión acabada. En un erudito artículo publicado más de veinte años atrás¹ y producido luego en su edición del *De lapidibus*,² D. E. Eichholz ha marcado algunos rumbos importantes sobre el caso; mas la investigación que sobre la química toda de Aristóteles venimos llevando a cabo hace algún tiempo, nos permite ahora apuntar cierta novedad y corrección con respecto a las ideas de Eichholz.

Aristóteles explica la formación de minerales y metales en función de la transformación que pueden sufrir las dos clases de exhalaciones que se producen por acción del sol sobre la tierra:

"Cuando el sol calienta la tierra, la exhalación (*ἀναθυμίασις*), es de dos clases: la una es más bien de la natura del vapor (*ἀτμιδωδέστερον*), la otra, de la natura del viento (*πνευματώδεστερον*). La que proviene

¹ D. E. EICHHOLZ, "Aristotle's Theory of the formation of metals and minerals", *Class. Quarterly*, 1949, XLII, 141-146.

² THEOPHRASTUS, *De lapidibus*, edited with intr., transl., and comm. by D. E. Eichholz, Oxford, 1965.

de la humedad que se halla en y sobre la tierra es vapor (*ἀτμίδα*), mientras que la de la misma tierra —la cual es seca— se asemeja al humo (*καπνώδη*). De ellas, la ventosa, siendo caliente, se eleva por sobre el vapor —más húmedo y pesado— que queda debajo"³ (341 b 6).³

Desde esta declaración inicial sacará Aristóteles todas las consecuencias posibles de la combinación entre ambas exhalaciones, así como del calor solar y de otros cuerpos celestes (346 b 23) con respecto a la producción de rocío, lluvia, nieve, etc., de parte de la exhalación húmeda; y de viento, rayos terremotos, etc., de parte de la exhalación seca o fumante. De este modo,

"El vapor (*ἀτμίδος*) es por natura húmedo y frío; la exhalación, cálida y seca. Y el vapor es, en potencia, semejante al agua; la exhalación, semejante al fuego", (340 b 27)

siendo

el vapor agua dividida (*ἡ γὰρ ἀτμὶς ὕδατος διάκρι δις ἔστιν*)". (340 b 3)

y:

"la exhalación acuosa es una cierta humedad; pero la fumosa está compuesta de aire y tierra. La primera, por condensación, se transforma en agua; la segunda, en especies particulares de tierra". (*De sensu*, 443, a 26).

Ahora bien:

"la exhalación es la causa material de todos esos fenómenos (atmosféricos), y la causa eficiente es, unas veces la traslación superior, otras la contracción o condensación del aire reunido". (342 a 27).⁴

Esto en cuanto a los fenómenos que ocurren con la exhalación libre; pero

"queda aún por tratar de los que ocurren cuando (la exhalación) se halla encerrada en la tierra" (378 a 15).

³ F. H. FOBES, *Aristotelis Meteorologicorum libri quattuor*, Cambridge (Mass.), 1919; reprod. G. Hildesheim, 1957. Agradecemos a la Profesora Azucena Fraboschi su valiosa ayuda en la discusión de los textos griegos.

⁴ En el mismo sentido en 370 b 13.

En tal caso, y puesto que las exhalaciones son dos: húmeda y fumosa,

“a ellas corresponden dos clases de cuerpos formados en el seno de la tierra: minerales (*τὰ μὲν ὄρυκτά*) y metales (*τὰ δὲ μεταλλεύτα*)” (378 a 19).

Webster traduce *τὰ ὄρυκτά* como “fossiles”, traducción correcta etimológicamente pero más bien arcaica y que ya no puede ser utilizada so pena de grave equívoco; nos parece suficiente traducir como “minerales”, pues al fin de cuentas lo que pretende Aristóteles es distinguir simplemente en dos grandes grupos los cuerpos inmersos en la tierra: los no fusibles (minerales) y los fusibles o dúctiles (*ἢ χυτὰ ἢ ἐλατά*).⁶

LOS MINERALES

Según Aristóteles,

“la exhalación seca produce, por acción de su calor, los minerales; por ejemplo: las piedras no fusibles, el ocre, el minio, el azufre y demás substancias de este género. Siendo la mayoría de los minerales un polvo coloreado o bien piedra formada por esta composición, tal como el cinabrio” (378 a 21).^{6a}

Es decir que surge de este texto que la exhalación seca es, como señala Eichholz también, la causa eficiente de la formación de los minerales. Mas, ¿sobre qué actúa el calor? ¿Cuál es la causa material correspondiente? Eichholz

⁶ E. W. WEBSTER, *Meteorologica*, en *The works of Aristotle trans. into English*, Oxford, Vol. III, 1931.

⁶ Para el sentido de *ἐλατον* véase 385 a 16; y por los varios sentidos de ambas expresiones, cfr. F. VICOMERCATUS, *In IV libros Aristotelis Meteorologica commentarii*, Venetiis, 1565. Muy interesante es la distinción que hace Veiaranus: “Metalla sunt liquabilia, lapides autem pulverizabilia; ergo isti sunt terrae, illa autem aquea”, FRANCISCO MATEO VEIARANUS, *Super quatuor libros Meteororum Aristotelis philosophorum principis, quaestiones*, Lugduni, 1643, p. 332.

^{6a} Hemos traducido *μίντος* por minio siguiendo la autoridad de M. BERTHELOT, *Introduction a l'étude de la chimie des anciens et du Moyen Age*, vol. I, p. 261; y de diversos comentaristas latinos. En *Hist. Animalium*, 559 a 26 aparece el mismo término para indicar la rojez de los huevos de cernícalo, y D. W. Thompson, en su traducción (*The Works of Arist. transl. into English*) pone Bermellón. S. Tomás, S. Maurus y Perionis trasladan por “minium”.

no se pronuncia claramente, pues su traducción: It is the dry exhalation, then, that forms all the ‘fossiles’ by burning them”⁷ no es nada clara, pues pareciera significar que los minerales existen antes de ser producidos. Cierto es que dicha exhalación seca entra fácilmente en combustión (341 b 18), siendo como fuego en potencia (340 b 29), y produciendo por ignición, según se pone en movimiento *fuera de la tierra*, rayos, truenos, etc. (341 b 1 ss.; 369 a 1 ss.); y esto le ocurre también *dentro* de la tierra (367 a 9).⁸ Eichholz se hace cargo de todo ello, pero los “right materials” con los que entra en contacto según él la exhalación seca, transformándolos en “fossiles”, quedan indecisos.

Pues bien, estimamos que es posible agregar alguna precisión al caso. En primer lugar, la exhalación seca es causa eficiente, pero además es causa material tal cual lo exige Aristóteles en general para toda exhalación, al menos para los procesos que ocurren fuera o por sobre la tierra (342 a 27), actuando como causa eficiente el calor engendrado por los movimientos de los cuerpos celestes (341 a 15).⁹ Admitimos, sí, que la exhalación seca opera gracias a su calor, tal cual se dice en 378 a 21; pero no se olvide que tras ser de natura fumosa hasta poder tiznar (371 a 20), produce por condensación “especies particulares de tierra” (*De sensu*, 443 a 26 cit.). Este proceso de tizado aparece en otro contexto como atribuido a que la exhalación juega el papel de causa material, pues cuando atraviesa los cuerpos,

⁷ EICHHOLZ, *Art. cit.*, p. 143. En su comentario S. Maurus dice: “Fossilia generantur ex sicca exhalatione ardore incensa. Dum spiritus siccus accensus adhaeret material, illamque quasi ignit, & exurit, transmutat illam in fossilia (...). Duo igitur sunt genera fossilium ex siccis spiritibus generatorum: pulvis nimirum coloratus, & lapis genitus ex concretionem talis pulveris” SYLVESTER MAURUS, *Aristotelis opera omnia quae extant brevi paraphrasi et litterae perpetuo inhaerente expositione illustrata a Silvestro Mauro*, Roma, 1668, t. III. Vicormecatus traduce: “sicca igitur ex ardore incensa”.

⁸ “La causa del fuego que se genera en la tierra es esta: el aire se subdivide en pequeñas partículas y entonces el viento es batido y se enciende.” (367 a 9).

⁹ *De caelo*, 289 a 22. “Exhalatio sit materia ex qua fiunt (sc. los fossiles). Sed calidum igniens, secundum quod commensuratur frigido a virtute caelesti, mediante continuitate, est quodammodo principium activum”, S. TOMÁS DE AQUINO, *In III Meteor.*, lect. 9, n. 308 (ed. Leonina). Aristóteles se refiere a la continuidad en 341 b 5. El comentario de los Conimbricenses es más explícito: “ultra terrae superficiem in abditos terrae specus non peruadunt procul coelestes radii: nec calor ab iis productus tam alte penetrat; aut cum tanta vi & intensione ad loca bitume & sulphure scatencia peruenit, ut ignem excitare valeat; cum experimento compertum sit, sulphur nec in terrae superficie positum, nisi raro admodum, ex repercussu solarium radiorum subterraneum inflammari ab exhalatione spirituve cauernis incluso, qui spiritus dum in locorum angustias per antiperistasim frigoris cogitur”, *Collegium Conimbricenses comentarii in libros Meteororum*, Lugduni, 1597-1607. tract. XII, c. 2.

“los cuerpos que se oponen son afectados; los que no se oponen, no” (371 a 24).

Y específicamente de esas exhalaciones,

“unas son muy tenues y por eso pasan rápidamente sin poder inflamarlos ni permanecer suficiente tiempo como para ennegrecerlos; otras son más lentas, ennegrecen el objeto pero no alcanzan a inflamarlo” (371 a 21).

Es decir que esas exhalaciones dejan en su interacción con ciertos cuerpos su residuo. Ahora bien, si aceptamos que la exhalación fumosa se compone de “aire y tierra” (*De sensu*, cit.) y que el fuego se genera por el aire subdivido y en movimiento (367 a 9), ese residuo será tierra,¹⁰ la cual condensada y comprimida (*De sensu* cit., y 378 a 26, texto que se reproduce infra) dará lugar a “diversas clases de tierra”, esto es, a los diversos minerales. Y también así se explicaría —pero en este caso lo proponemos con menor seguridad— que “la mayoría de los minerales es un polvo coloreado o bien piedra”, según sea el grado de compacidad y las transformaciones cromáticas que el tiznado pueda sufrir por acción del fuego.

Es de destacar que en 387 a 31 vuelve Aristóteles a referirse a una exhalación que tizna o colorea (*χρωματίζει*) las cosas, y en 383 b 10 habla de cuerpos solidificados (*πηγνυται*) por el calor seco. Se explica de este modo otra de las dificultades con que tropieza Eichholz: el significado de *κονία κεχρωματισμένη*, y que él traduce: “Coloured powder-ash”;¹¹ traducción que corresponde muy bien con el sentido del texto, pues se trata de polvos formados como consecuencia de un proceso de calefacción más o menos enérgico, y que resultan diferentemente coloreados durante ese proceso.¹² En principio estamos de acuerdo con la larga interpretación que hace Eichholz, pero agregamos alguna reflexión que responda a su inquisición: “May not Aristotle have supposed that exposure to fire causes earth to assume not only various flavours but also various colours?”. Nuestra respuesta es afirmativa y está implícita en otro texto —que también conoce Eichholz pero al cual le concede sólo probabilidad o analogía en cuanto aquí aplicable— donde Aristóteles se refiere

¹⁰ “De los combustibles inflamables (...) algunos se carbonizan”, 387 b 18.

¹¹ EICHHOLZ, *art. cit.*, p. 144 fin.

¹² Cfr. S. TOMÁS, *loc. cit.*, n. 308: “et horum fossilium quaedam fiunt sicut pulvis coloratus ... alia autem sunt quasi lapides aggregati per condensationem ex pluribus partibus, et generatur ex eadem exhalatione a calido exhalante humidum superfluum, et fortiter terminante humidum cum sicco”.

a la formación de salinidad en ríos y fuentes, diciendo no sólo que la tierra, a través de la cual han percolado las aguas, sigue siendo semejante a “polvo y cenizas” (*οιον κονιαν και τεφραν*), sino que además

“cuando la tierra es sometida a diferentes grados de calor, toma en mayor o menor grado toda especie de matices y sabores”. (359 b 10).

En el texto crítico de Fobes se lee: “... και χροας χυμων”: “matices de sabores”, no citada variante alguna. En nuestra traducción hemos seguido a Trico,¹³ interpretando como “και χροων χυμων”; Alejandro trae el siguiente sugestivo texto:

“καομένη γάρ η γη τω μᾶλλον και ηττον και εσθαι παντοδαπας χροας τε και γυμους λαμβάνει”¹⁴

y la versión latina de Moerbeke dice:

“Usta enim terra, eo quod magis et minus uratur, omnimodos colores et saporos accipit.”¹⁵

Y en general y en el mismo sentido se pronuncian los principales comentaristas latinos.¹⁶ Pero aun cuando se discuta el derecho a tal interpretación del texto, lo cierto es que el contexto inmediato conduce a la misma conclusión, pues al decir Aristóteles que la tierra, por aquel proceso,

“se llena de alumbre, polvo y otras sustancias semejantes” (359 b 12), está aceptando implícita pero necesariamente que tales procesos térmicos conducen a diversas sustancias con sus diversos matices.¹⁷

¹³ *Aristote: Les Météorologiques*, trad. et notes par J. Tricot, Paris, 1941, *in h. loc.*

¹⁴ *Comm. in Aristotelem graeca*, Berolini, 1899, vol. III, para II.

¹⁵ ALEXANDRE D'APHRODISIAS, *Comentaire sur les Météores d'Aristote*, trad. de G. de Moerbeke, ed. crítica por A. J. Smet Louvain-Paris, 1968.

¹⁶ Por ej.: “varias saporum colorumque formas” (Vatable); “Omnis generis colorum saporumque species” (Ideler); “Omnis generis colorum saporumque species accipit” (Vicomercatus) “Omnifarias accipit formas, & colores saporum” (S. Maurus).

¹⁷ THEOPHRASTUS, *De lap.*, 54, se refiere al cambio de color del ocre por acción del fuego.

LOS METALES

Continuemos ahora:

“De la exhalación vaporosa proceden los metales, todos ellos fusibles o dúctiles, tales como el hierro, el oro y el cobre. La exhalación vaporosa encerrada produce todas estas cosas, especialmente (la ocluida) en las piedras, comprimida y condensada (*συνθλιβομένη και πηγνυμένη*) por la sequedad; tal ocurre con el rocío o la helada blanca, cuando (la exhalación) ha sido separada. Pero (los metales) se generan antes de que tenga lugar la separación.” (378 a 26).

Este es el otro gran grupo de los cuerpos sepultados en la tierra, y que son fusibles o dúctiles. La exhalación vaporosa, comprimida y condensada generalmente en el interior de las piedras —es decir, de los “fossiles” o minerales, secos, según se ha explicado— da lugar a los metales; los cuales, por esto mismo, se hallan habitualmente ocluidos en su ganga. El proceso es algo semejante al que conduce a la formación de rocío y helada,¹⁸ pero la diferencia reside en que en el caso de los metales el proceso de compresión y condensación se produce antes de que la exhalación vaporosa se desprenda del seno de la tierra. Aquí Eichholz trae otra explicación: según él, la separación se refiere a ambas exhalaciones, de modo tal que los metales se forman de ambas, aduciendo a su favor que normalmente las dos exhalaciones se hallan unidas y que los metales contienen de hecho exhalación seca. Todo lo cual es muy cierto.¹⁹ Pero profundizando el texto de 358 a 19 es posible agregar nuevos detalles, pues allí se lee:

“Todo el material terroso de la exhalación seca es de esta especie (residual, tipo tierra calcinada...) y puesto que, como hemos dicho, las

¹⁸ “Se forma helada blanca cuando el vapor se congela antes de condensarse en agua (...); se forma rocío cuando el vapor se condensa en agua” (347 a 16).

¹⁹ “Materia etiam aliquando composita est in fumo terrestri adurente et coeunte, et vapore aqueo, qui terrestrem subtiliter se habet admixtum: et ex illa materia fit lapis in parte solubilis, in parte: et est lapis in se habens metallum aliquod quo Arabice almarcassica, et Graece dicitur cathitheos: ille enim lapis qui est solutus, calore in aes vertitur: eo quod in se habet venas minerales admixtas. Talia enim omnia tam ex vapore quam ex fumo recipiunt generationem: nec debet intelligi, quod ex simplici fumo vel vapore aqueo haec generentur”, S. ALBERTO MAGNO, *Opera quae hactenus, De Meteoris lib. IV*, tract. V, ed. P. Jammy, Lugduni, 1651 “At metallica licet ex consimili exhalatione fiant”, I BAPT FLAVIUS, *In meteor. Aristotelis libros paraphrasi lucidissima*, Fani, 1604. “. . . metalla generantur ex halitibus concrenentibus, dum adhuc ab iis non est separata materia sicca”, S. MAURUS, *o.c.*

exhalaciones húmedas y secas se hallan mezcladas, una cierta cantidad (de aquel material terroso) debe siempre acompañar a las nubes y al agua que se forma por condensación, y debe retornar a la tierra con las lluvias”. (358 a 19).

Se deduce de aquí que además de explicarse la salinidad del agua de mar —que eso intenta directamente Aristóteles en este lugar— se explica que la exhalación húmeda contenga exhalación seca, y se refuerza la idea de las “especies particulares de la tierra” ya referida. Pero aún opinamos que la “separación” se refiere más directamente a “separación de la tierra”, pues el texto no dice nada de la coexistencia de ambas exhalaciones y la comparación obvia y directa entre rocío-helada y metales con respecto a la exhalación húmeda cual causa material, se establece con relación a la dicha exhalación según esté *dentro* o *sobre* la tierra. Pues aun en el caso del rocío y la helada, por cuanto ambos suponen la previa existencia del vapor de agua, vale el texto de 358 a 19 ss, debiendo entonces contener ambos materia terrosa o, en términos generales, *ser productos de las dos exhalaciones*, en todo caso. Es decir, que no se producen con necesaria separación de ambas exhalaciones, pero sí con separación (rocío, helada) o no (metales) de la tierra.

Cuanto a la compresión y condensación causada por las piedras, Eichholz interpreta como si fuera una conclusión indirecta de Aristóteles fundada en su teoría general según la cual toda disolución (*τῆξις*) y toda solidificación (*πηξις*), en tanto que procesos contrarios deben tener causas contrarias,²⁰ de tal modo que si los metales son “fundidos por el calor”, deben ser solidificados por el frío.²¹ Pero estimamos que también admite una explicación directa: la exhalación, atravesando las piedras según sus poros, entra en interacción según dijimos, y por cuanto nada obliga ni permite aceptar una disposición tan peculiar de los poros de modo tal que la exhalación pueda atravesar totalmente dichas piedras,²² es de esperar que finalmente la exhalación quede atra-

²⁰ Doctrina Común en Aristóteles.

²¹ Según Veiaranus, la causa eficiente de la formación de metales “est frigiditas terrae”, *o. c.*, p. 333. Y los Conimbricenses: “causa vero instrumentaria quae proxima concurrat ad generationem metallorum, est partim calor, partim frigidus: calor enim, cuius est attenuare, humidum expirationem gignit & conquit (...) frigidus vero, quod suo apte ingenio congregat eandem expirationem condensat & constipat”, *o. c.*, tract. XIII, c. 2.

²² “La tierra es tanto fusible cuanto ablandable por el agua (...) estando sus poros distribuidos (regular) irregularmente” (385 b 21).

pada al menos en parte,²³ siendo comprimida por más exhalación como en un "cul de sac", enfriándose posteriormente (recuérdese que tanto la tierra cuanto los minerales son secos y fríos).

Aceptando, pues, que los metales se forman fundamentalmente —no exclusivamente— por exhalación vaporosa,

"Es por ello que en un sentido son agua, pero no en otro sentido. En potencia, su materia era (materia) del agua, pero de hecho no lo es ya; ni tampoco son debidos, como en el caso de los sabores, a un cambio cualitativo producido por el agua". (378 a 32).

Son agua en el sentido en que la misma exhalación vaporosa "es, en potencia, semejante al agua" (340 b 27 cit); pero una vez "condensada y comprimida" ya no lo son.²⁴ Estamos aquí de acuerdo con Eichholz en que para explicar tal inconvertibilidad en agua, el proceso debe ser más complicado que la simple condensación y compresión de la exhalación vaporosa, debiéndose aquí incluir la concomitante exhalación seca y —agregamos nosotros— la concomitante presencia activa de los minerales ocluyentes.

La comparación negativa con la formación de sabores se entiende fácilmente si se recuerda que en *De sensu*, 441 b 17, estos sabores se producen cuando el agua percola a través de diversos materiales terrosos; pues bien, en el caso de los metales, en tanto que éstos no son actualmente agua, el proceso no puede ser el mismo.

"En efecto, el oro y el cobre no se forman así, sino que tanto para el uno como para el otro la exhalación se ha condensado antes (de transformarse en agua)" (378 b 1).

Y por cuanto se han condensado por el frío,

"todos son afectados por el fuego, conteniendo tierra puesto que encierran exhalación seca. Únicamente el oro no es afectado por el fuego" (378 b 3).

²³ Para la doctrina aristotélica de los poros cfr. 385 b 22 ss., y los comentarios *in h.l.* de Olimpiodoro y S. Maurus.

²⁴ S. MAURUS, *o. c.*: "sunt quidem humida, & aquea, in quantum in eis praedominatur materia humida: at non ita sunt humida, ut non includant etiam multus materia siccae. Sunt igitur metalla quoad materiam humida, & aquea potentia, non actu (...) ex halitibus humidis elevatis, & coagulatis, antequam resoluantur in aquam fiunt singula metalla". Para VEIARANUS, *o. c.*, p. 332, "metallum est corpus fossile mixtum, durum, igne liquabile, & post separationem ab igne reducitur ad suam pristinam consistentiam".

Precisamente, todos excepto el oro, al ser afectados por el fuego, dejan un residuo terroso (escorias). El oro no sufre afección alguna y excepto fundirse —debemos suponer que esto lo observó Aristóteles— el fuego no produce cambio en él. Téngase en cuenta, además, que el oro aparece naturalmente como metal u "oro nativo"; no así la mayoría de los demás metales.²⁵

²⁵ Según S. TOMÁS, el oro "est genitum ex sicco et humido subtilissimus, et non habentibus aliquid impurum admixtum quod per ignitionem separari possit", *o. c.*, n. 310. Para S. MAURUS, "ex metallis solum aurum igne non consumitur, quia habet siccum ita perfecte commixtum humido, ut non possit separari ab humido" *o. c.*, p. 652. Finalmente, "terramque admixtam habent quod in eis aridus halitus insit", IOACH. PERONIS, *Aristotelis Meteorologicorum libri quatuor*, Lutetia, 1552, p. 114.