

NOTAS Y COMENTARIOS

DEMOCRITO, ARISTOTELES Y LA FLOTACION DE LOS CUERPOS

J. E. BOLZAN

“—Resucitar el pasado —musitó. Si al menos se persiguiera un fin determinado.

—Se persigue un fin determinado.

—¿Cuál?

—Se debe disfrutar buscando la verdad nada más que por amor a ella”.

(A. Christie, *Five little pigs*.)

Si bien por el título mismo pareciera ésta una investigación más bien encuadrada dentro de la historia de la ciencia que de la filosofía, a poco que se repare según se lleve su desarrollo, se verá claramente que se trata, en el fondo, de algo más profundo pues este fenómeno de flotación de cuerpos “más pesados” que el fluido en el cual se hallan ha provocado, en los dos agudos observadores que son Demócrito y Aristóteles, una diferente explicación que no es ciertamente circunstancial sino que, al cabo, dicha diversidad ocasional halla su raíz precisamente en la dispar mentalidad con que cada uno de ellos encara la naturaleza misma. Para decirlo brevemente: la respuesta que se logra en uno y otro caso es la esperada según la diversa filosofía de la naturaleza que le sirve de base.

EL PROBLEMA

En su complejo pero interesante tratado *De caelo* se ocupa Aristóteles de una diversidad notable de temas científicos que merecen ser rescatados, sin dejarlos diluir, sea por un consuetudinario pero injustificado desprecio del sistema aristotélico del mundo, sea por la extrañeza que provoca un lenguaje que indudablemente no es el nuestro.

Ahora queremos centrar nuestra atención en el concepto de *tensión superficial* tal cual veremos que aparece implícito en una

atenta lectura del L. IV, cap. 6, de la citada obra. Allí se detiene Aristóteles a estudiar las relaciones entre configuración geométrica de los cuerpos y los movimientos que sufren, sosteniendo que

“Las configuraciones no son la causa de los movimientos absolutos hacia arriba o hacia abajo, sino de la rapidez o lentitud [de los mismos]” (313 a 14).

Esos movimientos absolutos son ascendentes o descendentes según la composición intrínseca de los cuerpos, es decir y dentro de la antigua teoría de los cuatro elementos, según el elemento predominante; pero la velocidad del movimiento sí depende de la configuración del cuerpo de que se trate. Y a fin de evitar las dificultades de las grandes velocidades que acaecerían en el aire, recurre Aristóteles a ejemplificar el caso utilizando el agua como medio en el cual puede observarse cómodamente esa relación movimiento/medio, refiriéndose para el caso explícitamente a la experiencia de la flotación:

“¿Por qué un trozo plano de hierro o de plomo flota sobre el agua, mientras que se hunden otros cuerpos más pequeños o menos pesados si son redondeados o ahusados como, por ejemplo, una aguja?” (313 a 16).

Consecuente con su mecanicismo, Demócrito intenta una explicación, según la cual

“las partículas calientes que se elevan en el seno del agua sostiene los cuerpos pesantes que son chatos, en tanto que los cuerpos estrechos se hunden a causa del pequeño número de aquellas partículas que los resisten” (313 a 22).

Se discute aún qué sean esas τὰ ἀναφερόμενα θερμά o partículas calientes que existirían en el agua; y así, mientras Simplicio señala que Demócrito significa con ellas ciertas partículas formadas porque “el agua, más basta y sólida [que el aire] compone y condensa los colores que ascienden”¹; agregando Temistio que son “corpúsculos indivisibles [*insectilia*] dotados de fuego por esencia”.² Para S. Alberto se trata de *vapores latos et spissos egredi a fundo aquae ad superficiem*,³ y Nifo habla de . . . *corpuscula quaedam: que physici vapores appellant*.⁴

¹SIMPLICIO, *Commentaria in Aristotelem graeca*, vol. VII: *Simplicii in Aristotelis De caelo commentaria*, edidit I.L. Heiberg, Berolini, 1894, p. 730, 17.

²TEMISTIO, *Comm. in Arist. graeca*, vol. V, Pars IV: *Themistii in libros Aristotelis de caelo. Paraphrasis hebraice et latine*, ed. S. Landauer, Berolini, 1902, p. 246, 39.

³P. ALBERTI MAGNI. . . *De caelo et mundo lib. IV*, cap. X, p. 198b, en *Opera*, ed. P. Jammy, Lugduni, 1651, t. II.

⁴*Preclara et admodum omnibus aliis in hac scientia resolutior Augustini Niphi suessani in quattuor libros de celo et mundo et Aristote. et Averro. expositio*, Neapoli, per S. Mayr, 1517, p. LXXVI v.

Este fenómeno de flotación de ciertos cuerpos pequeños se observa también en el aire (313 a 19); y si la explicación de Demócrito fuera correcta sería precisamente ese medio donde el fenómeno debería producirse más fácilmente; lo cual de hecho no acontece pues aquí, sin dudas, se hunden aquellos cuerpos “pesados”. Demócrito intenta también en este caso una explicación⁵ pero que no nos interesa ahora pues en realidad la flotación de corpúsculos en el aire responde a otro problema (densidades relativas) no obstante confundirse aquí.⁶

Pero aun circunscriptos al caso de los líquidos, Aristóteles no duda en tildar de “débil” la explicación de Demócrito precisamente, como veremos, por tratarse de una solución que parcializa el problema.

LA SOLUCION DE ARISTOTELES

Pues bien: la respuesta de Aristóteles marcha por otros carriles y constituye típico fruto de su sistema de filosofía natural; en el cual sistema no existen, propiamente hablando, dinamismos sino inter-dinamismos, y donde no halla cabida la mal dicha “materia inerte” o sustancias a-dinámicas simplemente receptivas de una acción: todo motor sólo se justifica, propiamente en el ámbito natural, como motor actual de un actual móvil. Pero este móvil, en tanto es él mismo actual, es inescindiblemente dinámico y se opone de sí a ser mutado apareciendo, desde este punto de vista, cual *motor del motor*, pues en su actual oposición provoca la acción de aquél. En puridad de doctrina, cuando se produce un efecto es porque uno de los actores —el denominado *motor* para el caso— es *más* motor —más energicamente activo— que el otro, el móvil. Todo lo cual lo reconoce resumidamente Aristóteles en la enunciación de su original principio de acción y reacción,⁷ según el cual todo suceso o fenómeno físico ocurre según las energías puestas en juego por parte de *todos* los agentes que intervienen —y de aquí surge la “debilidad” de la respuesta de Demócrito— los cuales, llevados al contacto, entran en un juego de acción-pasión cuya resultante pone de manifiesto a dicho fenómeno.

Consiguientemente, responder a por qué flota un cuerpo en el agua comporta hacer ingresar en la explicación ambos factores: cuerpo y agua; y hacerlo dinámicamente. Bajo estas premisas,

⁵“El impulso [de las partículas del aire] no tiene dirección única, designando [Demócrito] con impulso [λέγων τὸν σοῦν] el movimiento hacia arriba de los cuerpos” (313 b 4). El ὀσούς = impulso, es un término típicamente democríteo; Guthrie lo considera un laconismo y remite a PLATÓN, *Cratilo*, 412 b. Cfr. W.C.K. GUTHRIE, *Aristotle on the heavens*, ed. greco-inglesa, Loeb Class. Library, 1960.

⁶Acerca de la densidad hemos tratado en nuestro trabajo “Aristóteles y el concepto de densidad”, *Scientia*, 1974, 109, 229.

⁷Principio que formulara el primero según *Phys.*, 202 a 8. Para los temas del contacto y de la acción-pasión, cfr. *De gen. corr.*, cc. 6-9.

“puesto que ciertos [cuerpos] continuos, se dejan dividir más fácilmente que otros y las cosas que producen división son más eficaces unas que otras, ha de admitirse que aquí reside la causa del hecho” (313 b 6).

Vale decir: si un cuerpo se hunde hendiendo el cuerpo soporte, la razón debe ser hallada en la interrelación de ambos actores: lo divisible y el divisor.

“Es fácilmente divisible aquello que es fácil de delimitar; y lo es tanto más cuanto más fácilmente delimitable es. Pues bien: el aire lo es más que el agua; el agua, que la tierra. Además, en cada especie, cuanto menor sea su cantidad más fácilmente se separa e hiende” (313 b 8).

Por consiguiente la facilidad de división está regulada por la facilidad de delimitación —que es una forma de división— o circunscripción, siendo por ello para Aristóteles el agua y el aire —los fluidos, diríamos hoy— los más fácilmente divisibles; basta, para mostrarlo, distribuir una cantidad de agua en pequeños recipientes.⁸

Aplicado al caso:

“Los cuerpos planos flotan porque cubren una amplia superficie, y una gran cantidad [de agua] no se deja dividir fácilmente. En cambio, los cuerpos de figura opuesta [agudos] se hunden porque cubren una pequeña superficie y la dividen fácilmente.

Todo esto ocurre más fácilmente aún en el aire, en tanto éste es más fácilmente divisible que el agua” (313 b 11).⁹

Es decir que según prive o no la tendencia a la continuidad de parte del fluido con relación a la potencia activa del divisor —el cuerpo chato o agudo— se producirá flotación o hundimiento; en términos generales:

“Puesto que el peso tiene cierta fuerza según la cual es llevado hacia abajo, y los cuerpos continuos [poseen cierta fuerza] para resistir la división, se hace necesario comparar ambos: si prevalece la fuerza [ἰσχυρὸς] del peso sobre la del continuo a la ruptura y división [διάσπασιν καὶ διαίρεσιν] tanto más rápidamente aquella fuerza acelerará el movimiento hacia abajo; si, por el contrario, es más débil, el cuerpo flotará” (313 b 16).

⁸“Los εὐόριστα (*bene determinabilia*) son aquellas cosas cuya figura es fácilmente modificable y que toman, en razón de la gran movilidad de sus partículas, la forma del continente”, anota muy bien aquí J. TRICOT, *Aristote, traité du ciel*, trad. et notes par..., París, 1949. Aristóteles hará uso de esta determinabilidad en la explicación de la mayor facilidad de combinación de líquidos y de sólidos pulverizados, como hemos demostrado en nuestro trabajo: “Chemical combination according to Aristotle”, *Ambix* (London), 1976, 23, 134.

⁹*Quanto enim aliqua fuerint acutiora et grauiora et duriora, tanto diuidunt et penetrant facilius*, ALBERTUS M., o.c., p. 119a. En el mismo sentido Niphus y los Conimbricenses (ver nota siguiente).

Texto del cual resulta claro que la fuerza o capacidad que posee el continuo resistente es una fuerza de ruptura —como aparece señalado de paso por los comentaristas de Coimbra¹⁰ y en primer lugar de ruptura superficial. Claro está que el fenómeno no acaba aquí pues lo que viene a decir explícitamente Aristóteles es que vencida la resistencia del fluido —no necesariamente sólo su resistencia superficial— se producirá el movimiento del cuerpo en el seno de dicho fluido siendo el fenómeno, en total, un fenómeno de masa, entrando ahora en juego la resistencia del fluido a ser dividido en todo su volumen.¹¹ Así lo ha analizado el mismo Aristóteles en su *Physica*,¹² donde llega a la conclusión que la velocidad de caída de un cuerpo en el seno de un fluido es directamente proporcional a la facilidad que ofrezca el medio, de modo que

“cuanto más incorpóreo [ἀσωματώτερον], menos resistente y más fácilmente divisible sea el medio, más rápido será el movimiento” (215 b 10).

Texto donde el τὸ ἀσώματον: “lo incorpóreo”, puede muy bien ser trasladado por “menos viscoso”.¹³ Por lo cual y a primera vista podría pensarse también aquí, en nuestro problema actual, en una cuestión sólo de densidades relativas, sosteniendo que la solución ya fue dada por Arquímedes, tal cual quiere Moraux¹⁴ y ya lo había dicho Nicolás Oresme.¹⁵ Pero sostenemos que en este texto del *De caelo* debe hacerse una distinción inmediata, no explicitada por Aristóteles, y según se considere la relación “cuerpo/fluido siendo atravesado”, o bien la relación “cuerpo/superficie del fluido a atravesar”. En el primer caso, se ha producido ya la ruptura de la superficie del líquido y el problema debe resolverse según las densidades relati-

¹⁰*Si vis ponderis vim continui superadit ad rumpendum, graue deorsum feretur, sit vero imbecillior fuerit nixu continue sustinebitur*, *Comm. Collegii Conimbricensis Soc. Iesu in Quatuor libros De coelo et mundo stagiritae*, Lugduni, ex officina Iuntarum, 1598, p. 481. Simplicio utiliza los mismos verbos que Aristóteles [διασπάσει y διαίρεσει]; y en la versión latina de Temistio se lee, invertido el orden, *secant et dirumpunt*.

¹¹Tal vez por eso Elders sostiene que Aristóteles se refiere aquí a la fuerza de *cohesión*; sin embargo el término aristotélico para cohesión es constantemente *πεπηγος* (cfr. *Meteor.*, 382 a 23 ss.), el cual no aparece en nuestros textos. Cfr. L. ELDERS, *Aristotle's cosmology*, van Gorcum, Assen, 1961, p. 363.

¹²ARISTOTELES; *Phys.*, 215 a 25 ss.

¹³Para la facilidad de *χρᾶσις* o combinación química entre líquidos en relación con la viscosidad de los mismos, *vid. De gen. corr.*, 328 b 3, y nuestro trabajo cit. nota 8.

¹⁴P. MORAUX, *Aristote: Du ciel*, texte établi et traduit par... Les Belles Lettres, París, 1965, pp. CL-CLI. Este texto crítico griego es el que hemos utilizado en nuestro trabajo con preferencia al clásico de Bekker.

¹⁵N. ORESME, *Le livre du ciel et du monde*, ed. by A.D. Menut and A.J. Denomy, University of Wisconsin Press, Madison, 1968, p. 716.

vas de ambos: cuerpo y líquido; mas en el segundo caso, que es previo al primero, si de hecho el cuerpo *flota* (rigurosamente dicho) y, por consiguiente, no atraviesa la superficie del líquido, ello significa que dicho cuerpo no ha vencido en modo alguno esa fuerza resistente del líquido que aparece en su superficie, independientemente de la masa de líquido que posteriormente podrá o no atravesar el cuerpo.

Es claro que Aristóteles no alcanzó a la letra tal distinción; y tal vez fuera excesivo exigírselo cuando llega a saberse que los científicos no lo hicieron sino hasta el siglo XVIII. Pero ello no impide podamos decir que en la solución de Aristóteles existe una *implícita noción de tensión superficial* expresada cual fuerza existente en la superficie de un líquido. Más aún: los ejemplos que el mismo Aristóteles menciona (trozos chatos de plomo o de hierro, contra cuerpos delgados o ahusados) permite determinar más claramente que se trata de una *presión o tensión* (y no sólo de una fuerza) de la superficie del líquido, pues su vencimiento depende precisamente de que el cuerpo "pesado" cubra una más o menos extensa superficie de apoyo.

Con todo lo cual queda demostrado que este problema de flotación de los cuerpos, solucionada hoy a través de una clara noción de tensión superficial, ha hallado ya en Aristóteles una implícita pero correcta enunciación y resolución gracias a una bien fundamentada filosofía de la naturaleza que considera a los entes en todo su complejo co-actuar, contra la unilateralidad con que Demócrito desprecia una de las partes en juego y reduce el problema, mecanicísticamente, a la acción de partículas y sus movimientos. Insistimos en que Aristóteles no habla de tensión superficial, ni distingue claramente entre fenómeno de superficie y fenómeno de masa en la flotación o hundimiento de los cuerpos; pero todavía en 1612 escribe Galileo un tratado al caso sin haber ni comprendido claramente el problema; y la física debe aguardar otro siglo antes de explicarlo.¹⁶

Universidad Nacional de La Plata

¹⁶G. GALILEI, *Discorso... intorno alle cose che stanno in su l'aqua o che in quella si muovono*, Firenze, 1612. Citamos según la edición que aparece en *Opere*, a cura di F. Brunetti, UTET, Torino, 1964, vol. I, p. 409 ss. Esperamos ocuparnos en otro trabajo de esta obra de Galileo, originada en una de sus célebres polémicas con los peripatéticos de su tiempo (quienes tampoco comprendieron este problema en Aristóteles), en torno al tema de la flotación de los cuerpos.