

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XI JORNADAS

VOLUMEN 7 (2001), Nº 7

Ricardo Caracciolo

Diego Letzen

Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Tensión superficial y tensión disciplinaria: la disputa hidrostática entre filósofos y matemáticos

Fernando Tula Molina*

1. Introducción

En septiembre de 1611¹ en la corte del Gran Duque Cósimo II de Médici, y frente a los cardenales Maffeo Barberini y Fernando Gonzaga, Galileo relató la disputa con Ludovico delle Colombe sobre la razón de flotación o hundimiento de los cuerpos. Dado que Barberini se inclinaba por los argumentos galileanos y Gonzaga por los argumentos aristotélicos, Cósimo ordenó a Galileo poner por escrito los argumentos en forma de discurso para fines de mayo de 1612.²

Esta polémica acerca de la relevancia de la *forma* de un cuerpo para su flotación o hundimiento cuestiona y enfrenta principios tanto *teóricos* (tales como los referidos a si la materia tiene una estructura continua o atomista, supuestos concernientes a la existencia de lugares naturales, diferencias sobre concepto de "cuerpo grave" y la aceptación o rechazo de *afinidades magnéticas*) como *epistemológicos* (el papel de los supuestos, la pertenencia a una tradición intelectual, la interpretación de la observación). Todo ello justifica que haya recibido considerable atención y crítica.³

Sin embargo, no ha recibido igual atención un aspecto central de la polémica, cual es el fenómeno de tensión superficial. La razón de ello reside en que la explicación galileana no pasó a la ciencia posterior, y las comparativamente pocas consideraciones que ha recibido, como ya hace tiempo lo señaló Noretta Koertge,⁴ se han restringido a enfatizar el carácter *ad hoc* de tal explicación. Más recientemente, Mario Biagioli, en un extenso análisis, también observó tal carácter *ad hoc* con el fin de señalar que la explicación galileana de la tensión superficial careció de una adecuada justificación teórica. Pero, a diferencia de los trabajos anteriores, Biagioli generalizó esta observación sobre toda la hidrostática galileana, afirmando que la legitimación de esta última provino de las estrategias utilizadas por los matemáticos para generar un espacio social propio y favor político para el mismo, el cual se consiguió al trasladar la polémica a la Corte de Cósimo II.⁵

En contra de tal afirmación me propongo repasar los argumentos galileanos frente al fenómeno de tensión superficial y luego marcar algunos puntos decisivos en la génesis de sus supuestos teóricos y epistemológicos.

2. La justificación galileana

Desde sus primeros estudios matemáticos con Ostilio Ricci y Guidobaldo dal Monte, Galileo es introducido en la tradición arquimedea. En tal sentido Galileo continúa la tradición que explica que un cuerpo menos denso que el agua flota porque el agua puede soportar un peso igual al peso del agua en el espacio ocupado por el cuerpo. Esta explicación basada en el concepto arquimedeano de peso específico impedía considerar la forma del cuerpo como causa de la flotación y hundimiento, ni aceptar definir el hielo como agua condensada, motivo inicial de la polémica.⁶

* Universidad Nacional de Quilmes. CONICET

El primer argumento general esgrimido por Galileo fue que el hielo flota sea cual fuere su forma, y no solamente aquellos de forma plana y alargada. Más allá de este claro contraejemplo a la explicación aristotélica, perturba a Galileo la experiencia realizada por Delle Colombe –en la que influye de modo decisivo el fenómeno de tensión superficial– que muestra que un cuerpo del mismo material (ébano) flota si tiene forma plana y no lo hace si su forma es esférica. Galileo se da cuenta inmediatamente que esto no sucede si ambos cuerpos son colocados *en el agua* o si se humedece su superficie. Sin embargo sus adversarios no permiten ninguna de las dos cosas alegando que en cualquiera de los dos casos se está *agregando peso* al cuerpo y que es esto lo que causa su ulterior hundimiento.

Si bien Galileo aclara que los *términos* en los que se había planteado el debate implicaban encontrar la causa de flotación o hundimiento *en el agua*,⁷ no se aferra a ello para ganar el debate, sino que desea

“descubrir la falacia que sostiene esta experiencia que convence a muchos a primera vista.”⁸

Inicialmente Galileo había mostrado que su propuesta también podía explicar experiencias de las que su adversario no podía dar cuenta. Por ejemplo que un cono de cera no se hunde más o menos por el hecho de ponerlo con su base para abajo o para arriba, y la misma tableta de cera se hunde si se le agregan pequeñas limaduras de plomo y flotan si se las extraen, una tableta de nogal colocada en el fondo de un recipiente igualmente se eleva y flota, mientras que sucede lo contrario si utilizamos una fina lámina de oro.⁹

Pero Galileo reconoce que estas observaciones sólo indican a lo sumo que ambas tienen problemas, por lo que es necesario encontrar la *causa* de la flotación de la tableta de ébano para “demostrar que el hundimiento y la flotación dependen solamente de la diferencia de peso específico.”¹⁰ Aquí es donde es necesario seguir con detenimiento el razonamiento de Galileo por lo cual cito:

Es necesario que aquello que mantiene la sutil lámina de oro en la superficie sea algo diferente que aquello que tenga aquellas materias más livianas que el agua, las que, puestas en el fondo igualmente suben a la superficie. No es algo diferente la figura plana, por consiguiente no es la figura plana lo que mantiene al oro y al ébano en la superficie ¿Qué diremos que es? Por mi parte diré que es lo contrario de aquello que es la razón del hundimiento... dado que de efectos contrarios, contrarias deben ser las causas.¹¹

La estrategia argumentativa de Galileo consiste en reducir el problema a la causa de flotación, dado que tal era el caso del experimento del ébano, y utilizar la teoría de contrarios [de efectos contrarios, contrarias son las causas] para concluir a partir de la explicación arquimedea de la causa del hundimiento. Por lo que continúa,

Del hundimiento... la causa es sin ninguna duda la mayor gravedad que la del agua, por lo que forzosamente la causa de flotación debe ser la liviandad, la cual en este caso concreto, y *por algún accidente no observado hasta el momento* [mi cursiva], que se une con la tableta que la mantiene, no como cuando estaba dentro del agua más pesada, sino menos.¹²

Habiendo establecido de este modo la causa, queda por explicar el *accidente* responsable de la experiencia de Delle Colombe, y es con este fin que Galileo elabora la teoría de

los *diquecillos* (denomina “diquecillos” a los extremos elevados del nivel del agua con respecto a la superficie que queda debajo del cuerpo, el cual, sin hundirse, hace descender parte de dicha superficie). La pregunta es, ¿por qué si la tableta ya ha superado el nivel de la superficie del agua, se detiene y no continúa su descenso? Galileo responde:

Porque al sumergirse sin que su superficie llegue al nivel del agua, ella *pierde una parte de su gravedad*, y el resto lo va perdiendo en la medida en que se sumerge en el agua, la cual le forma a su alrededor diques y barrera. Esto se produce por que al hundirse hace descender el aire superior a su superficie por contacto y adherencia, el cual llena la cavidad circundada por los diques de agua. Así, no es sólo la lámina la que descende, sino el compuesto de la tableta y el aire, del cual resulta un *compuesto* de gravedad menor que la del agua.¹³

Esta explicación, compatible con la hidrostática arquimedea, da cuenta de los fenómenos observados y, en especial, del experimento de Delle Colombe. Resta impugnar la *causa* del fenómeno esgrimida por su adversario; i.e. mostrar que el agua no ofrece resistencia a la división. De modo general hace referencia al fenómeno cotidiano de decantación del agua turbia a lo largo de los días que muestra que la resistencia no es lo suficiente para frenar el hundimiento de pequeñísimos granos de arena. No obstante las dificultades para conceptualizar el fenómeno de tensión superficial se mantienen.

No me digan que es la superficie del agua la que produce tal resistencia, y no sus partes internas, o que tal resistencia se encuentra de modo mucho mayor al comenzar el hundimiento.¹⁴

A lo primero contesta que permitirá revolver y mezclar el agua de modo que se confundan las partes inferiores, medias y superiores, mientras que a lo segundo propone sumergir una tableta, mantenerla en reposo mediante un contrapeso y ver cómo la misma se va al fondo cuando se libera tal contrapeso.

El resto del tratado está destinado a *confirmar* su propia explicación basada en los *diquecillos* y el tratamiento del volumen sumergido —delimitado por tales *diquecillos*— como una unidad compuesta del cuerpo y el aire que completa el volumen hasta el nivel del agua. El modo de hacerlo consistirá en investigar la proporción que deben tener las diversas figuras de diferente materia con la gravedad del agua, “para poder, en virtud del aire contiguo, sostenerse en la superficie.”¹⁵ A partir de aquí formula la proposición universal

Siempre que el exceso de la gravedad del sólido sobre la gravedad del agua, esté en la misma proporción a la gravedad del agua que la que hay entre la altura del *diquecillo* a la altura [grosor] del sólido, el cuerpo flotará, mientras que si supera esa proporción se hundirá.¹⁶

Esta proposición es rápidamente demostrada utilizando el principio de equilibrio hidrostático de Arquímedes. A partir de lo cual Galileo sacará numerosas conclusiones como, por ejemplo, que toda materia, de cualquier gravedad puede flotar. Así, sabiendo que el oro es 20 veces más pesado que el agua, si hacemos una lámina cuyo grosor sea una decimonovena parte de la altura del *diquecillo*, esta lámina flotará.¹⁷

Mediante este breve repaso puede verse que Galileo inicialmente mostró la falta de adecuación empírica de la teoría contraria, propuso un principio general que le permitió descubrir la causa del fenómeno desconocido, permitiendo que no haya fenómenos contrarios a la

explicación arquimedeanas, y buscó confirmar las conclusiones extraídas de esta última. Veamos ahora cuáles son los antecedentes filosóficos que permitieron a Galileo llevar esto a cabo.

3. La tradición arquimedeana

Cuando en el año 1468 el Cardinal Bessario decide establecer su biblioteca en Venecia (en lugar de Roma), comienza un nuevo período en el Renacimiento de las matemáticas en Italia. Si bien pueden encontrarse claros precedentes en el siglo XII y XIII con las traducciones de Guillermo de Moerbeke, los escritos de Leonardo Fibonacci y Jordanus Nemorarius, a partir de 1300 esta actividad fue casi dejada de lado por la popularidad de la física escolástica.¹⁸ Es por este motivo que el historiador de la matemática Paul Lawrence Rose sostiene que los matemáticos del Renacimiento "sintieron la necesidad de *restaurar* la matemática,"¹⁹ luego de la cual "se puso de manifiesto que los escolásticos de Oxford y París no pudieron seguir las ideas matemáticas recuperadas en los textos griegos."²⁰ Esta sería la razón por la que de las 47 obras incluidas en el programa de traducción e impresión de Regiomontanus de 1474, el cual marca el nacimiento formal del Renacimiento matemático, ninguno pertenece a la física escolástica.²¹

Pero tal vez uno de los pasos más importantes en el resurgimiento de la matemática griega sea el dado por el geómetra Francesco Maurolico. Hijo de un médico griego, que al igual que Bessario emigró luego del saqueo de Constantinopla, creció en un entorno intelectual dominado por el humanismo griego. Instruido en matemáticas y letras por el discípulo de Bessario Constantine Lascaris (1434-1501) y en humanidades por Francesco Farraone y Jacobo Nola escribió la historia siciliana más importante del siglo XVI y compiló numerosos digestos de autores clásicos como Cicerón, Suetonio y Diógenes Laercio.²²

Su tratado óptico representó un nuevo punto de partida para la historia de la óptica. Más allá de ello la importancia de Maurolico reside en su concepción del lugar de la matemática griega en la renovación del pensamiento matemático. En 1532 Maurolico dio lecciones sobre los libros I a XII de los Elementos de Euclides a su patrón Girolamo Baresini en Messina, a partir de las cuales comenzó una versión condensada de los mismos en la que, según testimonio de Rose, trabajó los siguientes treinta años. Al hacerlo Maurolico se habría sentido disconforme con las traducciones de Campanus y Zamberti rehaciendo completamente los primeros IV libros, agregando pruebas faltantes, acortando otras y omitiendo las redundantes. Y es aquí donde el objetivo humanista de la integridad literaria habría sido desplazado por los aspectos estrictamente *matemáticos* de los textos tratados. Este principio de que no hay nada de malo en *corregir* los textos clásicos (dado que incluso los matemáticos griegos podían equivocarse), siempre que se haga por un matemático experto, habría sido fundamental para el pleno resurgimiento de la matemática,²³ y esto no sólo por la centralidad de los aspectos matemáticos, sino por posibilitar unificar lo mejor de las diferentes tradiciones antiguas.

Es también Maurolico quien pone de manifiesto una de las lagunas más importantes de la estática arquimedeana referido al centro de gravedad de los sólidos (lo cual Arquímedes había tratado solamente en relación a las figuras planas rectilíneas).²⁴ Este problema, asociado a la concepción de la matemática como la ciencia superior a partir de su certeza, fue retomado por el gran restaurador de la matemática y fundador de la Escuela de Urbino, Federico Commandino (amigo de Maurolico). A instancias de su patrón, Ranuccio Farnese,

Commandino publicó en 1564 su edición del tratado hidrostático de Arquímedes y lo acompañó con un tratado sobre el centro de gravedad de los sólidos.²⁵ Tal contribución fue completada por Guidobaldo del Monte, discípulo de Commandino y también integrante de la Escuela de Urbino, dado que –según él– si bien Commandino había tenido una tarea sin fin en el resurgimiento de la matemática, el tratamiento de Commandino de las cuestiones mecánicas carecía de la *sistematicidad* necesaria por lo que se impuso a sí mismo tal tarea. Y es justamente, a partir de la relación entre Guidobaldo y Galileo entre 1587 y 1588 (a partir de la cual Galileo obtuvo su primer puesto como matemático en Pisa y luego la recomendación para su cargo en Padua), que Galileo se interesó por el problema del centro de gravedad de los sólidos, cobrando forma en su primera obra *Theoremata circa centrum gravitatis* (1586), y publicada como anexo en su última obra, *Discorsi e dimostrazioni matematiche in torno a le due nuove scienze* (1638). Este problema es el que lo conducirá a la noción arquimedea de “peso” *per unit volume*, y luego a cuestionar la explicación aristotélica de la flotación y el hundimiento.

Al reconocer su deuda con Guidobaldo Galileo afirma

Me aboque al estudio del centro de gravedad de los sólidos a instancias de Guidobaldo del Monte, el mayor matemático de su tiempo como lo muestran sus obras publicadas, con la idea de completar en tal estudio sobre sólidos no considerados por Commandino.²⁶

4. Aristotelismo Veneto

Si bien puede rastrearse con bastante claridad la tradición en la que se inscribe los primeros problemas a los que Galileo busca dar solución, la ciencia galileana, como en particular lo vimos al comienzo en el caso de la tensión superficial, va más allá del purismo matemático con que Maurolico, Commandino y Guidobaldo se diferenciaron del tratamiento *humanista* de la matemática.

Mucho es lo que ha sido dicho ya sobre las particulares del Aristotelismo Veneto, que constituye el entorno académico de Galileo como profesor en la Universidad de Padua entre 1592 y 1610. La tesis continuista de Randall ha sido sucesivamente reconsiderada por Neal Gilbert (1960), Charles Schmitt (1969), Paolo Rossi (1971), William Edwards (1976), y Luigi Olivieri (1981). Baste destacar aquí que el principal problema filosófico generado por el resurgimiento de la matemática griega en un entorno aristotélico fue, como observa Adriano Carugo,

“si los procedimientos utilizados por los geómetras al probar y resolver sus problemas podían ser reconciliados con la descripción de Aristóteles de una ciencia demostrativa.”²⁷

Este debate tuvo como principales protagonistas a Alessandro Piccolomini, Francesco Barozzi y Pietro Catena y cobró forma en los escritos del discípulo de Maurolico y profesor de matemáticas en Padua, Giuseppe Moletti (nacido en Messina en 1531) quien analizó la estructura de las ciencias demostrativas a la luz de la definición aristotélica. Toda ciencia demostrativa se ocupa de tres cosas, el género que se supone existente, los axiomas comunes de los que parten las demostraciones, y los atributos cuyo significado es supuesto. En el caso de la matemática, dirá Moletti, la matemática se ocupa de la cantidad; respecto de lo segundo dirá que los axiomas pueden considerar los aspectos cuantitativos *separadamente*

de la materia. El tercer punto es el más difícil, dado que, ¿qué pueden ser los accidentes universalmente considerados independientemente de la materia? Moletti recurre una vez más a los *Segundos Analíticos* y, partiendo la afirmación de Aristóteles de que la ciencia se ocupa de cosas que pueden ser demostradas de modo universal y necesario, y que tal es el caso de la matemática, concluye que puede haber conocimiento *demostrativo* de las *propiedades matemáticas*.

La importancia de esta discusión y la conclusión de Moletti reside en que posibilita utilizar el esquema metodológico de los *Segundos Analíticos*, recurriendo de modo significativo y sistemático a la *experiencia*, y combinarlo con los procedimientos y las técnicas demostrativas de la *tradición arquimedea*.

5. Conclusión

Luego de este largo análisis quisiera finalizar con una conclusión breve sobre la validación del fenómeno de tensión superficial. Por lo expuesto la misma no parece estar —como opina Mario Biagioli— en el traslado de la disputa a la Corte Médici, ni en una ruptura de la jerarquía disciplinaria y alterando el diálogo entre filósofos y matemáticos. Por el contrario, pueden puntualizarse los siguientes tres puntos finales:

- a) La tradición matemática arquimedea que llega a Galileo surge en un entorno humanista y es constantemente mantenida por tal entorno, aunque cobra un status propio, *no con Galileo, sino con Maurolico*.
- b) El problema hidrostático, discutido en términos matemáticos, se remonta al resurgimiento mismo de la tradición arquimedea en una línea cuyos más grandes representantes son Maurolico, Commandino, Guidobaldo y finalmente Galileo.
- c) Galileo se beneficia del entorno de Padua lo cual le permite combinar la tradición arquimedea con la metodología aristotélica y el recurso a la experiencia, pero no es un caso aislado como lo muestran los escritos de Giuseppe Moletti.

Notas

¹ No hay consenso sobre la fecha concreta, James McLachlan, consigna 2 de octubre.

² Cfr Galileo Galilei, *Le Opere*, a cura di Antonio Favaro, 20 vols., Firenze, Edizione Nazionale, 1890-1909, vol. IV, p. 6.

³ Los aspectos teóricos de la polémica hidrostática han sido discutidos en numerosas ocasiones como un puente conceptual entre el peso específico y la ley de caída libre (M. Clavelin, 1961, E. Grant, 1966, K. Fischer, 1986, C. Maccagni, R. Feldhay, 1998). Más específicamente se han analizado sus implicancias cosmológicas frente al aristotelismo (S. Drake, 1978-1980, W. Shea, 1983, K. W. Wisan, 1981), o las inconsistencias con los propios principios de Arquímedes (Galluzzi, 1979, P. Damerow *et al.*, 1992). También han sido consideradas las consecuencias metodológicas del tratamiento galileano de la hidrostática (S. Settle, 1967; W. Wisan, 1978), el cual ha llegado a ser identificado con el nacimiento de la física-matemática (P. Dear, 1995).

⁴ Koertge, Noretta, "Galileo and the Problem of Accidents", *Journal of the History of Ideas*, 38, 1977, p. 401.

⁵ Cfr Biagioli, Mario, *Galileo Courtier: the practice of science in the culture of absolutism*, Chicago, The University of Chicago Press, 1993, p. 182.

⁶ Cfr Galileo Galilei, *Le Opere*, *op. cit.*, vol. IV, p. 66.

⁷ Cfr. *idem*, pp. 94-95.

⁸ *idem*, p. 90.

⁹ Cfr. *idem*, p. 98.

¹⁰ *idem*, p. 67.

¹¹ *idem* p. 97.

- 12 Ídem.
- 13 Ídem, p. 98.
- 14 Ídem, p. 107.
- 15 Ídem, p. 109.
- 16 Ídem, p. 110.
- 17 Ídem, p. 111.
- 18 Rose, P. L., *The Italian Renaissance of Mathematics. Studies on humanism and mathematicians from Petrarch to Galileo*, Genève, Librairie Droz, 1975. p. 76.
- 19 Ídem, p. 84.
- 20 Ídem.
- 21 Ídem, p. 159.
- 22 Ídem.
- 23 Cfr. ídem, pp. 165-166.
- 24 Ídem, p. 167.
- 25 Ídem, p. 200.
- 26 Pág. 226.
- 27 Carugo, Adriano, "Giuseppe Moletto: Mathematics and the Aristotelian Theory of Science at Padua in the Second Half of the 16th Century", en: Olivieri, L. (ed.) *Aristotelismo Veneto e Scienza Moderna*, Padova, Antenor, 1983, p. 510.

Bibliografía

- Biagioli, Mario, *Galileo Courtier: the practice of science in the culture of absolutism*, Chicago, The University of Chicago Press, 1993.
- Clavelin, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée: Essai sur les origines et la formation de la mécanique classique*, Paris, Armand Colin, 1968.
- Damerow, P. et al., *Exploring the limits of Preclassical Mechanics. A Study of conceptual Development in Early Modern Science*, Berlín, Springer-Verlag, 1992.
- Dear, Peter, *Discipline & Experience: the mathematical way in the scientific revolution*, Chicago, The University of Chicago Press, 1995.
- Drake, Stillman, *Galileo at work: his scientific biography*, Chicago, University of Chicago Press, 1978.
- Feldhay, Rivka, "The use and abuse of mathematical entities: Galileo and the Jesuits revisited", en Machamer, Peter, *The Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998.
- Fischer, Klaus, *Galileo Galilei*, versión española de C. Gancho, Barcelona, Herder, 1986.
- Galileo Galilei, *Le Opere*, a cura di Antonio Favaro, 20 vols., Firenze, Edizione Nazionale, 1890-1909, vol. IV.
- Galluzzi, Paolo, *Momento: studi galileiani*, Roma, Edizioni dell'Ateneo & Bizzarri, 1979.
- Grant, Edward, "Aristotle, Philoponus, Avempace, and Galileo's Pisan Dynamics", *Centaurus* XI, 1966.
- Koertge, Noretta, "Galileo and the Problem of Accidents", *Journal of the History of Ideas* 38, 1977.
- Maccagni, Carlo, *Mechanics and Hydrostatics in the Late Renaissance: relations between Italy and the Low Countries*, 1994.
- Settle, Thomas B., "Galileo's use of experiment as a tool of investigation", en McMullin, Ernan (ed.), *Galileo, Man of Science*, New York, Basic Books, 1967.
- Shea, William, *La revolución intelectual de Galileo*, Barcelona, Ariel, 1983.
- Wisn, W.L., "Galileo and the Emergence of a New Scientific Style", en Hintikka, J.; Gruender, D.; Agazzi, E., *Theory Change, Ancient Axiomatics, and Galileo's Methodology: Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science*, Vol. 1, Dordrecht, Reidel, 1981.
- Wisn, Winifred L., "Galileo's Scientific Method. A Reexamination", en Butts, R.E. & Pitt, J.C., *New Perspectives on Galileo*, Dordrecht, Reidel, 1978.