

HIDROSTÁTICA, MANCHAS SOLARES Y CONTINUIDAD METODOLÓGICA

Fernando Tula Molina

En la presente ponencia pretendo justificar la *continuidad metodológica* entre Galileo y la tradición recibida analizando los dos principales problemas que ocuparon a Galileo a mediados de su carrera científica entre 1611 y 1612. El primero de ellos es un caso de física *terrestre* referido al tratamiento de Arquimedeano de la hidrostática y el segundo es un caso de física *celeste* referido a las manchas oscuras observadas pocos meses antes contra el disco solar.

Voy a sostener, además, que dicha continuidad en *su forma más* general, no parece residir en la argumentación *ex suppositione* o en el *método de análisis*, sino en el método de *eliminación de hipótesis*.

1. Hielo, Agua Condensada o Rarificada?

De un modo casi incidental Galileo inició en el mes de Agosto de 1611¹ una polémica con Vicenzio di Gracia acerca del estado en que debía concebirse el agua en forma de hielo. Al afirmar este último que el hielo era agua *condensada*, y de allí su solidez, Galileo replicó que en tal caso, pesaría más que el agua en estado natural y no podría flotar en ella, por ello debíamos concebir el hielo como agua *rarificada*. Tal razonamiento recibió por respuesta el precepto aristotélico acerca de que la causa de la flotación de un cuerpo no residía en el peso sino en la *forma* del mismo, convirtiéndose este punto en el nuevo centro de discusión.

Días después, un jesuita amigo de di Gracia, Ludovico Colombe, entra en la contienda para mostrar con un experimento que una esfera de ébano se hunde, mientras que si le damos forma de tableta flota, con lo cual consideraba *experimentalmente* confirmada la tesis contraria a Galileo, e iniciando una serie de demostraciones públicas, dos de las cuales tuvieron como árbitro a Francesco Mori. Esta situación llegó a su fin cuando el patrón de Galileo, Cósimo de Medici, le hizo notar que tales debates eran indignos de un representante de la Corte, por lo que le pedía ponga su argumento por escrito, a lo que Galileo obedeció escribiendo el *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o que in quella si muovono*.

En esta obra Galileo defendió la tesis de "... la causa del hundimiento es el exceso de la gravedad del sólido sobre la gravedad del agua, y causa de la flotación el exceso de la gravedad del agua sobre la gravedad del sólido".² Entre los papeles previos a la edición final de esta obra se encuentra un primer intento de probarla bajo la sola aceptación del

principio de causalidad que establece que causa es aquella que al ser puesta, se sigue el efecto, y al ser removida, se remueve el efecto"³. Una vez concedido, la estrategia de Galileo no era otra que observar lo que sucede con diversas formas de un mismo material, teniendo por cierto que ciertos materiales irían al fondo, mientras que otros flotarían, independientemente de tales formas.

Tal vez la causa de que esta estrategia de prueba no haya llegado a la versión definitiva del *Discorso* se encuentre en que de esta manera no podía superar los casos *limites* donde el peso específico del material era muy similar al del agua, como era justamente el caso del experimento realizado por Delle Colombe. Y tal dificultad se volvía casi insalvable por el hecho de que la noción de "peso específico" no figuraba en la física aristotélica.

Así, viendo en ello el escollo principal, Galileo comienza su versión definitiva con la *definición* de "peso específico" creando una interdependencia entre peso y *volumen*. De aquí en más, aclara, cuando se pretenda establecer la relación "más pesado que" deberán considerarse volúmenes iguales⁴. Hecho esto necesita ahora poder relacionar peso y velocidad, para poder utilizar de modo demostrativo el principio arquimediano de la palanca y la noción de "equilibrio estático". Siguiendo, según dice, a los *mecánicos* de la época define la noción de "momento" y relaciona el peso absoluto, con "... cualquier *virtú*, fuerza o eficacia con que el motor mueve, y el cuerpo resiste"⁵.

Definidas as relaciones, Galileo espera sacar la discusión del terreno experimental y explotar toda la riqueza demostrativa y la *evidencia gráfica* de su representación geométrica. Para hacerlo, encuentra un sólido apoyo en los teoremas de la palanca demostrados por Arquímedes. El rigor deductivo exige explicitar además dos principios acerca del *orden natural*: el primero es que un peso mayor no puede ser elevado por uno menor, y el segundo, que el orden natural reside en que los cuerpos más graves permanecen por debajo de los menos graves⁶.

Sin embargo, a pesar de lo que pudiera esperarse, la demostración geométrica, aún siendo concluyente bajo tales definiciones y supuestos, no es realmente efectiva contra la experiencia de Delle Colombe dado que, sea cual sea el peso específico del ébano, este debería o flotar o hundirse con independencia de su forma. Además de la semejanza en los pesos específicos ya mencionada, tal experiencia contaba a su favor con el fenómeno de "tensión superficial", también desconocido en ese momento. Galileo quiso explicarlo y para ello desarrolló una teoría completamente falsa que atribuía la causa de flotación de la tableta de ébano, al *contacto con el aire* de la superficie del cuerpo que no estaba apoyada en el agua, y a una supuesta "combinación" del peso específico del cuerpo con el del aire, resultando en peso específico menor al peso real del cuerpo.

Pero, aunque falsa, esta teoría le permitió replantear las condiciones de

experimentación llevando la discusión una vez más al terreno de la observación postulando: "todas las figuras de cualquier tamaño pero no de cualquier materia se hunden si están *sumergidas* en el agua, y flotan si no lo hacen". De este modo perseguía aislar el requisito de *inmersión completa* como necesario para realizar experimentos *decisivos*. Sin embargo, el bando contrario se negó a someterse al juicio de tal experiencia alegando que al sumergir el cuerpo, el agua que queda por arriba del mismo agrega un *peso adicional* al cuerpo, el cual motiva su hundimiento.

Ahora bien, si bien con tal negativa la discusión queda sin resolver, Galileo se sentirá exitoso porque ha podido: a) invalidar empíricamente el principio aristotélico para la mayoría de los casos; b) dar una nueva teoría hidrostática siguiendo el ideal demostrativo y basada en definiciones y principios; c) explicar el caso conflictivo (aunque con una teoría falsa); d) replantear la discusión en términos empíricos accesibles a todos; e) dejar al bando contrario con el solo sustento de una hipótesis claramente ad hoc, en la medida que la excusa del peso adicional no proviene de la ortodoxia aristotélica.

¿Manchas o satélites del Sol?

Las tres cartas que Galileo escribe a Marcos Velsler, y en las cuales expone los resultados de sus investigaciones sobre las manchas solares, constituyen una respuesta al libro escrito por Christopher Scheiner sobre las manchas solares, que éste le hiciera llegar a través de Marcos Velsler. El libro lleva el seudónimo de Apelle a causa de la prohibición de su superior, Theodore Busaeus, de revelar su identidad por el posible descrédito que sus observaciones podían traer para la orden jesuita⁷.

Scheiner comenzaba con la simple afirmación cosmológica acerca de la imposibilidad de asociar el término "macula" al más resplandeciente de los cuerpos. Esta petición de principio es eliminada por Galileo con una maniobra nominalista: no podemos concluir la ausencia de manchas por considerar al sol el cuerpo más luminoso, sino que, por el contrario debemos determinar tal carácter en base a Si contiene o no tales *oscuridades*⁸.

Pero, de hecho, tampoco Scheiner esperaba mucho de esta afirmación. Había realizado sus observaciones y razonado de modo indirecto considerando dos casos posibles: el sol, o rota sobre su eje, o está fijo; por lo que, las manchas deben, o permanecer estacionarias, o reaparecer con cada revolución. Y del hecho de que ninguna de ambas cosas se observa, deberá concluirse que las manchas no pueden pertenecerle al sol. Así, sólo puede tratarse o de un satélite de la tierra, o de un satélite del sol.

Desde la primera carta Galileo se preocupa por destacar los puntos en común: las manchas son reales y tienen inclinación boreal⁹. A continuación elimina las dos posibilidades establecidas por su adversario: no puede tratarse de satélites del sol porque las manchas van disminuyendo su tamaño (aclarándose) no hacia el centro del

sol - como es el caso de la Luna o de Venus -, sino por su lado opuesto¹⁰. Tampoco pueden girar en una órbita entre la tierra y el sol, porque la variación en la velocidad de las manchas a medida que se aproximan al centro solar que el mismo Scheiner destaca sería imperceptible y nula¹¹.

Por otra parte, el cambio constante en forma y tamaño de las manchas ofrecía una dificultad adicional para su explicación. Ello obliga a Galileo postular un medio *fluido* que acompaña al sol, denominado "ambiente solar", y a un doble juego constante: si bien la *variabilidad* de las manchas se explica mejor en tal medio fluido, siempre mantienen su *identidad* y se mueven en *conjunto*, lo que sólo "... puede tener su fundamento primario... en un cuerpo sólido y consistente donde por necesidad uno sólo es el movimiento del todo y de las partes"¹².

De este modo, Galileo extiende su tesis a que las manchas o pertenecen al sol, o pertenecen al ambiente solar en contacto con el sol. La segunda carta esta dedicada a tratar de demostrar de modo indirecto y con recursos geométricos esta tesis: para ello proyecta la posición de dos manchas próximas al centro del sol (i.e. tal que describan el círculo máximo), sobre un plano imaginario (al que podemos equiparar el disco solar para el ojo humano). Luego descarta el supuesto de que las manchas describen un círculo mayor al del sol en base a que proyectarían posiciones diferentes de las observadas. Sin embargo, Galileo reconoce que tales demostraciones deben *suponer* la circunvolución del sol y su *forma esférica*, y que deben desconocerse las variaciones individuales de las manchas.

De hecho, Sheiner también había utilizado las demostraciones geométricas, pero siempre bajo la aceptación del sistema astronómico ptolemaico y basándose en que el movimiento de las manchas es *irregular*. Esta discrepancia en las observaciones le permite a Galileo trasladar toda la polémica al terreno de la observación telescópica afirmando que "... La diferencia con Apelle reside en que considera que el movimiento de las manchas alrededor del Sol son desiguales entre 9 y 16 (Ras y no iguales todas de 14 días y medio.". De esta manera, anuncia Galileo, será posible decidir la cuestión *observando* "...con que proporción va creciendo la velocidad de una mancha desde que aparece hasta que se esconde, porque de tal proporción se podrá luego argüir si tal movimiento se da sobre la superficie solar o sobre un círculo separada de ella"¹³.

Tal será el problema tratado en la última carta donde demuestra la imposibilidad de la proporción resultante de las observaciones de Sheiner teniendo en cuenta la distancia de las manchas del diámetro y el intervalo de tiempo entre las mismas¹⁴.

En definitiva, a lo largo de sus tres cartas a Marcos Velsler, Galileo ha conseguido: a) Eludir el argumento cosmológico con una estrategia nominalista; b) Alejar de la discusión el problema acerca de la "realidad" de las manchas; c) Invalidar por observación

telescópica las consecuencias acerca del carácter *satelital* de las manchas; d) Dar una explicación de todas las observaciones bajo el *supuesto* de la rotación y forma esférica del sol; e) Encontrar un modo de decidir la cuestión por observación; d) Demostrar geoméricamente la imposibilidad del sustento empírico de Scheiner.

Continuidad Metodológica

En esta última sección voy a concluir que método *de eliminación* de hipótesis describe adecuadamente el modo de proceder de Galileo en los casos recién considerados. Es decir, por una parte, coincido con quienes sostienen que la constante referencia de Galileo al uso aristotélico de la experiencia, o al procedimiento constructivo de Euclides, o a los supuestos de Arquímedes, es algo más que un mero *tic retórico* y que expresan la intención genuina de Galileo de encontrar para sus nuevas ideas sustento metodológico en la tradición recibida. Además sólo bajo el supuesto de la continuidad metodológica puede comprenderse la reiterada afirmación de Galileo acerca de que se aleja "... de la opinión peripatética comúnmente recibida ... sólo en aquello en que dispongo de demostraciones más firmes y experiencias más evidentes"¹⁵

Por otro lado, creo que es necesario buscar un marco metodológico que *incluya* todas dichas referencias, en lugar de generalizar a partir del conjunto de una sola de ellas.

Por ejemplo, una de las líneas historiográficas que ha marcado esta continuidad es aquella que se continua desde Randall hasta Hintikka, vinculando el uso galileano del *método regresivo*, al uso de la Escuela de Padua y, a través de ella, hasta las definiciones de Pappus. Otro ejemplo es la valiosa obra de William Wallace dedicada a poner de manifiesto la identidad entre el uso galileano de la argumentación *ex suppositione*, y las enseñanzas del Collegio Romano. Voy a considerar el primer ejemplo y a dejar para otra ocasión el análisis de la tesis de Wallace.

Creo haber podido ilustrar que el proceder de modo regresivo le permitió a Galileo desarrollar una explicación hidrostática sobre nuevos conceptos y principios, sin embargo no le permitió explicar la observación del hundimiento y flotación del ébano, bajo diferentes formas. En astronomía, el método regresivo permitió dar una explicación de todas las apariencias, pero sólo bajo el supuesto no evidente, de la rotación y forma esférica del sol. En ambos casos analizados se evidencia que este procedimiento constituye sólo una parte del proceder galileano, vinculado a su ideal de rigor en la *construcción* de toda nueva explicación. Generalizar este resultado a la categoría del *método científico* de Galileo corre el riesgo de no poder encontrar un lugar de relevancia para su constante preocupación experimental. Un caso particular de ello tal vez pueda verse en la afirmación Wisan acerca de que "... si nuestro fundamento reside en principios verdaderos, la confirmación de las consecuencias experimentales deducidas

rigurosamente es *innecesaria*¹⁶ [mi cursiva]

Por el contrario, creo que los casos aquí tratados permiten ver claramente que Galileo es consciente de que los teoremas derivados dependen de definiciones y principios no siempre autoevidentes. Por ello, además de los procedimientos geométrico-demostrativos, Galileo debe reforzar la plausibilidad de los mismos eliminando toda *alternativa* en conflicto. Así, finalmente, creo que es posible ver en el *método de eliminación* de alternativas el marco metodológico general que mejor describe los casos analizados. En tal sentido, la continuidad se extendería al menos hasta Roberto Grossetesta quien, como Crombie señalara, habría revolucionado la metodología corriente del siglo XII mediante la aplicación de este método. Pero, siendo esta una cuestión de grados, si quisiéramos, podríamos extender esta continuidad hasta los dos principios aristotélicos en que se apoya: el principio de economía y el principio de uniformidad de la naturaleza.

Citas

1. Cf. Drake, S, Galileo at *Work*, University of Chicago Press, 1978, p. 169.
2. Galileo Galilei, *Discorso intorno alle cose que stanno in su l'acqua, o que in quella si muovono*, Le Opere, Edizione Nazionale, 1685, vol. 4. p. 67.
3. Galileo Galilei, *Diversi Frammenti* attenenti al trattato delle cose che stannosu l'acqua, Le Opere, Edizione Nazionale, 1685, vol. 4. p. 22.
4. Galilei, *Discorso...* p. 54, también p. 74.
5. Idem, p. 68.
6. Idem, pp. 35-36.
7. Drake, Stillman, op. cit., p. 489.
8. Galileo Galilei, *Istoria e dimostrazioni intorno alle mach ie solari: comprese in tre lettere scritte a Marco Velsari*, Le Opere, Edizione Nazionale, 1685, vol. 5 p. 97.
9. Cf. 5Idem, p. 95.10
10. Cf. 5Idem, p. 104.
11. Cf. Idem, p. 105.
12. Idem, p. 133.
13. Idem, p. 105.
14. Idem, p. 209.
15. Galileo Galilei, *Frammenti...* p. 31
16. Wisan, W. 1., "Galileo's scientific method: a reexamination" en: Butts, R. E. / Pitt, J. C. (eds.), *New Perspectives in Galileo*, Dordrecht, Reidel, p. 8.