

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS X JORNADAS

VOLUMEN 6 (2000), Nº 6

Pio García
Sergio H. Menna
Víctor Rodríguez
Editores



ÁREA LÓGICO-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



Orden natural y orden aristotélico en la ciencia galileana

Fernando Tula Molina*

Introducción

La primera Jornada del *Dialogo sopra I due massimi sistemi del mondo* de 1632 es famosa por la demolición que hace Galileo de la cosmología aristotélica al quitarle el sustento que le proporcionaba la taxonomía de los movimientos naturales. Galileo afirma que esta crítica pretende invalidar el *orden aristotélico* pero sin afectar el *orden natural*.¹ En el presente trabajo pretendo mostrar la transformación del pensamiento de Galileo a partir de los problemas que enfrentó, desde la cosmología aristotélica adoptada en *De Motu*, a los enérgicos argumentos de la primera jornada para su abandono. Paralelamente trataré de indagar cómo debemos entender “orden natural” después que esta transformación haya concluido.

Como bien afirma Koyré, Galileo se inicia en la vida científica con su obra *La Bilan-cetta* de 1586. En ella Galileo soluciona el problema de la proporcionalidad en la composición de los metales y establece los fundamentos de la balanza hidrostática. Sin duda, fue una aplicación inspirada de la tradición arquimedea la que permitió a Galileo arribar a tal resultado. Este hecho indiscutido alienta a Koyré para afirmar que es “abrazando la tradición de pensamiento” que éste representa – a favor de los “antiguos” y en contra de Aristóteles – como Galileo llega a superar la física de la fuerza impresa y se eleva al nivel de la física matemática.²

Sin que el objetivo sea criticar a Koyré quisiera utilizar esta afirmación suya para deslindar tres elementos de la ciencia galileana: proyecto, tradición cosmológica y tradición metodológica

1. Por un lado la afirmación resulta un acierto en tanto que es justamente el éxito obtenido en el problema hidrostático el que alienta a Galileo a emprender una tarea de mayor envergadura, cual es la de utilizar tales recursos para investigar “... cuáles son las bases sobre las que podemos decir que un cuerpo *es más pesado que otro*.”³
2. El fundamento de este proyecto reside, por un lado, en la ausencia en la física aristotélica de una explicación para la afirmación de que “dado que el mismo cuerpo se mueve más velozmente en el medio menos denso, la causa de la lentitud es la densidad del medio.”⁴ Por el otro, y es explícito al respecto, es necesario arribar a una explicación que vaya más allá de las meras experiencias sobre las que Aristóteles se basa, y que permita superar contraejemplos tales como los de la vejiga inflada que se mueve más rápidamente en el agua que en el aire.
3. Con relación al tipo de explicación buscada, también es explícito al afirmar que este proyecto “... no puede ser tratado correctamente de modo matemático, sino que requiere, por el contrario, una *explicación física*.”⁵ Ello no quiere decir, por el momento, abandonar el modelo deductivista de Arquímedes, sino que muestra la necesidad de encontrar principios cosmológicos adecuados para utilizar tal modelo metodológico.

* Universidad Nacional de Quilmes. Universidad Nacional de La Plata. CONICET.

1. La cosmología de *De Motu*

Ahora bien, los estudios sobre el manuscrito 27⁶ han permitido determinar que los primeros esfuerzos para avanzar en la búsqueda de tales principios datan de la primera mitad de 1589. En la segunda mitad del mismo año Galileo acepta el ofrecimiento de la Universidad de Pisa para desempeñarse como profesor de matemáticas. Ello implicaba remplazar al padre Filippo Fantoni y enseñar, además de los cinco libros de los *Elementos* de Euclides, la obra de Georg Peurbach *Theorica Planetarum*. Esta obra consistía en una exposición mucho más refinada y actualizada de la astronomía matemática y ptolemaica que la proporcionada por la *Sphaera* de Sacrobosco.⁷ Ese mismo año el amigo y colaborado de Galileo, Jacopo Mazzoni, fue designado en la misma universidad para enseñar el *De Caelo* aristotélico.⁸

Por tales motivos, no resulta sorprendente que Galileo comenzara aceptando como marco para su investigación los principios cosmológicos de la dinámica aristotélica. Precisamente, vemos que Galileo abre su tratado del movimiento afirmando que “En adelante explicaremos que todos los movimientos naturales, sean ascendentes o descendentes, son el resultado de la gravedad o liviandad esencial del cuerpo que se mueve.”⁹ De la misma manera inicia el capítulo siguiente afirmando que “*Dado* que las cosas que se mueven naturalmente se mueven hacia sus lugares naturales y *dado* que las cosas que se mueven son o pesadas o livianas, debemos considerar cuáles son los lugares de las pesadas, cuáles el de las livianas y por qué” (mi cursiva).¹⁰

Sin embargo, el exitoso tratamiento arquimedeano realizado para resolver el problema de la proporcionalidad de la composición de los metales le había dejado como herencia una suposición profundamente antiaristotélica: el supuesto de que existe una materia única en todos los cuerpos y que los cuerpos más pesados son aquellos que contienen “el mayor número de partículas de tal materia en un espacio menor.”¹¹

Para combinar estos dos elementos Galileo hace el supuesto adicional de que la naturaleza “... al momento de la construcción del universo, dividió la totalidad de la materia común a los cuatro elementos en cuatro partes iguales, y luego asignó a la forma del elemento tierra su propia materia [tierra], y del mismo modo a la forma de aire su propia materia [aire] y que la *forma* del *elemento* tierra causó que su materia deba estar comprimida en un espacio menor, mientras que la *forma* del elemento *aire* permitió ubicar su materia en un espacio más amplio.”¹²

Galileo obtiene su representación cosmológica final a partir de afirmar que, dado que “en una esfera los espacios son más pequeños en la medida que nos acercamos al centro,”¹³ la tierra se encuentra “cerca del centro y los restantes elementos rodeándola concéntricamente en lugares más amplios en proporción en la que cada uno de tales elementos son menos densos.”¹⁴ Puede observarse que, hasta aquí, no hay diferencias con la cosmología aristotélica, ni en el orden de los elementos ni en la física basada en la dinámica de los lugares naturales.

Entonces, ¿qué ocasiona el abandono de esta cosmología para afirmar en 1632 que su intención consiste en demoler el *orden aristotélico*?

2. La ruptura

Para comenzar, observemos que esta síntesis aristotélico-atomista realizada por Galileo no podía mantenerse, dado que albergaba el germen de su propia caída. Al intentar utilizar la

física de Arquímedes para explicar por qué un cuerpo se movía más velozmente en el medio menos denso, Galileo se encuentra con que la física de Arquímedes implica que los cuerpos livianos ubicados en un medio más pesado ascienden por extrusión y no en razón de una propiedad *natural* de los mismos. De ello surge la necesidad de revisar la clasificación aristotélica de los movimientos naturales y separar los movimientos causados por una liviandad *relativa*, entendida como la densidad relativa (basada en la forma esencialmente diferente de cada uno de los elementos), del movimiento de *descenso* causado por la gravedad (mayor densidad – cantidad de materia en menor espacio) como propiedad intrínseca de los cuerpos.¹⁵

Autores como Raymond Fredette, Paolo Galluzzi y Peter Damerow han señalado estas tensiones en *De Motu*. Sin embargo, fue Winifred Wisan quien, viendo aquí un punto decisivo, examinó los Manuscritos galileanos posteriores a la redacción de *De Motu* denominados *Memoranda*. En tales manuscritos pueden verse diversos intentos de Galileo para *evitar* el colapso del orden natural, según la cosmología aristotélica,¹⁶ implicado por las contradicciones señaladas. A modo de ejemplo puede mencionarse el intento de distinguir el carácter *forzado* del movimiento de un proyectil y el carácter el de un movimiento causado por un *agente natural*, como es un medio más denso. De su estudio Wisan extrae la conclusión de que “nuestro joven revolucionario se resiste a abandonar el orden y la coherencia del cosmos aristotélico.”¹⁷

¿Por qué, a pesar de ello, Galileo rompe con la tradición aristotélica inicialmente adoptada? Lo hace porque no encuentra escapatoria a la conclusión a la que había arribado: al ser el medio el que fuerza un objeto hacia arriba, no puede decirse que tal movimiento sea *natural*.

3. La hipótesis atomista

Considerado el elemento aristotélico, es necesario tratar ahora el elemento atomista de la síntesis realizada por Galileo: la hipótesis de que todos los elementos están constituidos por una materia única. Esta hipótesis, que se vuelve explícita y pública en *Il Saggiatore*, es una consecuencia de la definición arquimedea de peso *per unit volume* utilizada por Galileo desde sus primeros trabajos. Respecto de la misma, además que, según hemos visto, se encuentra en la raíz del conflicto, deben hacerse otras dos observaciones importantes.

La primera es que fue este mismo supuesto el que ayudó a la elaboración de una cosmología nueva. En tanto todos los elementos están compuestos por la *misma* materia, es posible – como bien observó Maurice Clavelin – pensar también en los cuerpos celestes como *graves*. En este sentido la hipótesis atomista fue fundante de la unificación de la mecánica celeste y la terrestre.¹⁸

Por otra parte, es necesario señalar que es aquí donde surge un nuevo problema: ¿cómo es posible que la Tierra sea el centro, siendo que el Sol claramente debe tener un peso muy superior al de la Tierra? Debe señalarse, además, no sólo que este problema comienza a ocupar las reflexiones galileanas, sino que es el propio supuesto atomista el que proporciona la clave para su solución; como observa Stillman Drake, sin presentar ni disponer de pruebas Galileo ya puede especular sobre el movimiento circular de la Tierra en tanto que esfera celeste.¹⁹

4. El movimiento circular como principio

Tanto por no haber sido afectado por la reconfiguración de los movimientos *naturales* ya señalada, como por volverse un principio central en la unificación de la mecánica, el movimiento circular se vuelve la piedra angular de la ciencia galileana. Efectivamente, esta idea domina el tratamiento de Galileo tanto de los problemas dinámicos (trayectoria de proyectiles, isocronismo pendular, inercia circular) como de los astronómicos (rotación de la tierra, rotación del sol, satélites de Júpiter, el carácter aparente de los cometas).²⁰

Si nos preguntamos cuál es el fundamento o garantía del carácter *natural* del movimiento circular, Galileo nos remite al *principio de orden natural*,²¹ idea extraída del tratado aristotélico sobre los cielos, y que consiste en que *debe existir un orden* necesario entre las partes del mundo. El movimiento rectilíneo presenta características que impiden que se mantenga este orden: no puede ser eterno, se basa en una línea recta infinita e indeterminada, implica contrarios, y aleja en todo momento al móvil de su punto de partida.²² Dado que todo lo contrario sucede con el movimiento circular éste conserva el orden natural de la misma manera que lo hace el reposo. Como observa Koyré, es justamente a partir de la asociación del movimiento circular al reposo, lo que permite que el mismo adquiera un estatus ontológico privilegiado.

La búsqueda y evaluación de nuevos principios implicará ahora recurrir a la confirmación experimental. Y, como intenté explicar en mi anterior participación en estas Jornadas, no se trata de que Galileo desarrolle un nuevo método científico, sino que, no es posible utilizar el modelo arquimedeano por ausencia de principios sólidos. Galileo recurre al aristotelismo progresista imperante en Padua. Esta tradición metodológica había registrado entre el siglo XV y XVI, la crisis de la metafísica como ciencia de los principios, y la limitación de la mente humana para captar esencias, y había señalado la necesidad del recurso a la experiencia.²³ Ya no será posible obtener principios mediante captación esencial (o, en la tradición islámica, una contemplación de la verdad como uno de los nombres de Dios²⁴ – *contemplatio*) y por ende definitivos, sino que deberán ser descubiertos por una mente limitada, considerados como una causa posible – *inventio* –, y requerir confirmación experimental.

De hecho, este cambio de orientación no fue sencillo para Galileo sino que, como bien señala Charles Schmitt al comparar la metodológica de Jacopo Zabarella con Galileo, el recurso sistemático a la experiencia no surge de modo coherente mucho antes del *Discorso in torno alle cose que stanno in su l'acqua*. (1612).

Sin embargo, esto no parece afectar a la circularidad como principio fundante, lo cual dificulta hacer una valoración epistemológica del papel desempeñado por el movimiento circular en la ciencia galileana. Debe reconocerse que está ligado a muchos aspectos desconcertantes de la misma como, por ejemplo, la extraña simplificación de la posición copernicana, la ausencia de toda mención a las leyes de Kepler – a pesar de que se sabe que tuvo conocimiento de ellas al menos en 1612,²⁵ y la descripción errónea de la trayectoria de un cuerpo en caída libre bajo el supuesto de una tierra en movimiento como un semicírculo perfecto.²⁶ Por el otro lado, sin la circularidad garantizada por el *principio de orden*, Galileo no habría dispuesto ni de un punto de apoyo ni de una guía al abandonar la cosmología aristotélica y con ella la posibilidad de proceder deductivamente a partir de principios seguros. En tal sentido puede decirse que la idea de circularidad a la vez permitió y limitó la ciencia galileana.

Orden del discurso y orden natural

Para responder a la pregunta acerca de qué quiere decir Galileo en 1632, debemos partir de la distinción entre *orden de la doctrina* y *orden natural*, la cual, como bien observa William Wallace fue hecha por Giorgio Valla. De modo general, afirma Valla, el orden es un "... hábito instrumental de nuestra mente mediante el cual uno puede disponer las partes de una disciplina para poder ser aprendida del mejor modo y la manera más fácil."²⁷ El *orden natural* hace referencia al modo en que las partes del universo fueron generadas, a la jerarquía de perfección en el orden del ser, o a la intención del creador. El *orden de la doctrina*, continúa Valla, es el que debe seguir la ciencia. Sabemos que Galileo conocía su doctrina a través del curso de introducción a la lógica dictado por Carbone en el Collegio Romano. Utilizando esta distinción podríamos concluir que el *orden aristotélico* pertenece, para Galileo, al orden de la doctrina, y que "cambiarlo sin cambiar el orden natural" significa no alterar el orden en que las partes del universo fueron creadas.

Podemos ver que esta interpretación es congruente con el fondo de la discusión planteada por Galileo. Cuando Salviati establece ante Simplicio el principio de orden natural como *principio indiscutido*, lo hace a partir de la afirmación de que las *partes de mundo* deben estar perfectamente ordenadas. Esta afirmación la extrae – como ya mencioné – de su acuerdo con Aristóteles en que el mundo está provisto de todas sus dimensiones y por ende es máximamente perfecto.²⁸

Conclusión

Me parece entonces que este es el marco adecuado para comprender la afirmación de la primera jornada del *Dialogo* de la que partimos. Habiendo delineado los pasos del cambio cosmológico al que asiste el pensamiento de Galileo, podemos ahora comprender que sea justamente el *objetivo* de la primera jornada mostrar que el movimiento rectilíneo "... no mantiene el buen orden del mundo,"²⁹ que utilice el principio indiscutible de que sólo el "reposo y el movimiento circular conservan el orden,"³⁰ que argumente que el movimiento rectilíneo "... no puede ser eterno mientras que la tierra es eterna"; y que concluya finalmente que, en la medida en que la Tierra "deba conservar al igual que los restantes cuerpos celestes una óptima y natural disposición", es necesario decir que sólo puede atribuirse o reposo o movimiento circular.³¹

Arribamos entonces al fundamento de la equivalencia entre la nueva y la vieja cosmología, al terreno que las equipara pero que obliga a decidir entre ambas. Es a partir de aquí que Galileo tratará de hacer pesar los argumentos y la evidencia que ha acumulado con los años, y que presentará en las tres jornadas siguientes.

Notas

¹ Cfr. Galileo Galilei, *Le Opere*, a cura di Antonio Favaro, 20 vols., Firenze, Edizione Nazionale, 1890-1909, vol. VII, pp. 43 y 69.

² Koyré, Alexandre, *Études Galiléennes*, Paris, Herman, 1966, p. 76.

³ Galileo Galilei, *De Motu*, en: *Le Opere*, op. cit. Vol. I, p. 251 (mi cursiva).

⁴ Ídem, p. 260.

⁵ Ídem, p. 257.

⁶ Wallace, William, *Galileo's Logical Treatises: a translation, with notes and commentary, of his appropriated Latin questions on Aristotle's «Posterior Analytics»*, (Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 138), Dordrecht/Boston/London, Kluwer, 1992, p. 53.

- ⁷ Lattis, James M., *Between Copernicus and Galileo: Christopher Clavius and the collapse of Ptolemaic cosmology*, Chicago/London, The University of Chicago Press, 1994, p. 41 y ss.
- ⁸ Wallace, William, *Galileo's Logical Treatises: a translation, with notes and commentary, of his appropriated Latin questions on Aristotle's «Posterior Analytics»*, (Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 138), Dordrecht/Boston/London, Kluwer, 1992, p. 59.
- ⁹ Galileo Galilei, *On Motion and On Mechanics*, comprising *De Motu* (ca. 1590) translated with Introduction and Notes by I. E. Drabkin, and *Le Mecaniche* (ca. 1600) translated with Introduction and Notes by S. Drake, Madison, The University of Wisconsin Press, 1960, p. 13.
- ¹⁰ Ídem, p. 14.
- ¹¹ Ídem, p. 14.
- ¹² Ídem, p. 14.
- ¹³ Ídem, p. 15.
- ¹⁴ Ídem, p. 15.
- ¹⁵ Wisan (1981), p. 42; Damerow, P.; Greudenthal, G.; McLaughlin, P.; Renn, J., *Exploring the limits of Pre-classical Mechanics: A Study of conceptual Development in Early Modern Science*, Berlin/New York, Springer-Verlag, 1992, p. 138.
- ¹⁶ Wisan, Winifred L., "Galileo's «de Systemate Mundi» and the new mechanics", Galluzzi, P. ed. / *Novità Celesti e Crisi del Sapere: atti del Convegno Internazionale di Studi Galileiani*, Firenze, Giunti Barbèra, 1981, p. 42.
- ¹⁷ Ídem, p. 42.
- ¹⁸ Clavelin, Maurice, "Galilée et la Mecanisation du Systeme du Monde" 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/Boston/London, Reidel, 1981, p. 235.
- ¹⁹ Drake, Stillman, "Galileo's Steps To Full Copernicanism, and Back", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 18, Nº 1. 1987, pp. 99-102.
- ²⁰ Thomas Settle observa que es posible que el carácter de *simulacro* que Galileo le atribuye a los cometas resida en que todos los cuerpos físicos deben estar sujetos a la inercia circular. Settle, Thomas B., "Antonio Santucchi, his «New Tractatus on Comets», and Galileo", en: Galluzzi, P. (ed.), *Novità Celesti e Crisi del Sapere: atti del Convegno Internazionale di Studi Galileiani*, op. cit., p. 236.
- ²¹ Cfr. Galileo Galilei, *Le Opere*, vol. VII, op. cit., pp. 69-70.
- ²² Cfr. Galileo Galilei, *Le Opere*, op. cit. vol. VII, p. 43. Cfr. también Clavelin, Maurice, *La philosophie naturelle de Galilée: Essai sur les origines et la formation de la mécanique classique*, Paris, Armand Colin, 1968, pp. 42; 44 y 217.
- ²³ Cfr. Olivieri, L., *Certeza e Gerarchia del Sapere: crisi dell'idea di scientificità nell'aristotelismo del secolo XVI [Con un'appendice di testi inediti di Pomponazzi Pendasio, Cremonini, (Saggi e Testi, 20), Padua, Antenore, 1983, pp. 121-163.*
- ²⁴ Lohr, Charles H. "The New Philosophy of Nature", en: Schmitt, C. B.; Skinner, Q., *The Cambridge History of Renaissance Philosophy*, Cambridge, New York, Melbourne, Press Syndicate of Cambridge University Press, 1988, p. 540.
- ²⁵ Cfr. Shea, William, "The World in Motion: The Second and Third Day of Galileo's Dialogue on the Two Chief World Systems", *Revue de l'Université d'Ottawa*, Vol. 40, Nº 3, Año 1970, p. 348; Panofsky, Erwin, "Galileo as a Critic of the Arts: aesthetic attitude and scientific thought", *Isis*, vol. 147, Nro. 1, 1956, p. 10; Clavelin, Maurice, *La Philosophie Naturelle de Galilée*, op. cit., p. 266.
- ²⁶ Cfr. Shea, William, "The World in Motion", op. cit., p. 345
- ²⁷ Wallace, William A. *Galileo's Logic of Discovery and Proof: The Background, Content, and Use of His Appropriated Treatises on Aristotle's «Posterior Analytics»*, Dordrecht 1992. (Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 137), p. 66.
- ²⁸ Galileo Galilei, *Le Opere*, op. cit., vol. VII, p. 43.
- ²⁹ Ídem, p. 43.
- ³⁰ Galileo Galilei, *Le Opere*, op. cit., vol. VII, p. 56.
- ³¹ Cfr. Galileo Galilei, *Le Opere*, op. cit., vol. VII, p. 69-70.