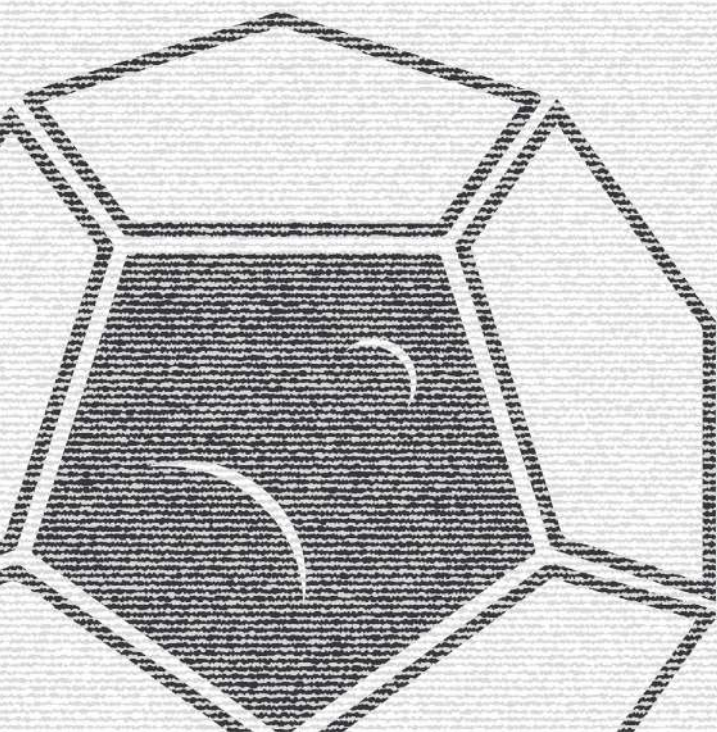


Maximiliano Bozzoli
Luis Salvatico
David Merlo
(Eds.)

Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen I



Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen I

Maximiliano Bozzoli

Luis Salvatico

David Merlo

(Eds.)

**Colecciones
del CIFYH**



Epistemología e historia de la Astronomía / Maximiliano Bozzoli ... [et al.]; compilación de Luis Salvatico; David C. Merlo. - 1a ed. - Córdoba : Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1721-1

1. Astronomía. 2. Historia. 3. Epistemología. I. Bozzoli, Maximiliano. II. Salvatico, Luis, comp. III. Merlo, David C., comp.
CDD 520.3

Publicado por

Área de Publicaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades - UNC

Córdoba - Argentina

1º Edición


Área de
Publicaciones

Diseño de portadas: Manuel Coll y María Bella

Diagramación: María Bella

Imagen portada: “JEHA (*Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía*)” (2021), de Maximiliano Bozzoli

2023



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.



¿Por qué hay estrellas invisibles? Lecciones epistemológicas del debate entre Galileo y Kepler

Alejandro Cassini*

Resumen

En este trabajo presentaré el debate entre Galileo y Kepler acerca de las causas por las cuales existen estrellas que no son visibles a simple vista, pero pueden observarse mediante el telescopio. Luego, lo analizaré desde el punto de vista epistemológico, considerando las dos principales hipótesis en juego: la de la mayor distancia y la del menor tamaño de las estrellas invisibles. Argumentaré que tales hipótesis no son excluyentes ni exhaustivas de las explicaciones posibles. Concluiré, entonces, que la controversia no podía resolverse en el momento que se produjo, ni por medio de argumentos ni de observaciones, porque ambas hipótesis estaban subdeterminadas por la evidencia disponible.

Palabras clave: *Galileo, Kepler, estrellas fijas, hipótesis, subdeterminación.*

Abstract

In this work, I will present the debate between Galilei and Kepler about the causes for which there are stars that are not visible to the naked eye but can be observed through the telescope. Then, I will analyze it from the epistemological point of view, considering the two main hypotheses at stake: the one of the greater distance and the one of the smaller size of the invisible stars. I will argue that such hypotheses are neither exclusive nor exhaustive of possible explanations. I will conclude that the controversy could not be resolved at the time it arose, neither by argument nor by observation, because both hypotheses were underdetermined by all the available evidence.

Keywords: *Galilei, Kepler, fixed stars, hypotheses, underdetermination.*

* Universidad de Buenos Aires (UBA)- (Conicet).

1. Introducción

Cuando Galileo descubrió que existían en los cielos numerosas estrellas que no eran visibles a simple vista, varios supuestos que se remontan a la astronomía antigua entraron en crisis. Además, se plantearon nuevas preguntas para las cuales en ese momento no había una respuesta cierta o convincente. No es sorprendente, entonces, que los descubrimientos telescópicos de Galileo suscitaran todo tipo de controversias. En este trabajo presentaré el debate entre Galileo y Kepler acerca de las causas por las cuales existen estrellas que no son visibles a simple vista, pero pueden observarse mediante el telescopio. Luego, lo analizaré desde el punto de vista epistemológico, considerando las dos principales hipótesis en juego: la de la mayor distancia y la del menor tamaño de las estrellas invisibles. Argumentaré que tales hipótesis no son excluyentes ni exhaustivas de las explicaciones posibles. Concluiré que la controversia no podía resolverse en el momento que se produjo, ni por medio de argumentos ni de observaciones, porque ambas hipótesis estaban subdeterminadas por la evidencia disponible.

2. Presupuestos cosmológicos de la astronomía antigua

La tradición principal de la astronomía griega, que va desde Eudoxo en el siglo IV a. C hasta Ptolomeo en el siglo II d. C., admitió una diversidad de supuestos, muchos de ellos de origen aristotélico, acerca de la naturaleza y el comportamiento de los cielos.¹ En primer lugar, la separación de los cielos en dos regiones cualitativamente diferentes: la *región sublunar*, donde hay generación y corrupción de las entidades, como se observa en los fenómenos atmosféricos, y la *región supralunar*, no sujeta a cambio alguno, excepto el movimiento circular uniforme. Todos los fenómenos que se observan en el cielo pertenecen a una sola de tres categorías. Los que ocurren en la región sublunar son *meteoros*, como el arco iris, entre otros. En esa categoría se incluyen todos los cambios observados en los cielos, entre ellos, los que actualmente clasificamos como cometas, meteoritos, supernovas y muchos otros. Dado que la región supralunar no está sujeta

1 Los supuestos fundamentales provienen de *De caelo* de Aristóteles y no fueron modificados por los astrónomos antiguos.

a generación y corrupción, un supuesto esencial de la cosmología aristotélica, no es concebible, por ejemplo, que aparezca una estrella nueva o desaparezca una estrella vieja. Los cielos son eternos y, por tanto, también todas las entidades que los pueblan. Todos los objetos que existen en la región supralunar pertenecen a la categoría general de *estrellas*, las cuales orbitan alrededor de la Tierra fija con una diversidad de movimientos. Las estrellas se clasifican en dos tipos excluyentes: las *estrellas fijas*, que se mueven alrededor de la Tierra pero no cambian sus distancias entre sí, y las *estrellas móviles o planetas* (literalmente “errantes”) que también se mueven alrededor de la Tierra pero cambian sus distancias relativas respecto de las fijas, moviéndose con velocidades variables y trayectorias aparentemente caprichosas, como las retrogradaciones.

Se suponía que tanto las estrellas fijas como las estrellas errantes estaban adheridas a esferas cristalinas que las transportaban. Las diferentes esferas debían hallarse en contacto, puesto que se admitía la tesis aristotélica según la cual no podía haber espacios vacíos en los cielos. Todas las esferas se movían con movimiento circular uniforme, aunque el centro de cada una podía o no (como ocurría en los modelos planetarios de Ptolomeo) coincidir con el centro del universo que estaba ocupado por la Tierra fija. Las esferas cristalinas que transportaban a los planetas no eran observables, aunque se suponía que estaban hechas, igual que las estrellas y planetas, de éter o quintaesencia. Debido a su carácter inobservable, el número de esferas no podía contarse, pero debía postularse de acuerdo con las necesidades de explicación de los movimientos observados de las estrellas fijas y los planetas. El número de planetas y estrellas estaba determinado por la observación directa (aunque los catálogos estelares antiguos no pretendían ser completos), pero el número de esferas cristalinas era un parámetro libre de los modelos planetarios de la astronomía antigua, que podía ajustarse a voluntad.

Para los fines de este trabajo, solo interesan los supuestos concernientes a las estrellas fijas. Se admitía que todas las estrellas fijas brillaban con luz propia, aunque la causa que producía ese brillo era desconocida y, más bien, objeto de especulación. Todos los objetos de la región supralunar se consideraban compuestos de éter, pero este se presentaba en tres formas diferentes: transparente, opaco y luminoso. Respecto de los planetas, con excepción del Sol, se debatía si brillaban con luz propia o reflejada. Las estrellas fijas y los planetas se consideraban de forma esférica aunque, por

cierto, no había manera de corroborarlo por medio de observaciones, salvo las del Sol y la Luna. Respecto de los tamaños y distancias, se conocía con bastante precisión el radio de la Tierra, que se empleaba como unidad de medida astronómica, y se admitía que la Luna era más pequeña que la Tierra y que el Sol era más grande y estaba mucho más lejos que la Luna.² En cuanto al tamaño y distancia de las estrellas fijas, nada podía saberse, excepto que eran los objetos más lejanos.

Se suponía que las estrellas fijas se encontraban todas sobre una única esfera cristalina, ubicada inmediatamente después de la esfera de Saturno, el más lejano de los planetas. Aunque el espesor de las esferas cristalinas no podía medirse, ni tampoco estimarse razonablemente, se creía que no debía de ser muy grande, en todo caso, no mayor que las distancias entre los planetas. Por consiguiente, las estrellas fijas debían encontrarse a una distancia de la Tierra poco mayor que la de Saturno, donde las diferencias entre las distancias de las distintas estrellas no podían ser mayores que el espesor de la esfera cristalina que las contenía. Se seguía de estos supuestos que todas las estrellas se encontraban aproximadamente a la misma distancia de la Tierra y que dicha distancia era semejante en orden de magnitud a la de Saturno, o poco mayor.

Las estrellas fijas se clasificaban según su luminosidad en seis magnitudes que iban desde las de primera magnitud, las más brillantes, como Sirio, hasta las de sexta magnitud, las menos brillantes (la tradición atribuye esta clasificación a Hiparco de Nicea, aunque no se sabe con certeza su origen). Las causas de las diferencias de luminosidad no eran determinables por observación alguna. No obstante, de acuerdo con los anteriores presupuestos, no podían deberse a las diferencias en las distancias, ya que todas estaban sobre una misma esfera, ni a las de composición, ya que todas estaban hechas de éter. Había diversas explicaciones posibles de la luminosidad diferencial tan marcada: esta podía deberse a las diferencias de tamaño, o bien a la diferente luminosidad intrínseca de cada una. También había otras hipótesis posibles, todas especulativas, como, por

2 En su obra *Sobre los tamaños y las distancias del Sol y la Luna*, Aristarco de Samos concluyó que el radio de la Luna era de 0,292 radios terrestres (su valor actual es 0,273) y que su distancia a la Tierra era de 67 radios terrestres (su valor actual es de 60). También dedujo que el radio del Sol era de 5,55 radios terrestres (el valor actual es de 109) y que su distancia a la Tierra era de 1275 radios terrestres (el valor actual es de 23 518).

ejemplo, que las más luminosas eran más densas que las menos luminosas, o bien que la luz de estas últimas era parcialmente bloqueada o absorbida por alguna forma de éter opaco interpuesto. Ninguna de estas hipótesis podía contrastarse de manera independiente, por lo que el problema de las diferencias de luminosidad permaneció sin resolver. La esfera de las estrellas fijas, si tenía un espesor finito, solo era capaz de contener un número finito y bastante reducido de estrellas. El número exacto no podía conocerse, porque ello implicaría el examen de todo el cielo nocturno en todas las latitudes de la Tierra, algo que en la práctica era imposible en el mundo antiguo. No obstante, se admitía, extrapolando las observaciones realizadas desde una determinada latitud, que el número de estrellas fijas debía ser del orden de los miles (el catálogo de Ptolomeo había registrado 1022 estrellas fijas visibles desde Alejandría).

Más allá de todas estas incertidumbres, había un supuesto básico implícito y nunca cuestionado. Este era la creencia de que *todos* los objetos que existen en el cielo son los que se observan a simple vista. Consecuentemente, se admitían solo siete planetas y algunos miles de estrellas, lo cual reforzaba la hipótesis de la finitud del universo. Los descubrimientos telescópicos de Galileo refutaron este presupuesto y sembraron dudas sobre el tamaño, e incluso la finitud, del universo. También entraron en crisis otros supuestos acerca de la composición de los cielos.

3. Los descubrimientos de Galileo

Galileo comenzó la observación de los cielos mediante su recién construido telescopio a fines de noviembre de 1609. Era un telescopio refractor de aproximadamente 20 aumentos, pero fue suficiente para descubrir una cantidad de nuevos tipos de objetos celestes que hicieron de Galileo una celebridad mundial. Se apresuró a publicar sus descubrimientos en un breve opúsculo de solo 29 páginas, *Sidereus nuncius* (en adelante SN), editado en Venecia el 13 de marzo 1610 (al día siguiente de terminado, ya que el prólogo está fechado el 12 de marzo).³ El descubrimiento de los cuatro satélites de Júpiter causó sensación, precisamente, porque refutaba el antiguo presupuesto de que los objetos celestes que existen son los que se observan

3 La cronología de los descubrimientos de Galileo ha sido relatada con detalle en diversas obras, como las de Drake (1978) y Heilbron (2010).

a simple vista. Si hay cuatro objetos celestes no visibles alrededor de un planeta visible, en principio, podría haber muchos otros más. Galileo vaciló acerca de cómo categorizar esos nuevos objetos. En una célebre carta a Antonio de Médici, del 7 de enero de 1610, afirmó que había visto “a Júpiter acompañado por tres estrellas fijas totalmente invisibles por su pequeñez” (SN, pp. 17-18). Después revisó esta descripción, ya que si esos cuatro cuerpos orbitaban alrededor de Júpiter modificando sus distancias relativas, no debían considerarse como estrellas fijas, sino como estrellas errantes, es decir planetas. Así los llamó genéricamente en *Sidereus nuncius* (pp. 37, 67), aunque luego los bautizó como “astros mediceos” (*medicea sidera*) en la propia portada de su obra. Con todo, se trataba de planetas de una especie diferente de los concebidos en la antigüedad, ya que no orbitaban alrededor de la Tierra, sino alrededor de una estrella errante. Eran, en este respecto, semejantes a la Luna de la astronomía copernicana, que orbitaba una Tierra móvil. Kepler, poco después, los recategorizaría como *satélites*, nombre que permanecerá hasta nuestros días. La nueva categoría terminaba, de manera definitiva, con la dicotomía antigua entre estrellas fijas y errantes. La Luna y los planetas mediceos quedaban desde entonces clasificados como satélites, ya no como planetas.

Galileo sostuvo en la carta citada que la causa de la invisibilidad de los astros mediceos era su pequeño tamaño. Esta parecía la única explicación plausible, ya que la distancia de estos cuerpos respecto de la Tierra debía ser aproximadamente la misma que la de Júpiter, un planeta claramente visible, dado que orbitaban en torno a dicho planeta. La explicación mediante la menor luminosidad intrínseca también quedaba descartada, ya que Galileo conjeturó que los planetas eran cuerpos opacos que brillaban reflejando la luz solar y, por tanto, presentaban un aspecto muy diferente del de las estrellas fijas cuando se observaban mediante el telescopio. Los planetas mostraban una figura redonda perfectamente delineada, mientras que las estrellas eran “como fulgores cuyos rayos vibran en torno y centellean notablemente” (SN, p. 62).

El descubrimiento más perturbador para los presupuestos de la astronomía antigua, y de la cosmología aristotélica que la sustentaba, fue el de la existencia de estrellas no visibles a simple vista, pero claramente discernibles con el telescopio. Galileo lo relató de esta manera:

Ahora bien, por debajo de las estrellas de sexta magnitud, verás, cosa difícil de creer, una numerosa grey de otras estrellas que escapan a la

visión natural; más de hecho que las que contienen los otros seis grados de magnitudes. Las mayores de ellas, que podemos denominar de séptima magnitud o de la primera magnitud de las invisibles, se ven gracias al anteojo mayores y más claras que las de segunda magnitud observadas a simple vista. A fin de que tengas alguna que otra prueba de su increíble abundancia, he tenido a bien adjuntar dos constelaciones con las que te harás una idea de todas las demás. (SN, p. 63)

Galileo relató, entonces, que en la constelación de Orión, dentro de una distancia angular de no más de dos grados, se observaban más de quinientas estrellas invisibles, mientras que en la constelación de las Pléyades, dentro de una distancia angular de solo medio grado, se observaban más de cuarenta (SN, p. 65).

En *Sidereus nuncius*, Galileo no mencionó otras observaciones de estrellas invisibles en otras constelaciones, pero es casi seguro que las realizó. Con todo, la evidencia que había obtenido confirmaba, más allá de toda duda razonable, que en el cielo existían muchas más estrellas invisibles que estrellas visibles. Esa evidencia, además de la de los satélites de Júpiter, refutaba de manera concluyente el antiguo supuesto según el cual los únicos objetos celestes que existían eran los que se observaban a simple vista.

El descubrimiento de estrellas invisibles tenía amplias implicaciones astronómicas y cosmológicas. En primer lugar, obligaba a aumentar en al menos un orden de magnitud el número de las estrellas fijas respecto del número admitido desde la Antigüedad: de los miles a las decenas de miles, pero posiblemente mucho más. En segundo lugar, planteaba la pregunta acerca de por qué hay estrellas que no eran visibles a simple vista, pero resultaban claramente observables mediante el telescopio. En tercer lugar, suscitaba la pregunta acerca de cuántas estrellas invisibles existían y acerca cómo podían acomodarse estas dentro de una única esfera en un universo finito. Consideremos estas dos últimas cuestiones por separado.

Después de haber comunicado su descubrimiento, Galileo no se detuvo a explicar la causa de la invisibilidad de las numerosas estrellas que había observado a través del telescopio. Como puede comprobarse en muchas de sus obras, tenía una concepción empirista del conocimiento astronómico y era muy prudente, cuando no desconfiado, respecto de especulaciones cosmológicas tales como la del carácter finito o infinito del universo. No obstante, proporcionó una clave interpretativa cuando

explicó la composición de la Vía Láctea y de las nebulosas. El telescopio, y Galileo se enorgullece de ello, permitió resolver de una vez y para siempre, dirimiendo, “con la certeza que dan los ojos” (SN, p. 65), las disputas seculares acerca de la naturaleza de la Vía Láctea: esta “no es otra cosa que un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en un montón” (SN, p. 66). Las nebulosas, por su parte, presentaban la misma composición:

Además [...] las estrellas que hasta este día han denominado todos los astrónomos nebulosas son cúmulos de estrellitas admirablemente esparcidas; por la mezcla de cuyos rayos, *al escapar del alcance de nuestra vista por su pequeñez o gran alejamiento de nosotros*, surge aquella blancura que hasta ahora se había tomado por una parte más densa del cielo capaz de reflejar los rayos del Sol o de las estrellas. (SN, p. 66; énfasis mío)

Galileo no sostuvo que las nebulosas podían ser otras galaxias, pero la analogía con la composición de la Vía Láctea sugería indudablemente esa hipótesis (que no sería confirmada hasta 1930). En cualquier caso, Galileo dejó en claro que había grandes conglomerados de estrellas que a simple vista se veían como una sola estrella pero que en realidad consistían en un agregado de múltiples estrellas que brillaban conjuntamente. La causa de esa apariencia, conjeturó, podía ser tanto su gran distancia como su pequeño tamaño. Galileo no se pronunció por ninguna de las dos hipótesis, pero es evidente que no son excluyentes, por lo que la invisibilidad de una estrella podría deberse tanto a su alejamiento de la Tierra como a su menor tamaño, comparada con el Sol. Las dos hipótesis tampoco son exhaustivas, porque ambas podrían ser falsas, siendo la causa de la invisibilidad la menor luminosidad intrínseca de algunas estrellas respecto de otras. También hay otras explicaciones posibles, como la absorción parcial de la luz por alguna forma de éter opaco interpuesto entre las estrellas y la Tierra.

Con todo, un hecho que Galileo descubrió con el telescopio proporcionaba un cierto grado de apoyo a la hipótesis de que las estrellas fijas están mucho más alejadas que los planetas. Advirtió que el telescopio aumentaba notablemente el tamaño de la Luna y los planetas, pero no el de las estrellas. Con el telescopio las estrellas se veían más luminosas, pero no más grandes. Según sus palabras:



[...] dicho aumento parece ser mucho menor en las estrellas, de manera que el anteojo que consigue multiplicar los otros objetos en proporción céntuple [...], se diría que apenas aumenta las estrellas el cuádruplo o el quíntuplo. (SN, p. 61)

Este hecho se explica fácilmente suponiendo que las estrellas están mucho más alejadas de la Tierra que la Luna y los demás planetas y que las estrellas invisibles están, a su vez, mucho más lejos que las visibles. El argumento, por cierto, no es demostrativo, sino meramente inductivo. Por otra parte, no es la única explicación posible, ya que también se puede apelar a las diferencias de tamaño y de luminosidad intrínseca entre las estrellas visibles y las invisibles. No obstante, la hipótesis de la distancia es plausible a la luz del sistema copernicano, ya que este requiere que las estrellas se encuentren a una distancia mucho mayor que los planetas respecto de la Tierra. Esta era la hipótesis más empleada por los copernicanos, todavía muy pocos hacia 1610, para explicar la ausencia observaciones del ángulo de paralaje anual de las estrellas visibles. El sistema copernicano predecía la existencia de un ángulo de paralaje estelar máximo, cuando una estrella se observaba desde dos puntos opuestos de la órbita terrestre. Dicho ángulo resultaría muy pequeño, por debajo de los límites de la sensibilidad de los instrumentos disponibles, si las estrellas se encontraran muy distantes. Esta hipótesis era claramente *ad hoc* en ese momento, ya que había sido introducida en el sistema copernicano con la única finalidad de evitar la refutación de la hipótesis del movimiento orbital de la Tierra. No obstante, aunque no era contrastable en la práctica, en principio podía ser confirmada a medida que los instrumentos disponibles permitieran medir ángulos cada vez menores.⁴

El descubrimiento de Galileo de una multitud de estrellas invisibles resultaba altamente perturbador para la concepción tradicional de un universo finito encerrado dentro de los límites de la esfera de las estrellas fijas. Si las estrellas invisibles eran todas (aproximadamente, al menos) del mismo tamaño y la misma luminosidad intrínseca (comparable a la del Sol, por ejemplo), y su invisibilidad se debía solamente a la gran distancia a la que se encontraban, entonces, el universo debía ser mucho mayor de lo que se creía. En principio, el descubrimiento de cualquier número de

4 La historia de la búsqueda y el descubrimiento de la paralaje estelar constituye un capítulo fascinante de la astronomía que se relata con detalle en Hirshfeld (2013).

estrellas invisibles podía acomodarse en un universo finito, ampliando el espesor de la esfera de las estrellas fijas. Sin embargo, si mediante telescopios cada vez más potentes se revelaba un número cada vez mayor de estrellas invisibles, podía conjeturarse razonablemente que el universo era infinito y que el proceso de descubrimiento de nuevas estrellas invisibles no tenía fin. Por cierto, la evidencia no era ni podía ser concluyente, ya que siempre era susceptible de acomodarse en el contexto de un universo finito, existiera o no la esfera de las estrellas fijas. Galileo nunca se pronunció abiertamente sobre las dimensiones del universo, pero su descubrimiento podía considerarse como evidencia confirmatoria de la hipótesis de la infinitud del universo. En efecto, esta hipótesis implicaba que, si el espacio es infinito y está completamente poblado de estrellas, necesariamente debía haber estrellas invisibles. Kepler tuvo clara conciencia de estas implicancias del descubrimiento de Galileo y se propuso refutarlas.

4. La réplica de Kepler

Los descubrimientos telescópicos de Galileo no solo causaron sensación en todo el mundo, sino que también suscitaron dudas, cuestionamientos y actitudes escépticas. La confiabilidad del telescopio resultaba dudosa para muchos y, además, había en ese momento muy pocos instrumentos disponibles para replicar las observaciones. Kepler recibió el 8 de abril de 1610 una copia de *Sidereus nuncius* a través del embajador toscano en Praga, Giuliano de Medici, quien, en una entrevista del 13 de abril, le solicitó que escribiera un comentario. El 19 de abril Kepler le envió a Galileo a través de Giuliano de Medici el manuscrito de su comentario, titulado *Dissertatio cum nuncio sidereo* (en adelante DNS) que poco después, a principios de mayo, fue publicado en Praga (el prólogo está fechado el 3 de mayo), como un opúsculo de 34 páginas. Kepler daba allí su apoyo a todos los descubrimientos telescópicos de Galileo, aunque sin haber podido replicar sus observaciones, dado que no tenía un telescopio adecuado. No obstante, cuestionaba la interpretación de algunas de las observaciones, en particular, la de las estrellas invisibles. En una palabra, Kepler proponía acomodar ese descubrimiento en el contexto de un universo finito dotado de una esfera de las estrellas fijas de muy delgado espesor. El universo de Kepler, si bien era finito, resultaba enorme comparado con el ptolemaico e incluso con el copernicano (aunque minúsculo respecto del tamaño que

actualmente adjudicamos a la Vía Láctea).⁵ Kepler calculó que la esfera de las estrellas fijas se encontraba a 34 177 066 radios terrestres, por lo cual debía existir una enorme distancia entre la esfera de Saturno y la de las fijas, y, en consecuencia, un espacio vacío de todo objeto celeste, aunque, supuestamente, lleno de éter transparente.⁶

Kepler, al comienzo mismo de su opúsculo, hizo explícita su preocupación por las posibles implicaciones del descubrimiento de los cuatro nuevos planetas que orbitan Júpiter, no visibles para el ojo desnudo:

[...] de modo que si hasta ahora se habían ocultado allí cuatro planetas ¿qué nos habría de impedir creer que tras este exordio se habrían de detectar allí a continuación muchísimos otros? Por tanto, o el mundo este es infinito [...], o hay otros infinitos mundos (o Tierras, como dice Bruno) semejantes a este nuestro. (DSN, p. 102)

El mismo argumento se aplica, *a fortiori*, a las estrellas fijas, dado que si hay una “innumerable multitud” (DSN, p. 134) de estrellas invisibles, ¿por qué no podrían existir otras infinitas todavía no descubiertas? El principal argumento de Kepler contra la posibilidad de que existan infinitas estrellas, todas ellas semejantes al Sol, es nada menos que la conocida paradoja de Olbers, que ya Thomas Digges había advertido en 1576.⁷ Si hubiera un número infinito de estrellas en el cielo, todas ellas brillando simultáneamente, su luminosidad conjunta debería igualar o superar a la del Sol y, por tanto, el cielo nocturno no podría ser oscuro. Esto ocurriría aun cuando no hubiera infinitas estrellas. En sus palabras, un tanto cargadas de retórica:

5 En *Las hipótesis de los planetas*, Ptolomeo había estimado la distancia a la esfera de las estrellas fijas en 20 000 radios terrestres (1987, p. 85). En el universo copernicano esa distancia se estimaba, sin mucha precisión, en aproximadamente 1 500 000 radios terrestres. Una galaxia típica, como la nuestra, tiene un radio de 50 000 años luz.

6 Sobre las estimaciones de las distancias a la esfera de las fijas véase Van Helden (1985), pp. 62-63.

7 La historia de la paradoja de Olbers y de todas las soluciones propuestas se expone en el notable libro de Harrison (1987).

[...] si tomásemos solo mil de las fijas, no siendo ellas mayor de un minuto [...] y si las juntásemos todas en una superficie redonda, igualarían (y aún superarían) el diámetro del Sol. [...] Si esto es cierto, y si dichos Soles son del tamaño de nuestro Sol, ¿por qué todos esos Soles no superan en resplandor a este Sol nuestro? ¿Por qué todos ellos transmiten una luz tan débil a los lugares más abiertos [...]? (DSN, p. 135)

El argumento de Kepler es extremadamente fuerte porque, aunque cada estrella fuera invisible, la luz que emiten conjuntamente todas ellas debería ser visible (del mismo modo que un fotón individual no es visible, pero un agregado finito de fotones nos puede deslumbrar). El alejamiento de las estrellas invisibles no podría evitar la consecuencia de que el cielo nocturno brillara como la superficie del Sol, ya que si bien la luminosidad de cada una disminuye con el cuadrado de la distancia, esta nunca es nula, por tanto, la cantidad de luz emitida por infinitas estrellas debería crecer sin límite. Kepler descartó enseguida la solución a la paradoja sobre la base de la hipótesis de la distancia: “¿Me dices que se hallan alejadísimas de nosotros? De nada sirve, pues cuanto más lejos están tanto mayor que el diámetro del Sol es el de cada una de ellas” (DSN, p. 136). En efecto, si una estrella invisible se ve con el telescopio como una visible, cuanto más lejos se encuentre mayor deberá ser su tamaño (suponiendo que su luminosidad intrínseca sea constante). Luego, descartó otra posible explicación: “¿Qué tal vez el éter interpuesto las oscurece? Ni hablar, pues las vemos con sus centelleos y con sus diversas formas y colores, lo que no ocurriría si la densidad del éter representase algún obstáculo” (DSN, p. 136). La interposición de alguna materia opaca que absorbiera la luz estelar fue posteriormente una explicación bastante frecuente, que intentaba resolver la paradoja de Olbers, pero también fracasa porque dicha materia debería calentarse hasta radiar tanta luz como la que absorbiera.

La solución de Kepler a este enigma cosmológico, apenas esbozada en *Dissertatio*, es que debía existir un número finito de estrellas fijas y que estas tenían que ser mucho más pequeñas (y, por tanto, mucho menos luminosas) que el Sol. Esta era, en su opinión, la única manera de explicar la oscuridad del cielo nocturno: el cielo es oscuro porque no hay suficientes estrellas para cubrirlo. Para apoyar la hipótesis del tamaño diminuto de las estrellas invisibles, Kepler recurrió a una analogía con los satélites de Júpiter: “Ahora bien, Galileo, de tus observaciones se desprende que estos cuatro son diminutos, no alejándose nunca de Júpiter más de 14 minutos,

de manera que toda la órbita del planeta externo es menor que el disco del Sol o de la Luna” (DSN, p. 142). Los satélites de Júpiter, efectivamente, son invisibles a causa de su pequeño tamaño comparado con el tamaño del planeta alrededor del cual orbitan. De allí, sin embargo, no se sigue que lo mismo ocurra con las estrellas fijas invisibles. No obstante, el argumento, proporciona cierto apoyo inductivo a la hipótesis de Kepler. Por otra parte, la imposibilidad de que existan infinitas estrellas se sigue inmediatamente de la finitud de la esfera de las fijas, que solo puede contener un número finito de estrellas de tamaño no nulo (asumiendo que el tamaño no puede ser infinitesimalmente pequeño).

La hipótesis del tamaño de Kepler era coherente con su creencia en que la esfera de las estrellas fijas tenía un espesor sumamente delgado. Como copernicano, Kepler, lo mismo que Galileo, debía admitir que la esfera de las estrellas fijas estaba muy alejada de la esfera de Saturno (de otro modo, la ausencia de paralaje estelar anual refutaría la hipótesis del movimiento orbital de la Tierra). Pero, a la vez, creía que la esfera de las estrellas fijas era muy delgada, lo cual explicaba la apariencia de una gran bóveda celeste vacía de estrellas que envolvía al Sistema Solar. En el segundo volumen de *Epitomes astronomiae copernicanae*, publicado en 1620, Kepler proporcionó el resultado de sus complicados cálculos sobre el tamaño de la esfera de las fijas, basados en diversos supuestos incontrastables acerca de la cantidad de materia contenida en el universo.⁸ Concluyó que la esfera de Saturno se encontraba a una distancia de 2000 diámetros solares del Sol, mientras que la esfera de las fijas estaba a una distancia de 4 000 000 de diámetros solares. El cálculo del espesor de esta esfera resultó un número sorprendentemente pequeño: solo 6/1000 del radio solar, lo que equivalía aproximadamente a 2000 millas alemanas (*Epitomes*, p. 288). Kepler calificó a esta delgada esfera, usando una analogía muy adecuada, como “una piel” que envuelve al universo.

De estos cálculos, se seguían consecuencias fundamentales para la cosmología. Entre otras: a) el espesor de la esfera de las fijas es despreciable respecto de su distancia a la Tierra (la relación es 1/1333 333 333). b) Todas las estrellas fijas, visibles o invisibles, están casi a la misma distancia de la Tierra. c) La distancia que separa a las estrellas entre sí, sobre un mismo eje radial respecto de la Tierra (o del Sol), es muy pequeña. d) Todas las

8 Véase Martens (2000), que señala los supuestos aristotélicos de Kepler.

estrellas fijas son sumamente pequeñas comparadas con el Sol (su radio debe ser necesariamente menor que $6/1000$ del radio solar). e) Si las estrellas invisibles son menores que las visibles, su tamaño debe ser extremadamente pequeño (suponiendo que la luminosidad de todas las invisibles sea la misma). f) Dada su gran distancia y pequeño tamaño, la luminosidad intrínseca de las estrellas invisibles debe ser enorme, mucho mayor que la del Sol. No había en el sistema de Kepler otra manera de acomodar la existencia de muchos miles de estrellas invisibles en la delgadísima esfera que las contenía. Aunque el número de estrellas fijas fuera del orden de las decenas de miles, como se desprendía de las observaciones de Galileo, dado que las estrellas invisibles eran muy pequeñas, no había un número suficiente de ellas como para cubrir todo el cielo.

5. Balance epistemológico de la controversia

Ni Kepler ni Galileo dispusieron durante su vida de ninguna evidencia observacional que permitiera determinar la distancia a la que se encontraban las estrellas, visibles o invisibles, ni, mucho menos, su tamaño o su luminosidad intrínseca. La medición de la paralaje anual de al menos una estrella visible (que Galileo intentó sin éxito en varias ocasiones) no habría zanjado la polémica, porque habría dejado indeterminada la distancia de las estrellas invisibles. La medición del ángulo de paralaje se logró recién en 1838, cuando el orden de magnitud de las distancias estelares ya se estimaba con bastante aproximación (a partir de fenómenos astronómicos como el de la aberración de la luz estelar y otros). La medición de la paralaje estelar solo imponía una distancia mínima a las estrellas invisibles. No obstante, era razonable suponer que, si no se observaba paralaje anual en ninguna estrella invisible, era porque estas se hallaban más alejadas que las estrellas visibles, independientemente de cuál fuera su tamaño. Si se encontraran a igual o menor distancia que las estrellas visibles cuya paralaje se podía medir, el telescopio (junto con el micrómetro, el instrumento que permitió esa medición) debería revelar también la paralaje de las estrellas invisibles. Pero, dado que en tiempos de Galileo y Kepler, ninguna paralaje era medible, este argumento no estaba disponible, de modo que no había manera de estimar ni siquiera la distancia mínima a la que se encontraban las estrellas invisibles.

En 1610, cualquier número finito de estrellas invisibles podía acomodarse, sobre la base de la hipótesis de la distancia, manteniendo fijo el tamaño de las estrellas, pero aumentando el espesor de la esfera de las fijas. Igualmente, cualquier número finito de estrellas invisibles podía acomodarse, sobre la base de la hipótesis del tamaño, manteniendo fijo el espesor de la esfera de las fijas, pero disminuyendo sucesivamente el tamaño de las estrellas invisibles. En cualquiera de los dos casos, toda la evidencia disponible sobre las estrellas invisibles se podía acomodar en el marco de un universo finito. En verdad, ninguna evidencia astronómica puede refutar la hipótesis de que el universo es finito ni, por consiguiente, verificar la hipótesis de que el universo es infinito. Cualquier estrella invisible que se observe mediante cualquier telescopio necesariamente debe estar a una distancia finita (un punto sobre el que Kepler insistió con toda razón). La hipótesis de la finitud del universo es estrictamente *irrefutable*, por lo que cualquiera fuera la distancia a la que se encontraran las estrellas invisibles, nada se seguiría de allí acerca de la posible infinitud del universo.

Había, por lo demás, otras hipótesis posibles que podían explicar la invisibilidad de las estrellas, por ejemplo, que tienen luminosidades intrínsecas cada vez menores, las cuales son independientes de la distancia y del tamaño. Las hipótesis en disputa que menciona Galileo, la de la distancia y la del tamaño, no son genuinamente rivales, ya que no son incompatibles entre sí. Las estrellas invisibles podían serlo porque eran a la vez más lejanas y más pequeñas, o bien porque eran intrínsecamente menos luminosas y, además, estaban oscurecidas por materia opaca, o bien por cualquier combinación de dos, tres o cuatro de las hipótesis explicativas: distancia, tamaño, luminosidad y materia opaca. Todas estas hipótesis son *conjuntamente compatibles*, pero ni Kepler ni Galileo parecen haberlo advertido. Tampoco dejaron lugar para otras hipótesis desconocidas, ya que las cuatro mencionadas *no son exhaustivas* de todas las posibilidades.

Es indudable que tanto Kepler como Galileo disponían de evidencia que proporcionaba algún grado de apoyo a sus respectivas hipótesis, pero ese apoyo era débil. En particular, la evidencia no permitía refutar ni la hipótesis de la distancia ni la del tamaño de las estrellas invisibles. Además, comparativamente, ninguna de las dos hipótesis se encontraba mejor confirmada que la otra. La observación telescópica de estrellas invisibles a simple vista se podía explicar igualmente bien suponiendo que eran mucho más pequeñas que el Sol o suponiendo que estaban mucho más lejos

que las estrellas visibles. Por consiguiente, la disputa entre Galileo y Kepler era en la práctica imposible de zanjar. La única manera de hacerlo habría sido obtener evidencia (independiente de la observación de estrellas invisibles) acerca de la distancia a la que se encontraban las estrellas fijas.

Las dos hipótesis en disputa estaban *subdeterminadas* por la evidencia disponible en ese momento. Se dice que dos o más hipótesis o teorías están subdeterminadas por la evidencia disponible cuando todas son compatibles con dicha evidencia (dentro del margen del error observacional o experimental). Cuando dichas hipótesis o teorías son empíricamente equivalentes, es decir, cuando implican las mismas consecuencias observacionales, la subdeterminación entre ellas no es transitoria sino permanente porque, por principio, no hay ninguna evidencia posible que pudiera confirmar a una de ellas y refutar (o disconfirmar) a alguna de las otras.⁹ Un ejemplo de este tipo de subdeterminación se encuentra ya en la astronomía ptolemaica: el modelo epicíclico (donde el deferente está centrado en la Tierra) y el modelo excéntrico (donde el centro de la órbita no coincide con la posición de la Tierra) del movimiento del Sol son empíricamente equivalentes, de modo que ninguna observación sería capaz de discriminar entre ellos.¹⁰ La subdeterminación de las hipótesis de Galileo y Kepler era del tipo meramente transitorio. No se trataba de hipótesis empíricamente equivalentes, de modo que, en principio, era posible encontrar evidencias que confirmaran solo a una de ellas. En ese momento, sin embargo, no se disponía de ninguna evidencia clara a favor de una o la otra.

En casos de subdeterminación suele apelarse a otras virtudes epistémicas para favorecer la aceptación de alguna de las hipótesis que se consideraran rivales. Si las hipótesis en cuestión son empíricamente equivalentes,

9 Para un estudio detallado de las dos formas de subdeterminación véase Bonk (2008), especialmente el capítulo 2.

10 En la astronomía ptolemaica, el radio de los epiciclos y la excentricidad de las órbitas son parámetros libres cuyo valor puede fijarse a voluntad para acomodar los movimientos planetarios observados. Lo mismo vale para las velocidades de los epiciclos. Si el radio del epiciclo es igual a la excentricidad de la órbita, y su velocidad se fija de modo apropiado, ambos modelos son geométricamente equivalentes, ya que producen la misma trayectoria, un hecho ya advertido por Apolonio de Pérgamo. Véase la prueba de la equivalencia geométrica en Evans (1998), p. 213 y Linton (2004), pp. 45-46.

los criterios no factuales, como la *simplicidad*, son los únicos que pueden emplearse. Aparentemente, Ptolomeo se inclinó por admitir el modelo excéntrico del movimiento del Sol en razón de su mayor simplicidad geométrica y física, ya que implicaba aceptar un solo círculo, contra los dos del modelo epicíclico (desde el punto de vista físico, requería una sola esfera cristalina en vez de dos). En otros aspectos, sin embargo, no parece haber ventajas de simplicidad entre los dos modelos, por ejemplo, en lo relativo a la facilidad de cálculo.¹¹ En el caso de las hipótesis de Galileo y Kepler, parece evidente que la simplicidad no favorece particularmente a ninguna de las dos.

La *coherencia* con el conjunto de otras creencias aceptadas también debe considerarse una razón de peso para aceptar una hipótesis determinada. La hipótesis de la distancia de Galileo era coherente con su compromiso copernicano, que, como ya se indicó, implicaba aumentar notablemente el tamaño del universo. Por otra parte, la hipótesis del tamaño de Kepler era coherente con sus creencias acerca de la existencia de una esfera de las estrellas fijas de muy delgado espesor, que solo podía contener un número grande de estrellas invisibles suponiendo que estas eran muy pequeñas. Tanto Galileo como Kepler fueron consecuentes en este respecto y mantuvieron la coherencia de sus respectivos sistemas de creencias.

Retrospectivamente, podemos decir que Galileo acertó y Kepler estaba equivocado: la cusa de la invisibilidad de las estrellas no es su pequeño tamaño, sino su gran distancia. Pero eso no era en absoluto evidente en ese momento. En particular, no podemos afirmar que Galileo tenía mejores razones para aceptar la hipótesis de la distancia que las que Kepler tenía para aceptar la hipótesis del tamaño. Tampoco había razones no fácticas evidentes a favor de una o la otra. En esa situación, la actitud más racional era la suspensión del juicio, como debería hacerse sobre cualquier hipótesis físicamente posible para la cual no se dispone de suficiente evidencia confirmatoria (como ocurre, por ejemplo, con la de la existencia de vida extraterrestre). Con todo, cabe preguntarse, ¿podría progresar la ciencia si se generalizara esa actitud escéptica?

11 Véase una análisis de esta cuestión debatida en Evans (1998), pp. 216-219.

Referencias

- Aristarco de Samos (1913). *On the Sizes and Distances of the Sun and Moon*. Edición y traducción de Th. Heath. Oxford: Clarendon Press.
- Aristóteles (1965). *De caelo*. Edición y traducción de P. Moraux. Paris: Les Belles Lettres.
- Bonk, T. (2008). *Underdetermination: An Essay on Evidence and the Limits of the Natural Knowledge*. Dordrecht: Springer.
- Digges, Th. (1576). *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes*. London: Thomas Marsh.
- Drake, S. (1978). *Galileo at Work: His Scientific Biography*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Evans, J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*. New York: Oxford University Press.
- Galileo (1610). *Sidereus nuncius*. Venecia: Tomas Baglione. Reimpreso en A. Favaro (ed.) *Le opere di Galileo Galilei*. Vol. III, I (pp. 54-96). Firenze: Barberá, 1907. Traducción española de C. Solís Santos en: Galileo-Kepler, *El mensaje y el mensajero sideral* (pp. 92-152). Madrid: Alianza, 1984.
- Harrison, E. (1987). *Darkness at Night: A Riddle of the Universe*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Heilbron, J. L. (2010). *Galileo*. New York: Oxford University Press.
- Hirshfeld, A. (2013). *Parallax: The Race to Measure the Cosmos*. Second Edition. New York: Dover.
- Kepler, J. (1610). *Dissertatio cum sidereo nuncio*. Praga: Daniel Sedesanus. Reimpreso en: M. Caspar & F. Hammer (eds.) *Johannes Kepler Gesammelte Werke*. Band IV (pp. 284-311). München: Beck, 1931.



Traducción española de C. Solís Santos en: Galileo-Kepler, *El mensaje y el mensajero sideral* (pp. 92-152). Madrid: Alianza, 1984.

Kepler, J. (1620). *Epitomes astronomiae copernicanae. Liber quartus. Doctrinae theoriae primus*. Linz: Gottfried Tambach. Reimpreso en: M. Caspar (ed.) *Johannes Kepler Gesammelte Werke*. Band VII. München: Beck, 1991.

Linton, C. (2004). *From Eudoxus to Einstein: A History of Mathematical Astronomy*. New York: Cambridge University Press.

Martens, R. (2000). *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*. Princeton: Princeton University Press.

Ptolomeo, C. (1987). *Las hipótesis de los planetas*. Madrid: Alianza.

Van Helden, A. (1985). *Measuring the Universe: Cosmic Distances from Aristarchus to Halley*. Chicago: The University of Chicago Press.

