

LA DISPUTA SOBRE EL REALISMO EN LA HISTORIA DE LA ASTRONOMIA

Antonio Diéguez Lucena
Departamento de Filosofía
Universidad de Málaga

Publicado en *Philosophica Malacitana*, 7 (1994): 33-49.

Resumen

En la pugna entre los partidarios de los sistemas geocéntrico y heliocéntrico ocupó un lugar central la vieja cuestión de si los modelos astronómicos debían ser hipótesis para salvar los fenómenos o debían, por el contrario, pretender una representación fiel de la realidad objetiva. Las posiciones de los copernicanos y los ptolemaicos sobre este punto no siempre fueron las mismas. Aún así, el sistema copernicano basó su fuerza no tanto en su simplicidad o en su exactitud como en su intención de ser algo más que un instrumento de cálculo, de ser un sistema cosmológico y físico verdadero. Esta disputa permite explicar algunos aspectos del enfrentamiento entre Galileo y la Iglesia Católica.

Abstract

The old question whether astronomical models should be hypotheses to save the phenomena or should be, on the contrary, a true representation of objective reality occupies a central place in the conflict between the followers of the geocentric and the heliocentric systems. The position of the Copernicans and the Ptolemaics on this subject were not always the same. Nevertheless, the Copernican system bases its strength not so much in its simplicity or in its exactitude as in its intention to be something more than an instrument of calculation, that is, in its intention to be a true physical and cosmological system. This debate allows us to explain some aspects of the confrontation between Galileo and the Catholic Church.

La discusión filosófica sobre los objetivos que deben perseguir las teorías científicas es casi tan antigua como la propia ciencia. Ya desde sus primeros pasos, en una disciplina como la astronomía, que alcanzó muy temprano el rango de científica, las circunstancias ligadas a las posibles interpretaciones de las teorías, así como los problemas de un acoplamiento a menudo difícil entre los modelos teóricos y los datos empíricos hicieron patentes las discrepancias sobre dichos objetivos, y, en especial, sobre la capacidad de las teorías para acceder a la realidad. La relación entre el mundo y nuestras teorías ha sido y sigue siendo un problema epistemológico fundamental; un viejo problema que reaparece con fuerza cada vez que la ciencia se convulsiona con la recepción de una nueva gran teoría.

Los términos de la polémica apenas han variado en lo esencial. Se trata de decidir si las teorías científicas han de aspirar a la verdad, aunque sea aproximada, sobre "lo que está ahí fuera", sobre una realidad independiente y subsistente, que posee una estructura propia susceptible de ser conocida tal y como es, al menos en principio, o si, por el contrario, deben limitarse a "salvar las apariencias", es decir, a dar cuenta de los fenómenos de modo que éstos encajen en lo que es previsible según la teoría, pero permaneciendo al margen de cualquier compromiso ontológico acerca de lo que pueda haber más allá de lo observable. Decir qué hay y por qué lo hay o calcular sus manifestaciones: esas fueron desde el principio las dos alternativas básicas. El propósito del presente trabajo es aclarar el modo en que se planteó esta cuestión en la historia de la astronomía y poner de relieve la importancia que tuvo en la aceptación o la condena de la teoría copernicana.

I

Pierre Duhem fue quien más radicalmente deslindó ambas alternativas en el seno de la astronomía.¹ Tomando como punto de referencia un texto de Simplicio (siglo VI d. C.), que a su vez es una cita de otro texto de Gémino (siglo I a. C.), Duhem distinguió en la antigua astronomía entre dos tradiciones diferentes, una de raíz platónica y otra de raíz aristotélica. La primera partía de la convicción metafísica pitagórico-platónica de que los cuerpos celestes se mueven según movimientos circulares uniformes y regulares. La misión del astrónomo sería elaborar hipótesis matemáticas (construcciones geométricas especialmente) que respetaran ese principio y permitieran encajar las posiciones aparentes de dichos cuerpos. Los modelos cosmológicos de esferas homocéntricas de Eudoxo y Calipo (siglo IV a. C.) fueron las primeras concreciones de este programa. No pretendían que el universo conocido estuviera formado realmente por esas esferas, bastaba con que su movimiento fuera del tipo metafísicamente permitido y con que las posiciones relativas de los cuerpos celestes engastados en ellas concordaran en un grado suficiente con las posiciones

1. P. Duhem, *ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ. Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*. Paris: J. Vrin, 1990, (1ª ed. 1908).

observadas. El modelo era una herramienta matemática, no una representación de la realidad física.²

Para la segunda tradición, sin embargo, este método matemático era insuficiente y necesitaba ser completado con el método físico. En efecto, cuando de lo que se trata es de encontrar hipótesis empíricamente adecuadas para ciertos fenómenos, hipótesis que sirvan para calcularlos y predecirlos sin más, el elenco de posibilidades es muy variado, por no decir infinito. Los movimientos aparentes de los astros, por ejemplo, se pueden salvar mediante diversas combinaciones de movimientos circulares y uniformes. Así, como mostraría en el siglo II a. C. Hiparco de Nicea, el genial descubridor de la precesión de los equinoccios, la marcha del Sol se podía representar indistintamente con un círculo excéntrico con respecto a la Tierra o con un epiciclo y un deferente –esto es, con un círculo pequeño (epiciclo) girando en torno a un centro geométrico que a su vez gira describiendo otro círculo mayor en torno a la Tierra (deferente). Ambos procedimientos, por tanto, resultaban equivalentes. Y Heráclides de Ponto (siglo IV a. C.) había sostenido que los movimientos de Venus y Mercurio podían ser trazados también correctamente si, en lugar de considerarlos girando en torno a la Tierra, se suponía que ambos giraban alrededor del Sol y éste alrededor de la Tierra.

Hubo, pues, quienes vieron necesario utilizar algún criterio para seleccionar las hipótesis, y qué mejor criterio que la propia realidad de las cosas. Una hipótesis matemática capaz de salvar los movimientos aparentes de los cuerpos celestes no debería ser aceptada en atención a ese mérito sólo. Los cuerpos celestes tendrían además que poseer las propiedades, y moverse realmente según los mecanismos, que la hipótesis postulaba. Calcular correctamente la posición de un planeta sería sólo una parte de la tarea del astrónomo, la otra consistiría en averiguar los procesos físicos que determinan esa posición y que sirven para explicar por qué el planeta está en ella. Ya la física de Aristóteles había establecido que el único movimiento natural de los cuerpos celestes era la rotación uniforme en torno al centro del universo, como se afirmaba en el modelo de las esferas. Toda la doctrina aristotélica del movimiento, incluido el de los astros, iba encaminada a proporcionar una explicación del mismo basándose en la naturaleza de las cosas. Por ello, para Aristóteles las esferas de las que hablaban Eudoxo y Calipo, que portan en su ecuador a los cuerpos celestes, eran reales y no meras ficciones geométricas. A diferencia de ambos predecesores, Aristóteles "andaba detrás de una cosmología sistemática y no de una astronomía precisa".³ Eso le llevó a

2. C. f. P. Duhem, *Le Système du Monde*, 10 vols. (1913-1959), Paris: Herman, 1974, vol. I, p. 126., y S. Sambursky, *El mundo físico de los griegos*, (trad. M. J. Pascual Pueyo), Madrid: Alianza, 1990, pp. 83-84. N. R. Hanson corrobora esta opinión sobre Eudoxo en el detallado análisis que hace de su modelo de esferas. "El esquema de Eudoxo –afirma– no es *sistemático* en absoluto, [...]. Puede tratar los movimientos de los planetas uno cada vez, pero nunca todos juntos. Esto no constituye ni un sistema cosmológico ni un sistema astronómico siquiera. Esa maquinaria se considera como un producto imaginario que *puede* dar cuenta de los movimientos de los planetas, pero que no permite una representación cosmológica integrada de todos los cuerpos celestes a la vez ni de sus relaciones espaciales compuestas con la tierra. Los cálculos de Eudoxo relativos a un planeta tampoco dependen ni están conectados con los relativos a cualquier otro cuerpo celeste. El esquema en su conjunto no es fundamentalmente más que un expediente calculístico para Eudoxo". Hanson, *Constelaciones y conjeturas*, (trad. Carlos Solís), Madrid: Alianza, 1985, p. 62.

3. Hanson, *Op. cit.*, p. 99. Cf. Sambursky, *Op. cit.*, pp. 83-85.

ofrecer un sistema unificado de esferas, aunque hubiera de aumentar su número, y asignarles propiedades materiales.

Pero el modelo de las esferas, en su formulación aristotélica, tuvo que rivalizar pronto con una nueva respuesta al problema platónico, otro modo de salvar las apariencias con movimientos circulares. No se puede situar con exactitud el origen del modelo de los epiciclos. Ptolomeo atribuye su invención a Apolonio de Perge (siglo III a. C.), si bien probablemente es anterior. En cualquier caso, Hiparco fue quien lo perfeccionó y difundió. Dicho modelo tropezó con el peso de la opinión aristotélica y con la simplicidad del modelo de las esferas, pero la exactitud en la correspondencia con las observaciones jugaba de su lado y le propició una favorable acogida y una amplia utilización, convirtiéndose más tarde con la obra de Ptolomeo en un instrumento de predicción bastante satisfactorio. Tal como explica Duhem, ya "al final de la vida de Aristóteles, en tiempos del reinado de Alejandro, se conocían las variaciones que experimentan los diámetros aparentes de diversos astros errantes; se sabía que en su movimiento ninguno de estos astros permanece a una distancia invariable de la Tierra; se había concluido de esto que la hipótesis de las esferas homocéntricas estaba condenada y que hacía falta recurrir a otras hipótesis para salvar las apariencias".⁴ Una de esas hipótesis fue justamente el modelo de los epiciclos de Apolonio e Hiparco; otras fueron el ya citado modelo geoheliocéntrico de Heráclides y, en el siglo siguiente, el modelo heliocéntrico de Aristarco de Samos (siglo III a. C.), rechazados éstos por las dificultades metafísicas y empíricas que presentaban, así como por sus consecuencias impías.

Las cosas se complican cuando hay que aclarar la posición de Ptolomeo (siglo II d. C.) entre las dos tradiciones de marras. Para Duhem, el sistema ptolemaico es sin ambages heredero de la primera tradición. El movimiento de los planetas siguiendo la trayectoria de epiciclos, tal como es descrito en el *Almagesto*, tenía el carácter de una hipótesis matemática que permitía calcular con bastante precisión sus posiciones y ciertamente salvaba las apariencias mejor que el modelo de las esferas homocéntricas. Pero los mecanismos internos que daban ese resultado, esto es, los propios epiciclos, carecían de realidad física. Eran adoptados únicamente por la simplicidad que suponía reducir todos los movimientos a combinaciones de movimientos circulares.⁵ Así lo dice Duhem:

4. Duhem, *Le Système du Monde*, vol. I, p. 404. Las apariencias conocidas que el modelo de las esferas homocéntricas no salvaba eran esencialmente la variación en el brillo de Venus y Marte, la variación del diámetro aparente de la Luna y la existencia de eclipses solares unas veces totales y otras sólo anulares. Todo ello resultaba inexplicable si se suponía que los astros permanecen fijos en sus esferas a una distancia constante de la Tierra. Fue, por tanto, el entronque del modelo de las esferas con la física aristotélica, y la posibilidad de ser construido como un modelo real, lo que permitió su supervivencia más o menos marginal.

5. Esa simplicidad era sólo relativa. En realidad el sistema ptolemaico era bastante complejo. La leyenda recoge que, al conocerlo por primera vez, Alfonso X el sabio comentó: "Si el Todopoderoso me hubiera consultado antes de embarcarse en la Creación, le hubiera recomendado algo más sencillo". Por otro lado, el éxito del sistema de epiciclos para encajar los movimientos aparentes de los planetas se torna menos sorprendente si se tiene en cuenta que con las combinaciones adecuadas de epiciclos y velocidades de giro se puede obtener una variedad infinita de curvas de simetría bilateral (elipses, ovoides, cicloides, etc.), y hasta trayectorias rectilíneas, triangulares y cuadradas. Cf. Hanson, *Op. cit.*, pp. 117-130.

Las diversas rotaciones sobre círculos concéntricos o excéntricos, sobre epiciclos, que es necesario componer para obtener la trayectoria de un astro errante son artificios combinados para salvar los fenómenos con la ayuda de las hipótesis más simples que se puedan encontrar. Pero hay que guardarse mucho de creer que estas construcciones mecánicas tengan la más mínima realidad en el cielo.⁶

Alexander Koyré fue uno de los primeros en contradecir la rígida dicotomización duhemiana de la astronomía griega. Para él, 'salvar los fenómenos' significaba "explicar los fenómenos, superarlos, es decir, revelar la realidad subyacente [...]. No se trata sólo como nos enseña una mala interpretación positivista muy corriente, de unirlos por medio de un cálculo a fin de obtener una previsión". Sin embargo, se muestra básicamente de acuerdo con Duhem en lo que a Ptolomeo se refiere. De hecho sitúa en Ptolomeo el punto de ruptura entre la astronomía matemática y la astronomía física. Según su opinión, al tener como consecuencia el sistema de epiciclos el abandono del principio del movimiento circular uniforme –la solución del ecuante no era más que la constatación de este abandono⁷–, los astrónomos terminaron por desentenderse de los problemas físicos y se dedicaron a calcular trayectorias. Koyré atribuye este instrumentalismo de Ptolomeo a sus creencias astrológicas. Para la astrología lo importante es saber dónde están los astros en cada momento, no saber por qué están ahí.⁸

Desde entonces han sido muchos los historiadores que han cuestionado las tesis de Duhem sobre las dos tradiciones en la astronomía griega. Se arguye contra ellas, entre otras cosas, que es un anacronismo aplicar el concepto de instrumentalismo a las doctrinas antiguas, que ningún astrónomo dejó jamás completamente de lado en sus análisis los aspectos físicos, que el programa astronómico de "salvar los fenómenos" se formuló en realidad bastante después de Platón y Eudoxo (probablemente se debe a Posidonio), cuando los conflictos entre las distintas hipótesis comenzaron a cobrar fuerza. Sin embargo, lo que más se ha discutido ha sido la interpretación duhemiana de Ptolomeo como campeón del instrumentalismo. A. C. Crombie⁹, por ejemplo, ha sostenido que la intención de Ptolomeo era la de proporcionar una imagen del universo que se adecuara no sólo a las apariencias sino también a ciertos principios físicos y metafísicos. Como confirmación de esa actitud recuerda que Ptolomeo rechazó por razones físicas basadas en Aristóteles, muy parecidas a las que después se esgrimirían contra Copérnico, la teoría heliocéntrica de Aristarco, aún cuando era de mayor simplicidad. No obstante, Crombie admite que Ptolomeo subordinó la cuestión de las trayectorias físicas reales y los principios metafísicos aristotélicos a la exactitud del cálculo. Eso favoreció una interpretación instrumentalista de su sistema que hizo que, hasta el siglo XIII, en que quedó como vencedor tras su recepción en el mundo cristiano a través de los árabes, compartiera honores con el sistema menos exacto

6. Duhem, *ΣΩΖΕΙΝ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ*, p. 19.

7. El ecuante era un punto imaginario situado cerca de la Tierra, exactamente a una distancia de la Tierra doble de la que separa a ésta del centro de la excéntrica. Se consideraba que, si bien la velocidad de rotación de un planeta determinado no era uniforme con respecto a la Tierra, sí que era uniforme al menos con respecto a dicho punto ecuante.

8. Cf. A. Koyré, *Estudios de historia del pensamiento científico*, (trad. E. Pérez Sedeño y E. Bustos), Madrid: Siglo XXI, 1983, pp. 78 y 81-82.

9. A. C. Crombie, *Historia de la ciencia. De San Agustín a Galileo*, (trad. José Bernia), Madrid: Alianza, 1985, vol. 1, pp. 82 y ss.

matemáticamente pero más "real" de las esferas homocéntricas de Aristóteles, al que nunca hizo desaparecer totalmente.

El reciente descubrimiento y publicación en 1967 de una parte perdida del libro I de *Las hipótesis de los planetas* ha servido para apoyar la tesis de un Ptolomeo interesado por la estructura real del universo. Si en el *Almagesto* la preocupación es básicamente matemática, en *Las hipótesis de los planetas*, sobre todo en la parte mencionada, Ptolomeo intenta compaginar las hipótesis geométricas con las teorías físicas vigentes acerca de los movimientos celestes, e incluso presenta un modelo mecánico basado en esferas cortadas en forma de tambor.¹⁰

II

Con todo, se puede afirmar que a partir de Proclo (siglo V d. C.) y durante toda la Edad Media el sistema ptolemaico fue tenido en general como un artificio geométrico y un instrumento de cálculo, función que cumplió razonablemente bien, aunque cada vez con mayor dificultad y complejidad. La causa de ello hay que buscarla en la tensión entre la astronomía ptolemaica y la cosmología aristotélica, evidente entonces para muchos, y en especial para los astrónomos árabes. Así, Ibn al-Haytán (Alhazén según los cristianos) escribió en el siglo XI una obra titulada *Dudas sobre Ptolomeo* en la que sostenía que éste no había conseguido dar con la verdadera constitución del mundo. Sólo gracias a la interpretación instrumentalista de la astronomía ptolemaica pudo ésta ir de la mano de la cosmología aristotélica como si no existieran incompatibilidades entre ellas. Excepcionalmente, algunos aristotélicos, bajo la influencia de Ibn Bayya (Avenpace), como el propio Ibn Rushd (Averroes) no estuvieron dispuestos a tal componenda y defendieron una cosmología aristotélica

10. Cf. Ptolomeo, *Las hipótesis de los planetas*, (trad. J. García Blanco y A. Cano Ledesma), Madrid: Alianza, 1987. Es una traducción del texto completo con una útil introducción de E. Pérez Sedeño que pone el énfasis en la cuestión que tratamos. Para una crítica de la dicotomía duhemiana y de la interpretación instrumentalista de Ptolomeo véanse las obras de A. Elena, *Las quimeras de los cielos*, Madrid: Siglo XXI, 1985, esp. pp. 21-31, y *A hombros de gigantes*, Madrid: Alianza, 1989, cap. 3. Recogiendo la opinión de algunos filósofos e historiadores recientes, Elena desarrolla la tesis de que la distinción astronomía matemática/astronomía física "no era una simple expresión del conflicto entre dos formas contrapuestas de considerar las teorías científicas (instrumentalismo/realismo)", sino "una disputa gremial", es decir, una disputa entre disciplinas diferentes, entre dos enfoques distintos del estudio de la naturaleza: el matemático y el físico natural, los cuales nunca estuvieron disociados por completo. Hay que decir, no obstante, para ser justos con Duhem que, como no podía ser de otro modo en un historiador de su talla, él era perfectamente consciente de las pretensiones físicas y cosmológicas de Ptolomeo en *Las hipótesis de los planetas*. Su comentario sobre esta obra no puede ser más claro: "[Ptolomeo] va a combinar y disponer los cuerpos sólidos cuyos movimientos reproducen las excéntricas y los epiciclos descritos por los astros. Pero no ofrecerá este mecanismo como una simple imagen, como un puro *modelo* de las hipótesis concebidas para salvar las apariencias; lo considerará como la expresión de la constitución real de las esferas celestes; e intentará demostrar la exactitud de esta opinión deduciéndola de la naturaleza de la sustancia que forma el cielo. Por tanto, las teorías astronómicas que la *Sintaxis* [el *Almagesto*] había presentado se encontrarán comprendidas en una doctrina física análoga a la que Aristóteles había formulado en el tratado *Sobre el cielo* y en la *Metafísica*, en una doctrina destinada a reemplazar al sistema peripatético, condenado a partir de entonces." (*Le Système du Monde*, vol. II, p. 88). Bien es verdad que, a continuación, Duhem atribuye este hecho a un cambio de opinión de Ptolomeo, que se dejó así arrastrar por la corriente que desde el origen de la astronomía intentaba someter la razón a la imaginación.

consecuente, renunciando por ello a la mayor exactitud de las excéntricas y epiciclos de Ptolomeo en favor de las esferas homocéntricas.¹¹

Sin embargo, para el siglo XVI comenzó a hacerse claro que algunos de los problemas del sistema ptolemaico surgían precisamente de ese carácter ficticio, de su separación de una base física coherente. Los procedimientos *ad hoc* (como el punto ecuante) que se requerían para solventar ciertas anomalías y para mantener la exactitud en las predicciones alimentaban un sentimiento creciente de insatisfacción entre los astrónomos. Además, las posiciones aparentes sólo se salvaban para cada planeta por separado, no para el conjunto, lo cual era una evidencia de que los modelos empleados carecían de realidad. Se sintió entonces la necesidad de un sistema astronómico que pudiera salvar los fenómenos y al mismo tiempo describir las trayectorias reales de los cuerpos celestes.¹² Este nuevo sistema a la vez físico y matemático fue elaborado por el clérigo y médico polaco Nicolás Copérnico.

Copérnico propuso su sistema heliocéntrico –o mejor habría que decir 'heliostático', puesto que el Sol no estaba exactamente en el centro– como una alternativa para acabar con los desacuerdos entre los astrónomos matemáticos y remediar la excesiva complejidad del sistema geocéntrico, que además, con el uso de los ecuanes, era incapaz de respetar el principio del movimiento circular uniforme, algo que tenía para él una importancia decisiva. Pero no conviene olvidar que el sistema copernicano también se ve obligado a utilizar epiciclos y deferentes para determinar correctamente las posiciones de los planetas.¹³ El modelo de Copérnico era

11. Cf. A. Elena, *Las quimeras de los cielos*, pp. 51 y ss., M. Sellés y C. Solís, *Revolución científica*, Madrid: Síntesis, 1991, pp. 74-75 y 85-86, Hanson, *Op. cit.*, pp. 178-186 y T.F. Glick, *Tecnología, ciencia y cultura en la España medieval*, Madrid: Alianza, 1992, pp. 106-107. Este conflicto entre la astronomía ptolemaica y la cosmología aristotélica no fue jamás resuelto. Como escribe Hanson (*Op. cit.*, p. 182) "para el de Aquino, Bacon, Chaucer, Cusa, Dante y Oresme (entre muchos otros) en cuestiones celestes se podía tener o bien una descripción y predicción matemática o una comprensión y explicación cosmológica; pero no ambas cosas a la vez".

12. Cf. Crombie, *Op. cit.*, vol. 2, p. 151.

13. Durante mucho tiempo se aceptó la afirmación de Copérnico al final del *Commentariolus* de que de los ochenta epiciclos aproximadamente del sistema ptolemaico, el suyo dejaba solo treinta y cuatro (las excéntricas y los epiciclos no desaparecen de la astronomía hasta que Kepler introduce las órbitas elípticas). Sin embargo, algunos historiadores han destacado que la reducción del número de epiciclos no fue tan radical en el *De Revolutionibus*, ni llevó a una simplicidad significativamente mayor. Thomas Kuhn considera que el sistema copernicano completo apenas era menos engorroso que el de Ptolomeo y que la economía no era un factor decisivo a su favor. Cf. T. S. Kuhn, *La revolución copernicana*, (trad. Domènec Bergada), Barcelona: Ariel, 1985, pp. 227-229. I. B. Cohen sostiene que el sistema copernicano era al menos tan complejo como el ptolemaico, a no ser que se lo considere en su forma rudimentaria de un único círculo orbital para cada planeta, lo que no sería más que una aproximación. Cf. Cohen, *El nacimiento de una nueva física*, (trad. Manuel Sellés), Madrid: Alianza, 1989, pp. 54-56. En el mismo sentido se manifiesta Hanson: "No conozco ni un sólo problema planetario que requiriese de Ptolomeo más de cuatro epiciclos de una vez. Naturalmente eso deriva del carácter asistemático y 'celular' de la técnica ptolemaica. Los cálculos hechos en el marco copernicano, por el contrario, planteaban siempre problemas relativos a las configuraciones planetarias *in toto*, que sólo se podían abordar considerando los elementos cinemáticos y dinámicos de varios planetas a la vez". Aunque inmediatamente matiza: "Hay un sentido [...] en el que la teoría de Copérnico es más sencilla que la de Ptolomeo. Mas aquí la simplicidad alude a la *simplicidad sistemática*: es en este sentido en el que un cálculo deductivo es más simple que un montón de herramientas de cálculo". Hanson, *Op. cit.*, pp. 258-259. Neugebauer, más radical, señala: "los modelos copernicanos requieren alrededor del doble de círculos que los modelos ptolemaicos y son mucho menos elegantes y adaptables". Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, Providence: Brown University Press, 1957, p. 204.

aproximadamente igual de preciso que el de Ptolomeo (las *Tablas prusianas* no mejoraron en mucho a las *Tablas alfonsinas*), no estaba basado en observaciones más detalladas, ni llevaba a predicciones nuevas. Se puede decir que, dadas las posibilidades técnicas de aquél momento, eran sistemas observacionalmente equivalentes. Por otro lado, el sistema copernicano tampoco carecía de problemas propios. Muchas de las objeciones que se hicieron contra él eran serias dificultades científicas que no se pudieron contestar satisfactoriamente hasta mucho después, una vez que Galileo pusiera las bases de una nueva física. Según las teorías físicas disponibles, la idea del movimiento de la Tierra iba en contra de un hecho tan obvio como que una piedra soltada desde cierta altura cae justo debajo del punto en el que fue soltada, y no muchos kilómetros hacia el Oeste, como parecería lógico si la Tierra rotara hacia el Este. Es más, el movimiento de traslación de la Tierra debía hacer que las estrellas mostrasen una pequeña variación anual en sus posiciones aparentes sobre la esfera estelar al ser contempladas desde puntos distantes de la órbita terrestre, cosa que no se observaba (el descubrimiento del paralaje anual de las estrellas, mucho menor de lo que entonces se pensaba debido a las enormes distancias que nos separan de ellas, lo hizo Friedrich W. Bessel en 1838). Críticas así no surgían del oscurantismo tradicionalista ni de la intransigencia religiosa, sino de la mejor teoría científica de la época: la mecánica aristotélica con todo su desarrollo medieval.

A favor del modelo copernicano contaba que era un auténtico sistema unificador, porque no necesitaba recurrir a diferentes hipótesis para explicar cada una de las irregularidades en los movimientos aparentes de los planetas. Todas eran explicables teniendo en cuenta el cambio de perspectiva que produce el movimiento de la Tierra.¹⁴ Particularmente elegante era la manera en que tal cambio de perspectiva permitía dar cuenta unificadamente del movimiento retrógrado de los planetas, mientras que tanto el sistema de las esferas como el de los epiciclos tenían que hacer complicadas combinaciones geométricas para cada planeta. Además, la posición de la Tierra girando en torno al Sol entre los demás planetas explicaba que los llamados planetas superiores (Marte, Júpiter y Saturno) y los inferiores (Mercurio y Venus) tuvieran movimientos aparentes muy distintos que hacían que estos últimos nunca estuvieran muy lejos del Sol. Peculiaridad ésta que sólo podía tener una explicación *ad hoc* en el sistema ptolemaico.¹⁵ Así pues, si el sistema copernicano no era más preciso que el ptolemaico, al menos era más armonioso y salvaba mejor los fenómenos en algunos casos concretos, como el del movimiento de la Luna, la cual según el sistema ptolemaico debía variar mensualmente su diámetro casi en un cien por cien. Pero una ventaja adicional nada despreciable era que podía ser visto como un modelo real del cosmos, y así lo entendió el propio Copérnico.

En su obra magna *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* (1543), tras mencionar las ventajas del sistema geoheliocéntrico de Martianus Capella (el llamado 'sistema egipcio', antiguamente propuesto por Heráclides y parecido al que después defendería Tycho Brahe), afirma la superioridad del heliocéntrico sobre la base de que el primero no podía ser construido con esferas cristalinas homocéntricas, ya que éstas

14. Cf. R. Taton *et al.*, *Historia general de las ciencias. Vol. II. La ciencia moderna (de 1450 a 1800)*, (trad. Manuel Sacristán), Barcelona: Orbis, 1988, tomo IV, pp. 77-78; y Hanson, *Op. cit.*, pp. 60-62, 159-162 y 166-167.

15. La explicación consistía en hacer que los centros de los epiciclos de Mercurio y Venus siempre estuvieran sobre la línea recta que une la Tierra y el Sol. Cf. T. S. Kuhn, *Op. cit.*, p. 230.

tendrían que cortarse unas a otras.¹⁶ A lo largo de dicha obra, a pesar del prudente modo de expresar tan atrevidas ideas bajo el temor de que fueran declaradas absurdas si no contrarias a las Escrituras, Copérnico deja traslucir su posición realista al hablar en todo momento como si estuviera ofreciendo una descripción real del cosmos. En el prefacio dirigido al Papa Pablo III escribe:

Tampoco pudieron [los matemáticos] hallar o calcular partiendo de ellos [las excéntricas y los epiciclos] lo más importante, esto es, la forma del mundo y la simetría exacta de sus partes, sino que les sucedió como si alguien tomase de diversos lugares manos, pies, cabeza y otros miembros auténticamente óptimos pero no representativos en relación a un sólo cuerpo, no correspondiéndose entre sí, de modo que con ellos se compondría más un monstruo que un hombre.¹⁷

Y en el libro I aún es más explícito:

Por ello no nos avergüenza confesar que este todo que abarca la Luna, incluido el centro de la Tierra, se traslada a través de aquella gran órbita entre las otras estrellas errantes, en una revolución anual alrededor del Sol, y alrededor del mismo está el centro del mundo.¹⁸

Sin embargo, durante muchos años esta intención realista quedó oscurecida por el prólogo con el que se abría la obra, atribuido erróneamente durante ese tiempo a Copérnico. El prólogo en cuestión fue redactado por el teólogo luterano Andreas Osiander a instancias de Georg Joachim Rheticus, discípulo de Copérnico que se había encargado de la edición del *De Revolutionibus*. Osiander estaba temeroso de las previsibles repercusiones que podían tener las tesis del libro entre los teólogos y los físicos aristotélicos, y creyó oportuno, para atemperar los ánimos, quitar fuste cosmológico a la astronomía copernicana avisando al lector de que las hipótesis de los astrónomos no debían tomarse literalmente, sino como instrumentos de cálculo. Sus palabras son elocuentes y conocidas:

Pero si quieren ponderar la cuestión con exactitud, encontrarán que el autor de esta obra no ha cometido nada por lo que merezca ser reprendido. Pues es propio del astrónomo calcular la historia de los movimientos celestes con una labor diligente y diestra. Y además concebir y configurar las causas de estos movimientos, o sus hipótesis, cuando por medio de ningún proceso racional puede averiguar las verdaderas causas de ellos. Y con tales supuestos pueden calcularse correctamente dichos movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto mirando hacia el futuro como hacia el pasado. Ambas cosas ha establecido el autor de modo muy notable. Y no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera que sean verosímiles, sino que basta con que muestren un cálculo coincidente con las observaciones [...]. Permitamos que también estas nuevas hipótesis se den a conocer entre las antiguas, no como más verosímiles, sino porque son al mismo tiempo admirables y fáciles y porque aportan un gran tesoro de sapientísimas observaciones. Y no espere nadie, en lo que respecta a las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo; para que no salga de esta disciplina más estúpido de lo que entró, si toma como verdad lo imaginado para otro uso.¹⁹

Es razonable pensar que Osiander no pretendía llevar a nadie a confusión sobre la verdadera actitud de Copérnico, como lo indica el que hablara del autor en tercera

16. Cf. Copérnico, *Sobre las revoluciones (de los orbes celestes)*, (trad. Carlos Mínguez), Madrid: Tecnos, 1987, libro I, pp. 32-33. Véase también, R. Hall, *La revolución científica, 1500-1750*, (trad. Jordi Beltrán), Barcelona: Crítica, 1985, pp. 103 y ss.

17. Copérnico, *Op. cit.*, p. 9.

18. Copérnico, *Op. cit.*, lib. I, p. 33.

19. A. Osiander, "Al lector sobre las hipótesis de esta obra", en Copérnico, *Op. cit.*, pp. 3-4.

persona y no en primera, pero el caso es que el prólogo se publicó sin firma, y los lectores (entre ellos el cardenal Bellarmino, del que hablaremos a continuación) creyeron que esa era la filosofía de Copérnico con respecto a su teoría. Debe tenerse en cuenta que Copérnico no pudo desmentir tal interpretación, puesto que el primer ejemplar del libro salió de la imprenta un par de meses antes de su muerte.²⁰ No es de extrañar por ello que los pocos que aceptaron en un principio el sistema copernicano adoptasen en su mayoría una filosofía instrumentalista como la de Osiander o similar (es lo que se conoce como "interpretación de Wittenberg"). Se produjo así la curiosa circunstancia de que muchos ptolemaicos se trasladaron a interpretaciones cosmológicas realistas al tiempo que los copernicanos, para evitar problemas, se refugiaban momentáneamente en cierto instrumentalismo de corte matemático. Aristóteles y las Escrituras seguían pesando demasiado como para que hubiese sido de otro modo, aunque en este caso pesaba más el primero que las segundas. La Iglesia Católica no vio un problema serio en el sistema copernicano hasta que Giordano Bruno dejó patente sus consecuencias peligrosas. Fueron algunos protestantes, incluido Lutero, los que se dieron más prisa en condenar las tesis de Copérnico. Sin embargo, el sistema copernicano chocaba frontalmente contra la física aristotélica, y no podía esperar una aceptación plena en tanto no hubiera una nueva física en su lugar.²¹ Por eso, el sistema geoheliocéntrico de Tycho Brahe, que parecía menos contrario a Aristóteles, obtuvo más adeptos, en especial entre los jesuitas del *Collegio Romano*.

Con la excepción de Giordano Bruno y de Thomas Digges, que tuvieron poca influencia, y de alguna figura menor, el primero en defender con argumentos firmes una interpretación realista de las ideas copernicanas fue Johannes Kepler. Él fue quien le dio al nuevo sistema la forma con la que se popularizó y quien sentó las bases de la dinámica celeste. Su opinión realista quedó expuesta en varios textos, entre ellos el *Mysterium cosmographicum* (1596), *Astronomía nova* (1609) y, sobre todo, *Epitome Astronomiae Copernicanae* (1618). La armonía del sistema era para él una señal de su verdad y nunca dudó de que eso mismo estimaba Copérnico. Propuso leyes físicas para explicar el movimiento de los planetas e hizo así de la astronomía una parte inseparable de la física, alejándose de los que pensaban que era una disciplina puramente matemática que jugaba con hipótesis ficticias. Y contra él se alzaron de nuevo las voces de quienes, como el rector de la Universidad de Tubinga, aconsejaban dejar en paz la realidad de las cosas creadas y conformarse con dar cuenta de sus apariencias.²²

III

20. Kepler intentó después deshacer el malentendido. Hacia 1600 escribió un opúsculo, que quedó inédito, titulado *Apología Tychonis contra Nicolaum Raymarum Ursium*, en el que explica: "El autor de este prefacio es Andreas Osiander, como lo atestigua en el ejemplar que poseo una nota de la mano de Jerónimo Schreiber de Nuremberg, a quien Schoner ha dirigido alguno de sus prefacios." Citado por Duhem, *Op. cit.*, p. 80.

21. También la astronomía ptolemaica entraba en conflicto con la cosmología aristotélica, como dijimos antes, y por eso se la interpretó de manera instrumentalista. Pero el choque de la astronomía copernicana era aún mayor. Si la astronomía ptolemaica violaba el principio del movimiento circular uniforme, la copernicana exigía una revisión de toda la física sublunar aristotélica. Los filósofos aristotélicos veían como una cuestión técnica los desajustes entre Ptolomeo y Aristóteles, cosa que no era posible seguir haciendo con Copérnico.

22. Cf. A. Elena, *A hombros de gigantes*, pp. 52-60.

Pero cuando la polémica alcanzó su punto históricamente culminante, aunque sin añadir argumentos nuevos, fue con el enfrentamiento entre Galileo y la Iglesia Católica, representada ésta en un principio por el cardenal Roberto Bellarmino, consultor del Santo Oficio y consejero teológico de la Santa Sede por designación del papa Pablo V. La situación se había hecho cada vez más incómoda para los aristotélicos y la Iglesia desde que Copérnico publicara el *De Revolutionibus*. El primer conflicto grave entre un copernicano y la Iglesia tuvo como desenlace la muerte en la hoguera de Giordano Bruno en 1600, decisión en la que participó el propio Bellarmino. Ciertamente los motivos de su condena iban más allá de la defensa del copernicanismo, para adentrarse en el terreno de la apostasía, la herejía y la práctica de la magia hermética, pero su caso sentó un precedente ominoso que debió pesar en lo sucesivo.

Galileo era más un cosmólogo y un físico que un astrónomo. Su temprana conversión al copernicanismo no le llevó, como a Kepler, a perfeccionar las teorías astronómicas sobre los movimientos celestes. Su interés estuvo en proporcionar al sistema copernicano una base física adecuada, dado que la aristotélica resultaba incompatible. Como señala Hall, si el blanco de las críticas de Copérnico y Kepler era Ptolomeo, el de Galileo era Aristóteles.²³ La tarea que emprendió conducía a la elaboración de una nueva imagen física del mundo muy diferente de la tradicional, lo cual significaba una carga final contra el aristotelismo. Es lógico que los filósofos aristotélicos fueran sus peores enemigos y que en los lamentables sucesos que vendrían después la Iglesia actuara contra Galileo instigada en gran medida por ellos. La mejor manera que encontraron de acabar con unas doctrinas tan contrarias a Aristóteles y tan perjudiciales para sus intereses fue inducir y alimentar sobre ellas las sospechas de herejía. Y no cejaron hasta ver cumplido su empeño.²⁴

Debe quedar claro que lo que resultaba inaceptable para la Iglesia –una Iglesia cuyo poder político comenzaba a declinar, cuya autoridad teológica y moral era negada en media Europa por la Reforma protestante y que con el Concilio de Trento (1545-1563) había llamado duramente al orden– no era el sistema copernicano en sí mismo. De hecho, el cardenal Bellarmino así como otros miembros de la curia aceptaban inicialmente su eficacia y su plausibilidad, hasta el punto de que fue utilizado para los cálculos en la elaboración del Calendario Gregoriano de 1582. Lo que en esa época de crisis representaba un peligro, que venía a añadirse de forma intolerable para la Iglesia a los ataques que recibía desde otros lados, era la pretensión de que tal sistema representaba la estructura real del universo y no era una simple hipótesis matemática para deleite estético del astrónomo. Es decir, lo que la Iglesia condenaba era una interpretación realista de las doctrinas copernicanas, que llevaba aparejada una demolición del edificio teórico aristotélico-escolástico del que dependía casi toda la teología cristiana. Pero no tenía nada que objetar contra una interpretación instrumentalista. Copérnico podía ser aceptado si se lo interpretaba de suerte que

23. Cf. A. R. Hall, *Op. cit.*, p. 192.

24. Stillman Drake insiste sobre este punto: "Antes de que cualquier clérigo se manifestase en contra suya, sus adversarios filosóficos habían declarado contrarias a la Biblia sus puntos de vista y considerado la conveniencia de enrolar a algún clérigo para que lo airease públicamente". Drake, *Galileo*, (trad. A. Elena), Madrid: Alianza, 1983, pp. 20-21. Una narración erudita al tiempo que amena sobre las conflictivas relaciones de Galileo con los científicos y filósofos del momento, particularmente con los jesuitas del *Collegio Romano*, se encuentra en el libro de P. Redondi, *Galileo herético*, (trad. A. Beltrán Mari), Madrid: Alianza, 1990.

Aristóteles y las Escrituras quedaran a salvo. Cuando el *De Revolutionibus* quedó incluido en 1616 en el *Indice de Libros Prohibidos*, se debió en gran parte al ambiente enrarecido que generaron las acusaciones contra Galileo y su viaje a Roma en 1615 para defenderse de ellas. Las únicas frases del libro que fueron prohibidas eran del libro I, donde Copérnico habla del movimiento de la Tierra como si fuese físicamente real.²⁵ Y cuando en 1633 se condena finalmente a Galileo, el punto principal de la acusación fue haberse apartado del planteamiento hipotético, "al afirmar de manera absoluta que la Tierra se mueve y no el Sol". El deseo de la Iglesia –prescindiendo de los conservadores dominicos– era que la teoría copernicana quedase como una hipótesis útil si es que los astrónomos veían con ella facilitada su labor. Pero no podían asumirla como una verdad sobre el cosmos, no sólo porque contradecía las Escrituras, también porque, como recogía el dictamen de 1616 del Santo Oficio, era "absurda desde el punto de vista filosófico".

En 1615 Bellarmino envía una carta al padre Paolo Antonio Foscarini, un carmelita copernicano autor de un libro en el que se defendía la compatibilidad del copernicanismo con la Biblia. En esa carta Bellarmino expresa el sentir de los menos intolerantes en Roma, que, a diferencia de lo que ocurriría en 1633, fue el sentir que entonces se impuso:

Digo que me parece que V. P. y el señor Galileo obran prudentemente al contentarse con hablar hipotéticamente ("*ex suppositione*") y no absolutamente, como yo siempre he creído que había hablado Copérnico. Pues decir que supuesto que la Tierra se mueve y que el Sol está inmóvil, se salvan mejor todas las apariencias que suponiendo las excéntricas y los epiciclos, está muy bien dicho, y no supone peligro alguno; y esto le basta al matemático.²⁶

Como es bien sabido, Galileo no se contentaba con eso ni mucho menos, y así tuvo ocasión de comprobarlo Bellarmino y todo el *Collegio Romano*. Su postura era enérgicamente realista, hasta el punto de que no sólo pensaba que Copérnico había propuesto su sistema con pretensiones de ser verdadero, sino que también creía lo mismo de Ptolomeo.²⁷ Galileo comprendió que las doctrinas copernicanas implicaban la destrucción de la imagen tradicional del mundo y no estaba dispuesto a aceptar soluciones de compromiso. No veía posible quedarse con Copérnico y con Aristóteles. Sus enemigos aristotélicos supieron a qué atenerse con él desde el principio.

A mediados de 1615 escribía una carta a Cristina de Lorena, Gran Duquesa de Toscana, en la que intentaba responder a las críticas que contra él se dirigieron en su corte, con la intención de que su contenido fuese conocido pronto por los teólogos. En esa famosa carta Galileo proporcionaba argumentos brillantes en contra de la

25. Cf. A. R. Hall, *Op. cit.*, p. 202. Las obras de Copérnico, Kepler y Galileo permanecieron en el *Indice* hasta 1822.

26. "Carta del Cardenal Roberto Bellarmino a Paolo Antonio Foscarini", en G. Galilei, *Carta a Cristina de Lorena*, (trad. Moisés González), Madrid: Alianza, 1987, p. 111. Bellarmino tenía buenos motivos para ser comprensivo: él mismo había visto cómo el Papa Sixto V ponía en el Índice su libro *De controversiis*. A ello hay que unir la admiración que profesaba por Galileo como científico, como quedaría de manifiesto al detener en 1616 el procedimiento judicial que se abrió contra él.

27. No obstante, el estudio de los manuscritos pre-paduanos de Galileo realizado por Stillman Drake muestra que hasta 1590 Galileo adoptó el copernicanismo sólo como una hipótesis matemática, convenciéndose de la realidad física de los movimientos terrestres entre 1591 y 1595. Cf. Stillman Drake, "Galileo's Steps to Full Copernicanism, and Back", *Stud. Hist. Phil. Sci.*, vol. 18, 1 (1987), pp. 93-105.

interpretación literal de los textos bíblicos y a favor de que las cuestiones científicas fueran dirimidas por la experiencia y las demostraciones en vez de por la autoridad de las Escrituras. Junto a tales argumentos explicaba que hay cosas sobre las que sólo cabe una "opinión probable o conjetura verosímil", como si hay o no vida en las estrellas, pero en otras cuestiones es posible alcanzar un conocimiento seguro y demostrado que nos proporcione "indudable certeza", entre ellas el movimiento de la Tierra y el Sol.²⁸ A su amigo Monseñor Piero Dini le había escrito meses antes sobre el mismo tema. Entonces decía:

En cuanto a salvar las apariencias, el mismo Copérnico se había tomado ya antes la molestia de hacerlo, dando satisfacción al grupo de los astrónomos de acuerdo con la establecida y admitida doctrina de Ptolomeo, pero después, vistiéndose con el hábito de filósofo, y considerando si tal constitución de las partes del universo podría realmente existir *in rerum natura*, y viendo que no, y pareciéndole también que el problema de la constitución real era digno de ser indagado, se puso a investigar tal constitución, sabiendo que si una disposición de las partes del universo hipotética y no verdadera podría satisfacer a las apariencias, con mayor razón se conseguiría con la constitución verdadera y real, y al mismo tiempo se habría conseguido en filosofía un conocimiento tan excelente, cual es el saber de la verdadera disposición de las partes del mundo.²⁹

Pero es en otro sitio donde Galileo dedica su mayor atención y determinación a este asunto. Pocos días después de que Bellarmino enviara la carta a Foscarini, Galileo se hacía con una copia y redactaba, a modo de respuesta, una pequeña obra no publicada en su época, a la que con posterioridad se le daría el título de *Consideraciones sobre la opinión copernicana*. Galileo no se anda con subterfugios ni trata de contentar a los críticos salvando al mismo tiempo la cara, como podría haber hecho de seguir los consejos de Bellarmino. Por el contrario, se muestra a lo largo del texto como un convencido pleno de la verdad *de facto* del sistema copernicano y estima fruto de la ignorancia la tesis de que Copérnico sólo habló *ex hypothesi*. Copérnico – nos dice– "no propuso esta hipótesis para satisfacer las exigencias del astrónomo puro, sino más bien para plegarse a la necesidad de la naturaleza".³⁰

Se ha discutido mucho sobre la radicalidad e intransigencia de la posición galileana en el debate y sobre el dogmatismo de su concepción de la ciencia. Se ha dicho que Galileo se equivocó al exigirle a la ciencia más de lo que ésta podía dar, porque la ciencia no tiene capacidad para demostrar ninguna verdad sobre la naturaleza y debe contentarse con un conocimiento siempre hipotético y conjetural. A los instrumentalistas de todos los tiempos les ha parecido desmesurada la pretensión de Galileo, y algunos, como Duhem, católico ferviente por demás, se han puesto claramente del lado de Osiander, Bellarmino y el Papa Urbano VIII, bajo la excusa de que éstos "habían comprendido el alcance exacto del método experimental", mientras que Kepler y Galileo "se habían confundido" al respecto.³¹ Crombie, sin llegar tan lejos, afirma empero que "no se puede negar que los argumentos de Bellarmino tuvieron éxito al ganar un punto filosófico contra Galileo", y que los escolásticos sabían que los

28. G. Galilei, *Carta a Cristina de Lorena*, p. 82.

29. G. Galilei, *Op. cit.*, pp. 52-54.

30. G. Galilei, "Consideraciones sobre la opinión copernicana", en N. Copérnico, T. Digges y G. Galilei, *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, (trad. A. Elena), Madrid: Alianza, 1986, p. 78.

31. Duhem, *Op. cit.*, p. 136.

fenómenos nunca pueden determinar unívocamente las hipótesis cuando varias de ellas salvan los mismos fenómenos.³²

Es cierto que la concepción que Galileo tenía de lo que contaba como conocimiento genuino en las ciencias era muy diferente de la que tenemos hoy en día (si es que tenemos alguna). Ni desde el punto de vista epistemológico ni desde el metodológico era Galileo un científico del siglo XX. El ideal de ciencia que dirigió su trabajo seguía siendo el ideal demostrativo que ya establecieran Aristóteles y Euclides, aunque debilitado con algunas modificaciones.³³ Según el ideal demostrativo, la ciencia es el conocimiento demostrado a partir de principios ciertos y, por tanto, posee el carácter de *verdad necesaria*.³⁴ La principal aportación de Galileo a este ideal de ciencia fue sustituir la demostración a partir de principios metafísicos por la explicación del fenómeno (en forma idealizada) como caso particular de una ley matemática. Galileo no era el único de su época que mantenía el ideal demostrativo de la ciencia. Los aristotélicos, Bacon y Descartes lo defendían también con diferentes matices. Por decirlo más claramente, el ideal demostrativo estuvo vigente hasta que lo desplazó a lo largo del siglo XVII el ideal deductivo-experimentalista, gracias al trabajo de autores como Boyle, Huygens, Hooke y, por supuesto, Newton, los cuales no hicieron más que seguir el camino abierto por el propio Galileo. Fue entonces cuando la ciencia dejó de ser vista como conocimiento demostrado para pasar a ser conocimiento empíricamente corroborado con –a lo sumo– carácter de verdad contingente y revisable.

Eso explica por qué Galileo no concedía ningún papel al conocimiento *meramente* hipotético, a no ser como una dilación en el proceso de búsqueda de la verdad. Igual hacía Bacon, por ejemplo. Galileo usa a menudo el término hipótesis como sinónimo de especulación plausible pero sin fundamento, o de falsedad provisionalmente útil. Eso no quiere decir que en sus investigaciones no elaborara hipótesis en un sentido más actual del término, es decir, conjeturas o preconcepciones con consecuencias contrastables. La abstracción idealizadora con la que emprende el estudio de los fenómenos mecánicos constituye una suposición hipotética sobre los rasgos esenciales de cada fenómeno. El péndulo ideal, el plano sin rozamiento o el movimiento uniforme son situaciones hipotéticas de las que se pretende derivar consecuencias válidas sobre la realidad de las cosas. Pero Galileo no los llamaría hipótesis, porque una vez que a partir de ellos se ha obtenido una ley matemática confirmada experimentalmente, ya pueden ser establecidos como descripciones verdaderas de la estructura esencial de los fenómenos, y no tiene sentido seguir considerándolos como hipótesis.

32. Crombie, *Op. cit.*, p. 187.

33. Sobre este punto ver mi trabajo "Conocimiento e hipótesis en la ciencia moderna", *Arbor*, 521 (1989), pp. 91-118.

34. Si el conocimiento científico posee o no el carácter de verdad necesaria fue un problema discutido durante la Edad Media. Duns Escoto, Guillermo de Occam y Nicolás de Autrecourt sostuvieron que en las ciencias las verdades necesarias son muy pocas y que la mayor parte de las verdades empíricas que podemos obtener son contingentes. Cf. J. Losee, *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*, (trad. A. Montesinos), Madrid: Alianza, 1985, pp. 49-52. Galileo, sin embargo, se adhirió a la concepción aristotélica de la ciencia como búsqueda de verdades necesarias. Cf. M. Fehér, "Galileo and the Demonstrative Ideal of Science", *Stud. Hist. and Phil. Sci.*, 13 (1982), pp. 87-110, esp. p. 90; W. A. Wallace, "Galileo and Reasoning *ex suppositione*: The Methodology of the *Two New Sciences*", en R. S. Cohen *et. al.*, *PSA 1974*, Dordrecht: Reidel, 1976; y W. R. Shea, *La revolución intelectual de Galileo*, (trad. Carlos Peralta), Barcelona: Ariel, 1983, *passim*.

Evidentemente, éste no es el modo en que se interpreta en nuestros días la índole del conocimiento científico y el papel de las hipótesis en la ciencia. Ningún científico actual concedería a las teorías científicas una posición epistemológica tan firme como la que les atribuía Galileo. Por el contrario, en muchos contextos prefieren hablar de ellas como hipótesis siempre revisables en lugar de como verdades establecidas de una vez por todas. Pero Galileo era un científico a caballo entre los siglos XVI y XVII, y se le debe juzgar con los patrones de aquella época. En caso contrario nos encontraremos sacando conclusiones extrañas, como le sucede a Duhem cuando afirma que los aristotélicos fueron mejores conocedores de las implicaciones y del significado del método experimental que Galileo.

Si Bellarmino y los aristotélicos preferían que los copernicanos hablaran "*ex suppositione*", no era porque ellos tuvieran una concepción metodológica más moderna y más adecuada. Más bien habría que pensar que querían mantener incólume una determinada concepción científico-filosófica del universo o, en el mejor de los casos, evitarles problemas con el Santo Oficio. Además, por lo general, los que pedían a los copernicanos mantener su teoría como una mera hipótesis para salvar los fenómenos, eran realistas con respecto a la cosmología de Aristóteles y a veces hasta con la astronomía de Ptolomeo, tratándolas como si fueran una misma cosa (Clavius, por ejemplo, mantenía una epistemología realista con respecto al sistema geocéntrico y a la existencia de excéntricas y epiciclos, y si rechazaba el sistema heliocéntrico era por considerarlo incompatible con la física aristotélica y con las Escrituras). En lo único que parecían pedir una interpretación instrumentalista era en lo referente al sistema copernicano. Según la exposición que el cardenal Paul Pouppard hizo el 30 de Octubre de 1992, con motivo de la rehabilitación de Galileo por parte de la Iglesia, Bellarmino pidió a éste pruebas "reales y verificables" de que la Tierra giraba alrededor del Sol, lo que Galileo no estaba en situación de proporcionar.³⁵ Lo desconcertante es concluir, como hace el Vaticano siguiendo a Duhem, que Galileo fue un mal filósofo por exceso de dogmatismo epistemológico, aunque el tiempo le daría la razón como teólogo, y Bellarmino todo lo contrario. En ese momento los partidarios de los dos sistemas astronómicos mantenían posiciones epistemológicas muy similares que les llevaban a interpretar de manera realista su sistema preferido.³⁶

En los *Apuntes previos al proceso de 1616*, un texto redactado al mismo tiempo que las *Consideraciones sobre el sistema copernicano*, Galileo contesta a las objeciones de Bellarmino, entre ellas la de que "no es lo mismo demostrar que, supuesto que el Sol esté en el centro y la Tierra en el cielo se salvan las apariencias que demostrar que verdaderamente el Sol esté en el centro y la Tierra en el cielo".³⁷ Bellarmino pensaba que lo primero era demostrable, pero dudaba que lo fuera lo segundo. Galileo concede con una cierta ironía que "el no creer que exista demostración del movimiento de la Tierra hasta que no nos sea puesto de manifiesto, es suma prudencia", y asegura que él no pide otra cosa. Cree que en vez de esgrimir la autoridad

35. Cf. *El País*, 1 nov. 1992, p. 25.

36. A. Elena lo expresa así: "La contienda, en los albores del siglo XVII, sólo podía librarse ya en este campo: ptolemaicos y copernicanos abrazaban por igual una epistemología realista, pues lo que estaba en juego era mucho más que la elección de modelos geométricos dentro de un mismo marco cosmológico. Ahora se trataba de optar entre dos cosmologías diferentes". (*Las quimeras de los cielos*, p. 183).

37. "Carta del Cardenal Roberto Bellarmino a Paolo Antonio Foscarini", p. 112.

de las Escrituras lo que procede es examinar las razones de los astrónomos para ver si son falsas, rechazándolas "cuando no tengan más del 90 por ciento de razón". Pero en caso de que fueran falsas, no se debe dar por firme que nunca se conseguirá dicha demostración.³⁸ Galileo pone, pues, la carga de la prueba en los críticos del copernicanismo: "Es necesario, por tanto, –escribía a Cristina de Lorena– antes de condenar una proposición natural, hacer ver que ella no está demostrada necesariamente, y esto lo deben hacer no aquellos que la tienen por verdadera, sino aquellos que la consideran falsa".³⁹ De todos modos, él creía que las razones aportadas eran suficientes para tener al sistema ptolemaico por "incuestionablemente falso" y para decir que el copernicano "puede ser verdadero", porque "no se puede o se debe buscar otra verdad mayor en una posición que el dar respuesta a todas las particulares apariencias".⁴⁰ Estas razones a favor del copernicanismo eran básicamente tres, según aparecen expuestas en el *Diálogo sobre los dos sistemas máximos*: la simplicidad y coherencia en la explicación del movimiento retrógrado de los planetas, la rotación del Sol evidenciada por las manchas solares, y la existencia de las mareas.⁴¹ No obstante, las dos primeras no probaban la verdad del sistema copernicano, pues también eran compatibles con el sistema de Tycho Brahe, con lo que sólo quedaba la tercera.⁴² Galileo rechazó la teoría, defendida por Kepler entre otros, que ponía la causa de las mareas en la atracción ejercida por la Luna. Le parecía que eso era recurrir a fuerzas ocultas, propias de la magia y la astrología, que al final nada explican. Consideraba que las mareas se producían debido a que durante la noche se suman los movimientos de traslación y rotación de la Tierra (al tener la misma dirección), mientras que por el día se restan (al tener direcciones opuestas). La explicación, sin embargo, estaba llena de problemas y sus predicciones chocaban con los hechos. Por ejemplo, lo lógico según esta teoría es que se produjera una marea diaria, en lugar de las dos que en realidad acontecen. Galileo intentó solventar esta dificultad apelando a la profundidad de los mares y a la irregularidad de la costa, pero el resultado no convenció a casi nadie, y menos a sus adversarios.

Galileo, en suma, no contaba con una prueba "real" del sistema copernicano como la que le reclamaba Bellarmino, aún cuando él creyera lo contrario. No obstante, estimaba también que las evidencias matemáticas a su favor eran suficiente prueba de su verdad para el experto y estaba seguro de que la prueba física definitiva e incontrovertible se podría alcanzar con el tiempo. Quizás por eso se refiere varias veces al movimiento de la Tierra como una "verdad demostrada".⁴³ Ciertamente con ello estaba haciendo apología ya que, en rigor, una prueba de ese tipo no se tuvo hasta el siglo XIX. Pero sería absurdo pretender que hasta el descubrimiento del paralaje estelar o la realización del experimento de Léon Foucault con su famoso péndulo no había razones sólidas para considerar real el movimiento terrestre. Cuando ambos acontecimientos científicos se produjeron ya nadie los necesitaba para decidirse por el

38. G. Galilei, "Apuntes previos al proceso de 1616", en *Carta a Cristina de Lorena*, p. 106.

39. G. Galilei, *Carta a Cristina de Lorena*, p. 80.

40. G. Galilei, *Op. cit.*, p. 107.

41. G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, Turín: Giulio Einaudi Editore, 1970, p. 546. Salviati expresa en el diálogo su esperanza de poder disponer en breve dos pruebas más: el paralaje estelar y el movimiento de la línea meridiana trazada sobre el pavimento de la Iglesia de San Petronio en Bolonia.

42. Cf. W. R. Shea, *Op. cit.*, p. 207.

43. Cf. G. Galilei, *Carta a Cristina de Lorena*, pp. 90 y 101. En alguna ocasión se expresa como si bastase con mirar al cielo para convencerse de la verdad del copernicanismo. Cf. pp. 80-81.

sistema copernicano. Otros muchos factores pesaban abrumadoramente en su favor desde hacía tiempo.

Galileo estaba resuelto a que quedara al menos abierta para la teoría copernicana la posibilidad de obtener el *status* de verdad probada, que era el máximo que se le podía conceder a una teoría en la ciencia del momento. Una ficción útil no podía aspirar a eso, sería siempre una ficción a la espera de ser sustituida por una verdad. Por ello tenía que convencer a todos de que era una teoría sobre los movimientos *reales* de los cuerpos celestes. No pretendía nada que cualquier filósofo aristotélico no reclamara para las doctrinas de Aristóteles.⁴⁴ Quería, en suma, que la astronomía dejase de ser una disciplina puramente matemática que juega a la conveniencia con modelos geométricos y pasase a estar firmemente enraizada en la filosofía natural. Sus descubrimientos con el telescopio y sus argumentos físicos a favor del movimiento terrestre ilustran esa disposición, presente también en Copérnico, para encontrar explicaciones físicas de los fenómenos celestes. Disposición que había visto uno de sus primeros frutos en la fuerza solar de tipo magnético que Kepler postulaba, y que se cumplió definitivamente con la unificación newtoniana de los movimientos planetarios y de la caída de los graves bajo la misma ley física de la gravedad.

Por su parte, Bellarmino, lejos de ser un metodólogo más perspicaz y más avanzado que Galileo, era un cardenal inteligente que ya había enviado a la hoguera a un copernicano y no deseaba volver a asumir una responsabilidad semejante con Galileo. Si le aconsejaba que hablara hipotéticamente no lo hacía pensando en que la ciencia es un saber conjetural que nunca puede disponer de pruebas empíricas que vayan más allá de toda duda posible, lo hacía pensando en que una teoría que no estaba probada y que contradecía a las Escrituras sólo podía mantenerse como una ficción o una falsedad útil, *status* que, claro está, no reclamaba para toda la ciencia.

44. Galileo habría rubricado muy posiblemente la convicción que Hanson atribuye a algunos astrónomos del Renacimiento: "Ninguna disciplina que sea totalmente fenomenológica, que se desentienda absolutamente de la realidad 'tras' las apariencias podrá ser una ciencia plena." Hanson, *Op. cit.*, p. 155.