

La esfera y el círculo en la historia

JOSÉ LUIS ALVAREZ G., JOSÉ E. MARQUINA F. Y ROSALÍA RIDAURA S.

Quizá la historia universal es la historia de la diversa entonación de algunas metáforas.

J. L. Borges

No es difícil entender el porqué de la preeminencia de las figuras del círculo y la esfera en la historia del pensamiento. Desde el momento en que los seres humanos tomaron conciencia del mundo que los rodeaba y se dieron cuenta de la importancia que tenían los cielos para su supervivencia, éstos fueron objeto de una atención permanente. Es innegable la forma abovedada que presenta el cielo en una noche despejada y en la que se observa un movimiento circular de las estrellas alrededor de la Tierra. También el Sol y la Luna describen, en apariencia, círculos alrededor del mundo y es muy clara la forma circular que presentan estos dos astros, así como el contorno que dibuja nuestro planeta sobre ellos durante un eclipse. Éstas son, muy probablemente, las razones más importantes por las cuales estaban presentes las figuras esférica y circular en las concepciones cosmológicas de las civilizaciones antiguas.

En el siglo VI a.n.e., el rapsoda Jenófanes de Colofón, harto de los versos homéricos que recitaba de ciudad en ciudad y que atribuían rasgos antropomórficos a los dioses, propuso a los



Retrato de Tycho Brahe

J. L. Álvarez García, J. E. Marquina Fábrega y R. Ridaura Sanz: Departamento de Física, Facultad de Ciencias, UNAM

griegos un solo dios, cuya forma era una esfera. Desde entonces la esfera aparece como la figura esencial en la construcción de las cosmologías, para convertirse en una necesidad mental que guiará al pensamiento religioso, filosófico y científico de occidente a lo largo de los siglos.

El círculo y la esfera

A partir del siglo VI a.n.e. se proponen diversas cosmologías elaboradas de acuerdo con mecanismos que intentan dar cuenta de los movimientos celestes, y en ellas la esfera y el círculo son parte esencial.

En la cosmología de Anaximandro (610-547 a.n.e.), los cielos esféricos encierran la atmósfera de una Tierra cilíndrica y existen varias capas de esta envoltura para que ahí se acomoden los otros objetos estelares. El Sol es un hueco lleno de fuego, situado en el borde de un gigantesco anillo que gira alrededor de la Tierra en una trayectoria circular.¹

Más adelante, Pitágoras (580-¿500? a.n.e.) plantea que la Tierra es una esfera, alrededor de la cual el Sol, la Luna y los planetas giran en círculos concéntricos, fijo cada uno a una esfera. En su veloz revolución, estos cuerpos

producen individualmente un susurro en el aire que, en conjunto, conforma una música celestial: la armonía de las esferas.²

En el siglo V a.n.e., Parménides (504-450 a.n.e.) señala en su "Poema" que el Ser es *uno, eterno, indivisible, inmóvil y finito*:

Además, y dado que posee un último límite, el Ser está terminado por todas partes, semejante a la masa de una esfera bien redondeada, igual en todas direcciones a partir del centro.³

En este mismo siglo los discípulos de Pitágoras sostuvieron, al igual que su maestro, que la Tierra era esférica y que se movía en el espacio. Sin embargo, los pitagóricos mezclaban sus deducciones con el misticismo y la numerología. Tenían evidencia de nueve movimientos circulares en el cielo: el de las estrellas, los de los cinco planetas conocidos y los de la Tierra, la Luna y el Sol. Pero como 9 era un número "imperfecto", agregaron otro movimiento para tener 10 e inventaron una anti-Tierra protectora. Así, en la revolucionaria concepción de Filolao (480-400 a.n.e.), la Tierra aparece como una esfera que no ocupa el centro

del Universo. En su lugar, arde un fuego central que ilumina al Sol. Entre este fuego y la Tierra da vueltas la contra-Tierra protectora, la cual no puede verse desde el hemisferio donde se pensaba que vivía la población terrestre. Los cuerpos celestes, incluidos los otros cinco planetas conocidos, giran en trayectorias circulares dentro de una envoltura de fuego.⁴

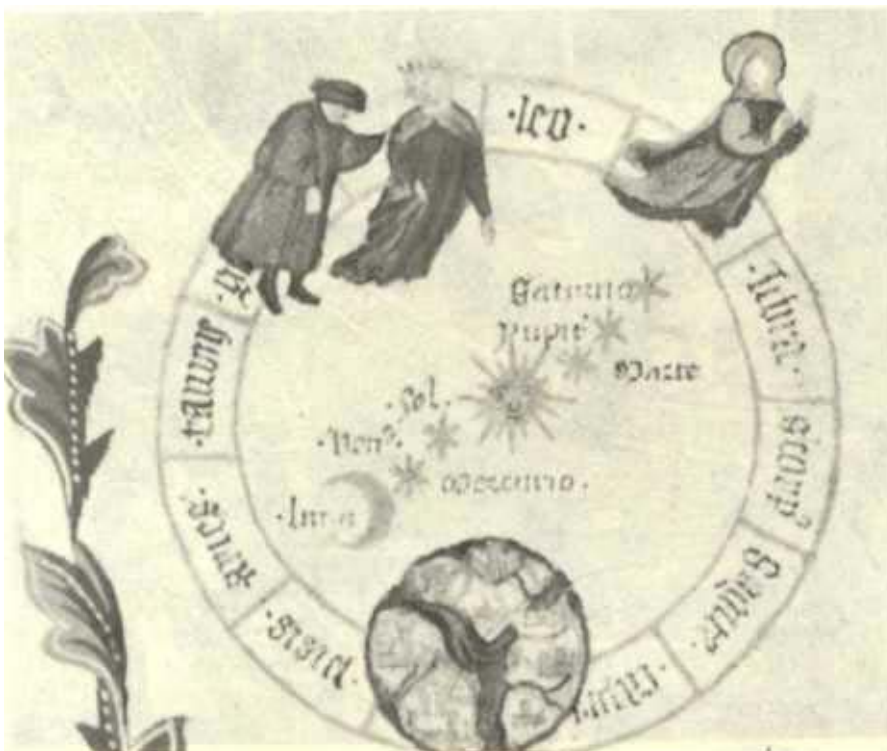
Al comenzar el periodo de la decadencia de la *polis* griega, Platón (428-347 a.n.e.) utilizó algunos elementos de los pitagóricos para plantear la importancia de la geometría en el estudio de la realidad; en particular, la importancia de la esfera. Así lo señala en su diálogo "Timeo":

El mundo es, en efecto, la cosa más bella que se ha producido y su creador la mejor de las causas. El universo así engendrado ha sido, pues, formado según el modelo de la razón, de la sabiduría y de la esencia inmutable... En cuanto a su forma, le dio la más conveniente y más apropiada a su naturaleza... Por esto redondeó al mundo hasta hacer de él una esfera... que es la más perfecta de las figuras y la más semejante a sí misma, porque pensó que lo semejante es infinitamente más bello que lo desemejante.⁵

En lo que al movimiento se refiere, Platón propone que Dios

...atribuyó un movimiento apropiado a la forma de su cuerpo, de los siete movimientos, el que se relaciona más estrechamente con la inteligencia y el pensamiento, quiso por consiguiente que el mundo girara sobre sí mismo y alrededor del mismo punto con un movimiento uniforme y circular.⁶

Platón, al mismo tiempo, señala la inutilidad de los sentidos para conocer la realidad profunda de las cosas, a la cual sólo se puede tener acceso mediante la razón. En este sentido, aconseja que los astrónomos no deberían intentar explicar la esencia de los fenómenos sino contentarse con describir, utilizando la geometría, sus observaciones. De esta posición filosófica proviene el instrumentalismo de los neoplatónicos, quienes para explicar el



complicado movimiento de los planetas —que a simple vista parecen frenarse y, formando un lazo, retroceden sobre sus mismos pasos— elaboraron sistemas de esferas concéntricas para “salvar los fenómenos”.

Para Eudoxio (408-355 a.n.e.), discípulo de Platón, cada planeta se halla situado en la esfera interior de un grupo de dos o más de ellas, interconectadas y concéntricas, cuya rotación simultánea en torno a diferentes ejes, reproduce el movimiento observado del planeta. Aristóteles señala en su obra que

Eudoxio explicaba el movimiento del Sol y la Luna, admitiendo tres esferas para cada uno de estos astros... Colocaba el movimiento de cada uno de los planetas en cuatro esferas. La primera y la segunda eran las mismas que la primera y la segunda del Sol y de la Luna, porque la esfera de las estrellas fijas imprime el movimiento a todas las esferas, y la esfera que está colocada por debajo de ella... es común a todos los astros.⁷

La cosmología propuesta por Callipo (370-330 a.n.e.), discípulo de Eudoxio, también nos es referida por Aristóteles:

La posición de las esferas... era en el sistema de Callipo el mismo que en el de Eudoxio... pero Callipo creía que era preciso añadir otras dos esfera al Sol y dos a la Luna... y una a cada uno de los planetas...⁸

En la gran síntesis y remodelación que Aristóteles (384-322 a.n.e.) hace del conocimiento de la época, aparecen la esfera y el círculo en un lugar prominente. Los siguientes fragmentos, extraídos de su obra, señalan la importancia que para él tenían tales figuras:

Hay algo que se mueve con movimiento continuo, el cual es el movimiento circular... todo cuerpo esférico es eterno e incapaz de reposo...⁹

El Universo es un todo continuo, una esfera redondeada con tal exactitud, que no se le puede comparar ninguna obra del arte humano.¹⁰



Con Aristóteles se cierra un periodo en la historia de la filosofía. La preponderancia intelectual de Atenas se traslada a Alejandría, donde Aristarco de Samos (310-230 a.n.e.), llamado “el Copérnico de la Antigüedad”, suponía “que las estrellas fijas y el Sol son inmóviles, pero que la Tierra se mueve alrededor del Sol en un círculo”.¹¹ Este sistema, no obstante la fama y eminencia de su proponente, tuvo escasa aceptación, debido principalmente a que se le consideraba impío y filosóficamente absurdo, además de que contradecía la experiencia cotidiana.

Hiparco (190-120 a.n.e.), considerado por muchos como el más importante astrónomo observacional de la antigüedad, fue quien inventó la mayo-

ría de los instrumentos utilizados por los astrónomos hasta el siglo XVII y además compiló el primer catálogo de estrellas. El sistema propuesto por Hiparco consistía en un pequeño círculo, el epiciclo, que giraba con un movimiento uniforme alrededor de un punto situado sobre la circunferencia de un segundo círculo en rotación, el deferente. El planeta estaba situado sobre el epiciclo y el centro del deferente coincidía con el centro de la Tierra. Hiparco también introdujo los epiciclos menores y las excéntricas. La excéntrica es un deferente cuyo centro se halla desplazado respecto al de la Tierra. Los epiciclos mayores, de gran tamaño, servían para explicar las grandes variaciones cualitativas de los planetas, mientras



Nicolás Copérnico

que los epiciclos menores eran círculos complementarios para eliminar pequeños desacuerdos cuantitativos entre teoría y observación. En el sistema de Hiparco desaparecía toda posibilidad de plausibilidad. Su aceptación se debió a que eliminaba todas las dificultades existentes, agregando epiciclos cuando así se requería.¹²

El sistema de Hiparco fue perfeccionado por Claudio Tolomeo (siglo II), que en su libro *Sintaxis matemática*, conocido durante la Edad Media como *Almagesto*, añade el ecuante y utiliza la excéntrica para explicar el movimiento del Sol. El ecuante es el punto con respecto al cual el movimiento planetario es circular uniforme. En el *Almagesto* se recopila la parte esencial de la astronomía antigua, y representa el primer tratado matemático y sistemático que daba una explicación *completa, detallada y cuantitativa* de todos los movimientos celestes. Sus resultados fueron de tal precisión y los métodos que empleó gozaron de tal poder de resolución, que el problema del movimiento de los planetas tomó un sesgo completamente nuevo a partir de Tolomeo. El proyecto de Tolomeo nos lo narra él mismo:

...nuestro problema es demostrar, en el caso de los cinco planetas, así como en el caso del Sol y la Luna, que todas sus irregularidades aparentes son producidas por medio de movimientos regulares y circulares (ya que estos son los propios a la

naturaleza divina de las cosas, las cuales son ajenas a las disparidades y desórdenes).¹³

Y al referirse al orden de las esferas de los cinco planetas, señala que "...todas estas esferas están más cercanas a la Tierra que la esfera de las estrellas fijas y más lejanas de la Tierra que aquella de la Luna."¹⁴

El problema de los planetas se había convertido en una simple cuestión de disposición de los diversos elementos que entraban en juego y se atacaba básicamente a través de una redistribución de los mismos. La pregunta que se planteaban los astrónomos era: ¿qué combinación particular de deferentes, excéntricas, ecuanes y epiciclos puede explicar los movimientos planetarios con la mayor simplicidad y precisión?

Con el advenimiento del cristianismo como religión del Estado romano en el siglo IV, el proceso cognoscitivo sufrió un doloroso retroceso, y nos encontramos con que San Lactancio (260-340), en el tercer volumen de sus *Instituciones divinas*, con el título de "Sobre la falsa sabiduría de los filósofos", ataca, con argumentos bastante ingenuos, la redondez de la Tierra, gestándose a través de la obra de otros autores, como Basilio el Grande (329-379) y Severiano (siglo IV), la idea de que el propio firmamento tenía la forma de tabernáculo, pero sin llegar a plantearse una cosmología mínimamente consistente.

El primer sistema cosmológico de la Alta Edad Media es construido en el siglo VI por el monje Cosmas en su *Topographica christiana*, que titula el primero de sus 12 libros "Contra aquellos que, deseando profesar el cristianismo, piensan e imaginan, como los paganos, que el cielo es esférico". En su obra, Cosmas plantea que la Tierra debe tener la forma del sagrado tabernáculo de Moisés, el cual, según se narra en el Éxodo, era dos veces más largo que ancho. En esta concepción, la Tierra está rodeada por el océano, y éste está rodeado por una segunda Tierra, en la que se encontraba el Paraíso, y de la cual cruzó Noé con su arca.

Esta concepción prevalecerá en el occidente cristiano hasta aproximadamente los siglos XI o XII, con la única excepción del eclesiástico inglés, llama-



Tycho Brahe

do Veda el Venerable (673-735), quien fue el único que en este periodo afirmó inequívocamente que la Tierra era una esfera.¹⁵

Por el contrario, en oriente, a partir del siglo VII, el mundo musulmán convirtió Bagdad y Damasco en centros culturales en los que se preservó y desarrolló el saber de la antigüedad clásica.

El más famoso astrónomo árabe fue Al Battani (Albatenius) (siglo IX), quien en su *Opus astronomicum* señala:

...he decidido corregir y aclarar todas estas cuestiones, usando los métodos propuestos por Tolomeo en su libro *Almagesto*, caminando sobre sus huellas y siguiendo sus preceptos.¹⁶

En lo que a la filosofía se refiere, Al Farabi (872-950) establece una línea filosófica que intenta realizar una síntesis aristotélico-platónica en la cual

...de Dios sólo procede directamente su inteligencia, constituyendo el mundo de las ideas divinas. De éste procede la potencia que constituye la primera esfera. El orden de las cosas se estructura según una jerarquía en la que el Ser Único o Principio Divino es la causa primera. Le siguen las causas segundas o inteligencias de las esferas. Los cuerpos también comprenden seis géneros, siendo el primero de ellos el cuerpo de las esferas celestes.¹⁷

Ibn al-Haytam (962-1038), matemático y físico, apodado Tolomeo II, introdujo el concepto de esferas celestes en sus investigaciones astronómicas.¹⁸

La sistematización definitiva de la sabiduría del mundo musulmán está representada por Ibn Sina (Avicena) (980-1037), para el cual:

Los seres vivos proceden del flujo creador en forma jerarquizada, dando nacimiento a las 10 esferas con sus 10 almas motoras y sus 10 inteligencias. Estas esferas son: 1. La esfera extrema. 2. La esfera de las estrellas fijas. 3. La esfera de Saturno. 4. La esfera de Júpiter. 5. La esfera de Marte. 6. La esfera del Sol. 7. La esfera de Venus. 8. La esfera de Mercurio. 9. La esfera de la Luna. 10. El mundo sublunar. A cada una de las esferas corresponde una inteligencia.¹⁹

Para Avicena el mundo celeste carece de figura y gira en círculo, mientras que el mundo terrestre tiene muchas figuras, cambia y su materia puede recibir formas diferentes. Esta materia se produce a partir del movimiento circular.²⁰

El punto más alto de la cultura árabe se dio en Córdoba, la Perla de Al Andalus, con la extraordinaria obra de Ibn Rushd (Averroes) (1126-1198), en cuya cosmología los cuerpos celestes son eternos, incorruptibles y dotados de un movimiento perpetuo continuo y circular que es la perfec-

ción misma. Para él, cada una de las esferas celestes gira dentro de su órbita específica y este orden universal es necesario y perfecto. No es un accidente ya que el movimiento circular es parte de la esencia, y su alteración o desaparición resultaría en su propia liquidación.²¹

A partir del siglo XII, con la fundación de diversas universidades, el occidente cristiano recupera el discurso aristotélico, convirtiéndolo en el centro de la cultura. En lo que a cosmología se refiere, el planteamiento tolemaico es asumido plenamente, y esta combinación de Aristóteles y Tolomeo se ve tamizada por la óptica cristiana, como se observa en la obra de Tomás de Aquino (1225-1274), quien en su adecuación de Aristóteles con Cristo señala lo siguiente:

...de todos los tipos de movimiento a los que podría verse sometido, el suyo es el circular, el que produce un mínimo de alteraciones, ya que la esfera, considerada como un todo, no cambia de lugar.²²

Y, además,

...no parece posible que Cristo se haya elevado más allá de todos los cielos a menos que [las esferas de cristal de] estos se hayan dividido, lo cual es imposible.²³

Esta cosmovisión afecta todas las experiencias de la cultura de la época, y no extraña encontrar que en la obra de Dante (1265-1321), "el gran plan del Universo" está diseñado basándose en la esfera:

No obstante, más allá de todas estas [esferas cristalinas], los católicos colocan el Empíreo... y admiten que permanece en reposo porque todas y cada una de sus partes tiene consigo lo que pide su materia. Ésta es la razón por la que el "primum mobile" [o la novena esfera] se mueve con tan gran velocidad, pues el anhelo que sienten todas sus partes por unirse con las del cielo más tranquilo la hace girar con tan gran deseo que su velocidad es casi incommensurable. Este reposado y pacífico cielo es la sede de la suprema Divinidad, la única que puede con-

templarse a sí misma con toda perfección.²⁴

La luz y el amor le rodean de un círculo, como él rodea a los restantes cielos, círculo que rige solamente Aquel en quien está comprendido.²⁵

El sistema tolemaico continuó prevaleciendo durante más de dos siglos, como se observa en la obra del alemán Georg Peurbach (1423-1461), quien señala:

El sol tiene tres órbitas, separadas entre ellas por todas partes y también contiguas unas a las otras. La más alta de ellas es concéntrica con el mundo en su superficie convexa, pero excéntrica en su superficie cóncava. La más baja, por otro lado, es concéntrica a su superficie cóncava, pero excéntrica a su convexa. La tercera, sin embargo, situada entre ellas, es excéntrica al mundo en ambas de sus superficies convexa y cóncava. Una órbita cuyo centro es el centro del mundo se dice ser concéntrica con el mundo, y una órbita cuyo centro es otro que el centro del mundo es excéntrica... Estas tres órbitas requieren de dos centros. La superficie convexa de la más alta y la cóncava de la más baja tienen el mismo centro, que es el centro del mundo. De este hecho resulta que la esfera total del Sol, al igual que la esfera total de cualquier otro planeta, se dice son concéntricas con el mundo.²⁶



Johann Kepler



Galileo Galilei

En 1543, Copérnico (1473-1543) recibe en su lecho de muerte un ejemplar de su obra, *De revolutionibus orbium coelestium*, con la cual se inicia la revolución científica de los siglos XVI y XVII.

A pesar del carácter revolucionario del planteamiento heliocéntrico de Copérnico, en su obra siguen presentes las ideas relativas a la perfección del círculo y de la esfera, como se constata en el índice del Libro Primero del *Revolutionibus orbium coelestium*:

Capítulo I: El Mundo es esférico

Capítulo II: La Tierra también es esférica

Capítulo III: De cómo la Tierra junto con el agua forman un globo

Capítulo IV: El movimiento de los cuerpos celestes es regular y circular, perpetuo o compuesto por movimientos circulares

Capítulo V: Acerca de si el movimiento de la Tierra es circular y de su posición.²⁷

El sistema heliocéntrico planteaba un problema ideológico fundamental a los astrónomos, el cual fue resuelto por algunos ateniéndose a lo que dictaba el prólogo apócrifo del *Revolutionibus*, escrito por Andreas Osiander, en el que se señalaba que la órbita terrestre era una ficción matemática que permitía calcular la posición de los planetas como si la Tierra se desplazara, sin tener que preocuparse ni comprometerse con la realidad física del modelo. Erasmus Reinhold (1511-1553) fue el primer astrónomo que utilizó el modelo copernicano para hacer cálculos y publicar unas tablas astronómicas, las *Tablas prusianas*, sin declararse a favor del movimiento de la Tierra. En su ejemplar del *Revolutionibus*, Reinhold escribió en rojo, con una hermosa y cuidada letra:

Axioma astronómico: El movimiento celestial es uniforme y circular o compuesto de movimientos uniformes y circulares.

Así también, escribió que:

La órbita de Mercurio es una excéntrica en una excéntrica en un círculo excéntrico con un epiciclo.²⁸

El mayor de los astrónomos de la segunda mitad del siglo XVI, Tycho Brahe (1546-1601), construyó un sistema que combinaba las ventajas astronómicas del discurso copernicano y las ideológicas del tolemaico, prevaleciendo las órbitas circulares. En el sistema ticomónico, la Tierra conserva su lugar privilegiado en el centro del Universo, pero los cinco planetas giran en torno al Sol y, junto con él, todo el sistema alrededor de la Tierra. Aunque Tycho mantiene las esferas y los círculos, el tesoro de la enorme cantidad de datos de gran precisión que calculó, iba a ser fundamental para la obra de Kepler.²⁹

Kepler (1571-1631), al estudiar la órbita de Marte, que es la más excéntrica de todas, encuentra que la órbita circular no concuerda con los datos observacionales:

...la órbita del planeta no forma un círculo... se curva hacia adentro en ambos lados y hacia afuera en los extremos opuestos. Una curva así se llama un óvalo.³⁰

El óvalo que Kepler encontró distorsiona el sueño eterno de la armonía de las esferas, que se hallaba incluso en el inicio de sus propias investigaciones. Es tal la entronización de los conceptos de perfección, que Kepler mismo señala, cuando los datos le imponen la forma oval en las órbitas, que solamente ha encontrado "una carreta llena de estiércol: el óvalo".

Kepler trabajó desesperadamente por ajustar su óvalo con alguna forma geométrica regular sin darse cuenta de que era una elipse, y no fue sino hasta después de enormes esfuerzos que halló la solución:

Mi fatigoso trabajo llegó a su fin cuando [establecí], por medio de pruebas extremadamente laboriosas y numerosas observaciones, que la trayectoria de un planeta en el cielo no es un círculo, sino que es una trayectoria oval perfectamente elíptica.³¹

Con la obra de Kepler la esfera y el círculo pierden su lugar de privilegio como formas fundamentales de la naturaleza. Sin embargo, y por ser precisamente una época de transición, algunos se resistían a abandonar la obsesión

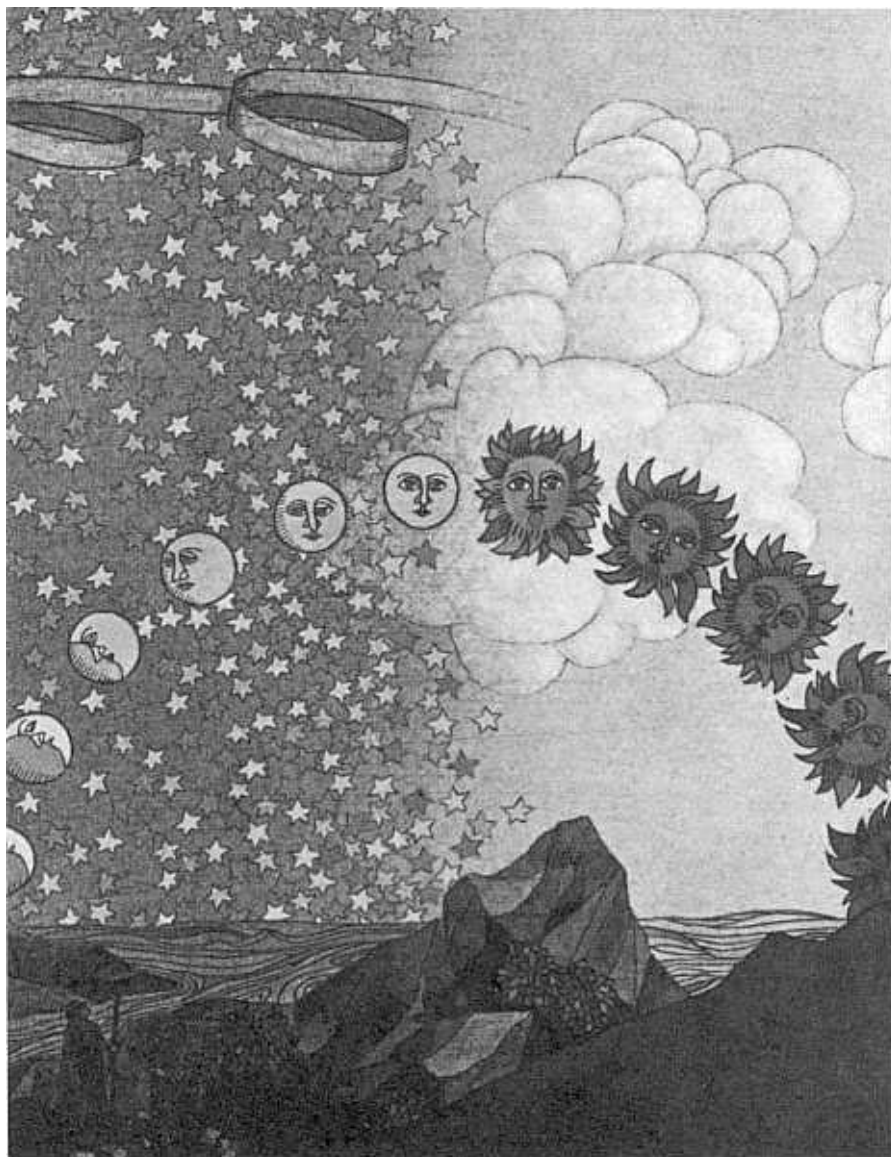
por las esferas. Galileo (1564-1642) ignoró las tres leyes de Kepler, los descubrimientos que éste realizó en óptica y el telescopio kepleriano, pues defendió firmemente hasta el fin de su vida los círculos y epiciclos que consideraba como única forma concebible del movimiento en el cielo. Por otro lado, consideraba que "un movimiento oval parece no solo impensable, sino también nada consonante con las apariencias".³²

Por sus trayectorias no circulares, Galileo sugería que los cometas no eran cuerpos reales, sino aparentes, como el arco iris y el halo y los denominaba "planetas-monos de Tycho". Sin embargo, Galileo también contribuyó a desterrar el círculo y la esfera como las figuras preferidas por la naturaleza ya que, para la física terrestre, planteaba que "un proyectil que se desliza con un movimiento compuesto por un movimiento horizontal y uniforme y por un movimiento descendente, naturalmente acelerado, describe, con dicho movimiento, una línea semiparabólica".³³

Otro contemporáneo de Kepler, Bacon (1561-1621), señala en su obra:

...El segundo error consiste en suponer que el cielo, supuestamente hecho de una quintaesencia y libre por completo de sustancias elementales, no es susceptible de acciones turbulentas como la compresión, la dilatación, la repulsión, la cesión y otras similares... Sin embargo, de aquí ha surgido esa caprichosa y artificiosa multiplicación de círculos en movimiento los unos dentro de los otros con tal suavidad y lubricación que no encuentran resistencia ni obstrucción alguna: todo esto no son más que fantasías y una burla a la naturaleza de las cosas.

...El cuarto error es creer que todos los movimientos celestes se llevan a cabo en círculos perfectos, penoso requisito que ha alumbrado prodigios como las excéntricas y los epiciclos. Si se hubiera consultado a la naturaleza, se habría constatado que, mientras que el movimiento regular y uniforme sigue círculos perfectos, el movimiento regular pero multiforme —que es el que se encuentra en muchos cuerpos celestes— se lleva a cabo a lo largo de trayectorias diferentes...³⁴



La panoplia Celeste

Es así como en Kepler se resumen la innovación de Copérnico y una nueva actitud epistemológica ante los datos observacionales. Actitud que aprendió de Tycho y que lo obligó a ajustar con todo detalle la teoría con los hechos. La importancia de la obra de Kepler queda expresada en palabras de A. Koestler:

...la formulación de las leyes de Kepler es uno de los hitos de la historia. Fueron las primeras "leyes de la naturaleza" en el sentido moderno... Esas leyes divorciaron la astronomía de la teología, y la unieron a la física. Por último, pusieron fin a la pesadilla que había sido la obsesión de

la cosmología durante los últimos dos milenios: la obsesión de las esferas que giran sobre esferas.³⁵

Notas

- 1 Cf. A. Koestler, 1981, *Los sonámbulos*, México, p. 23; T. Kuhn, 1978, *La revolución copernicana*, Barcelona, p. 54.
- 2 Cf. A. Koestler, *op. cit.*, p. 32; F. Copleston, 1974, *Historia de la filosofía*, vol. 1, 2a. ed. Ariel, Barcelona, p. 43.
- 3 Parménides, "Poema", verso 40, en *Parménides Zenón Meliso (Escuela de Elea)*, Fragmentos, Aguilar Argentina, Buenos Aires, 1975, p. 52.
- 4 Cf. A. Koestler, *op. cit.*, p. 43.
- 5 Platón, 1979, *Diálogos*, 18a. ed. Porrúa, México, p. 671.
- 6 *Ibid.*, p. 674.

- 7 Aristóteles, 1980, *Metafísica*, 8a. ed. Porrúa, México, p. 210.
- 8 *Ibid.*, p. 211.
- 9 *Ibid.*, p. 208.
- 10 Aristóteles, *De Motu*. Citado en I. Dürring, 1987, *Aristóteles. Exposición e interpretación de su pensamiento*, UNAM, México, p. 571.
- 11 Arquímedes, *El arenario*, Citado en A. Koestler, *op. cit.*, p. 51.
- 12 Cf. T. Kuhn, *op. cit.*, p. 94; Tolomeo, *Almagesto*, libros III, IV y VII, en *Ptolemy, Copernicus, Kepler, Great Books of the Western World*, vol. 16, Enciclopedia Britannica, University of Chicago, 1952.
- 13 Tolomeo, *op. cit.*, libro IX, cap. 2, p. 270.
- 14 *Ibid.*, cap. 1, p. 270.
- 15 Cf. A. Koestler, *op. cit.*, p. 91; T. Kuhn, *op. cit.*, p. 152; D. J. Boorstin, 1988, *Los descubridores*, Grijalbo, México, pp. 101 y 115.
- 16 G. Abetti, 1983, *Historia de la astronomía*, 2a. ed., FCE, México, p. 79.
- 17 I. Antaki, 1989, *La cultura de los árabes*, Siglo XXI Editores, p. 122. Cf. F. Copleston, *op. cit.*, vol. 2, p. 193; *Historia de la filosofía*, 1981, vol. 3, 5a. ed., Siglo XXI Editores, México, p. 313.
- 18 Cf. *Historia de la filosofía*, *op. cit.*, p. 309.
- 19 I. Antaki, *op. cit.*, p. 129.
- 20 Cf. F. Copleston, *op. cit.*, vol. 2, p. 194; *Historia de la filosofía*, *op. cit.*, vol. 3, p. 318.
- 21 Cf. I. Antaki, *op. cit.*, p. 138; F. Copleston, *op. cit.*, vol. 2, p. 200; *Historia de la filosofía*, *op. cit.*, p. 353.
- 22 T. Kuhn, *op. cit.*, p. 155.
- 23 *Ibid.*, p. 156.
- 24 Dante, "Convivio". Citado en T. Kuhn, *op. cit.*, p. 159.
- 25 Dante, 1977, *Divina Comedia*, Cumbre, México, p. 472.
- 26 G. Peurbach, *New theories on the planets*. Citado en E. J. Aiton, 1987, "Peurbach's Theoriae Novae Planetarium", *Osiris*, 2nd. serie, 3, n. 5-44, 9.
- 27 N. Copernicus, *On the revolutions of the heavenly spheres*, en *Ptolemy, Copernicus, Kepler*, *op. cit.*, p. 501.
- 28 R. S. Westman, "The Melancthon Circle, Rheticus and the Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory", *Isis*, 66, n. 232 (junio, 1975), 176.
- 29 Cf. T. Kuhn, *op. cit.*, p. 263; Boorstin, *op. cit.*, p. 301; A. Koestler, *op. cit.*, p. 278.
- 30 J. Kepler, 1973, *Astronomia nova*. Citado en A. Koyré, *The astronomical revolution*, Cornell University Press, Nueva York, p. 244.
- 31 *Ibid.*, p. 225.
- 32 Galileo-Kepler, 1988, *El mensaje y el mensajero sideral*, Alianza Editorial, México, p. 89.
- 33 G. Galilei, 1981, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid, p. 384.
- 34 F. Bacon, 1989, *Teoría del cielo*, Tecnos, Madrid, pp. 103 y 105.
- 35 A. Koestler, *op. cit.*, p. 307.