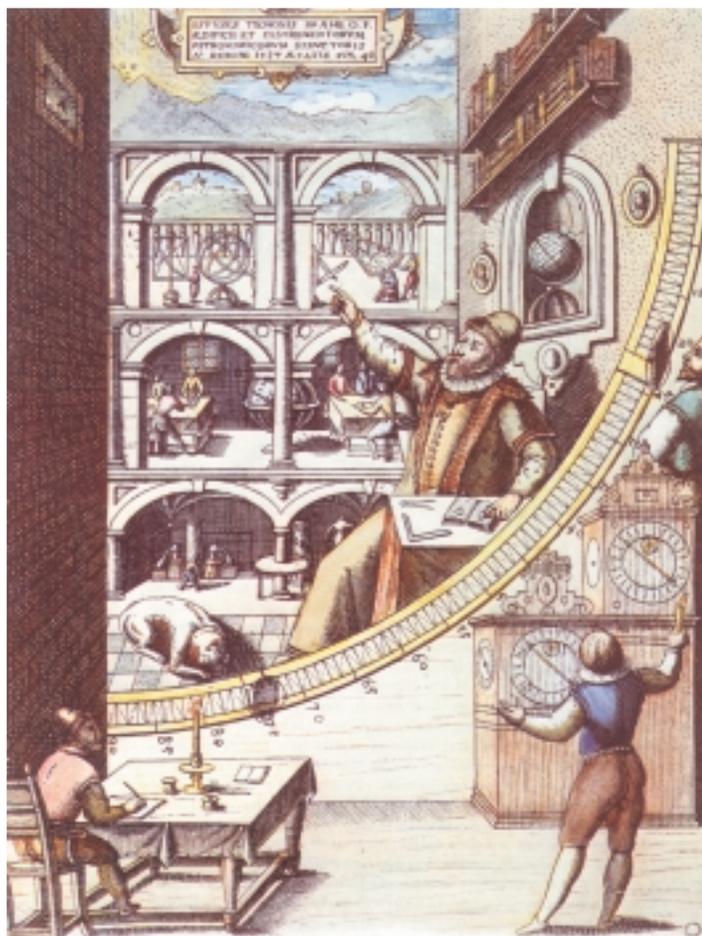


# El paso del geocentrismo al heliocentrismo\*

GERMÁN GUERRERO PINO\*\*



## Resumen

En la presente exposición se quiere trazar de manera muy gruesa las grandes directrices que llevan de la concepción geocéntrica del universo a la heliocéntrica sacrificando hechos históricos —sin duda importantes— para una mejor comprensión de la tesis principal que se defiende. Por ello me detengo básicamente en mostrar la transformación y el debilitamiento de los principios básicos sobre los cuales se montó el geocentrismo, de modo que al mismo tiempo esto me permite destacar el proceso de consolidación de los presupuestos sobre los que va a descansar el heliocentrismo. Por tanto, de este complejo proceso, se analiza principalmente los aspectos astronómicos sin profundizar en los físicos, matemáticos y socioculturales correspondientes.

## Abstract

In this paper I show an analysis of the principal guidelines that lead to geocentric astronomy to heliocentric astronomy. I make this sacrificing important historical fact for a best understanding the main thesis that I present. In this way I show the development of the basic principles that support geocentric astronomy, both its transformation and its breakdown. This same analysis allows me show the consolidation of the main assumptions that supports heliocentric astronomy. Therefore, of this complex process, I show the matters belong to astronomy alone, without study in depth the physical, mathematical, social and cultural aspects.

\* Versiones anteriores de éste escrito las he presentado en Jairo Roldán, Yoav Ben-Dov y Germán Guerrero, LA COMPLEMENTARIEDAD: UNA FILOSOFÍA PARA EL SIGLO XXI, Programa Editorial Universidad del Valle, 2004.

\*\* Ph.D Departamento de Filosofía  
Universidad del Valle

## 1. Introducción

La aparición de la ciencia moderna es uno de aquellos fenómenos que ha interesado tanto a científicos como a historiadores de la ciencia, filósofos de la ciencia y actualmente a los sociólogos de la ciencia. El número de estudios en torno a la transición del pensamiento aristotélico al pensamiento moderno cada vez se acrecienta más, existiendo tantos enfoques del tema como intereses profesionales se suscitan en torno suyo. Esto no quiere decir que no se hayan logrado acuerdos significativos en la caracterización de la ciencia moderna, en contraposición con las formas como el mundo griego pensó la ciencia y la desarrolló. El proceso de consolidación de la ciencia moderna —como, en particular, el de cualquier teoría— se torna supremamente rico puesto que en él no sólo intervienen elementos internos de la disciplina —que en el caso de la ciencia moderna serían la matemática, la física y la astronomía, que ya de por sí lo hacen complejo— sino que también se encuentra emparentado con elementos externos: filosóficos, religiosos, sociológicos y culturales.

De tal manera que abordar el tema de la aparición de la ciencia moderna requeriría de un mayor espacio del que estamos dispuestos a destinarle en el presente escrito. Aquí nos concentramos sólo en un aspecto de este fenómeno: el paso de la teoría geocéntrica a la teoría heliocéntrica. Se quiere trazar de manera muy gruesa las grandes directrices que llevan del pensamiento geocéntrico al heliocéntrico sacrificando hechos históricos, sin duda importantes, para una mejor comprensión de la tesis principal que se defiende. Por ello nos detenemos básicamente en mostrar el debilitamiento y transformación de los principios básicos sobre los cuales se montó el geocentrismo, de

modo que al mismo tiempo esto nos permite destacar el proceso de consolidación de los presupuestos sobre los que va a descansar el heliocentrismo. Por tanto, se analizará, sin dejar de lado cierto instrumental técnico, los cambios que se dieron al pasar de una concepción geocéntrica del mundo a una concepción heliocéntrica, atendiendo principalmente a aspectos astronómicos sin profundizar en los físicos, matemáticos y socioculturales correspondientes. A su vez, como se dijo, el mismo análisis y recorrido permitirá mostrar de alguna forma la modificación en la manera de tratar el estudio de la naturaleza: en general, se destacará cómo la física aristotélica dominada por la observación directa, por la negación de la importancia de las matemáticas en la investigación física y por una reflexión cualitativa y especulativa es sustituida gradualmente por un pensamiento que pretende, primero, encontrar leyes matemáticas que gobiernen los cielos —pues la naturaleza es matemática— y, segundo, trascender la observación inmediata a través de instrumentos.

Debemos comenzar aclarando que lo que vamos a llamar *geocentrismo* no se circunscribe propiamente a la teoría astronómica desarrollada por Ptolomeo (s. II d.c.) en el *Almagesto*. Este término engloba la astronomía aristotélica, la ptolemaica y la interpretación que la escolástica hizo de los textos de la antigüedad fusionando en forma ejemplar la cosmología y física aristotélica con la explicación celeste o astronómica que alcanzó su máximo grado de precisión con Ptolomeo. Por su parte, para efectos de la reflexión general presente podemos considerar que el pensamiento cosmológico y físico griego se encuentra sistematizado en algunos de los escritos de Aristóteles (384-322 a.C.) y que además éste tiene peculiaridades que lo distinguen del pen-

samiento astronómico alejandrino consumado en la obra de Ptolomeo (estas diferencias se mostrarán en lo que viene a continuación).

Considero que básicamente son dos los principios que sustentan la teoría geocéntrica; en pocas palabras, estos son: el principio de circularidad y uniformidad, y el principio de diferencia entre mundo terrestre y celeste. La tesis es, entonces, que romper con estos dos principios conlleva la caída del geocentrismo y la instauración del heliocentrismo en donde el mundo se hace infinito, no hay una distinción entre mundo terrestre y celeste, y no se privilegia el movimiento circular uniforme.

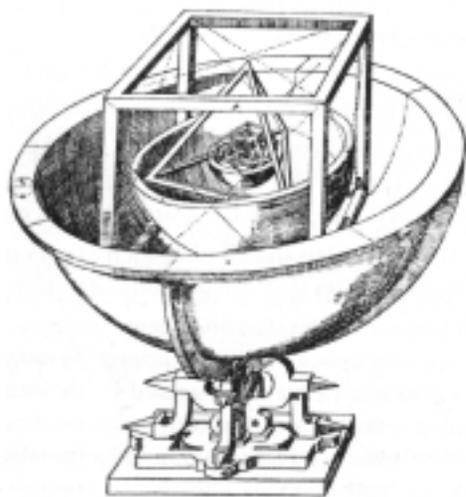
## 2. Teoría geocéntrica

La forma del mundo para el griego no se aleja mucho del sentido común o de la impresión que se lleva una persona al observar la noche estrellada por un tiempo prolongado. El firmamento se nos presenta como una gran bóveda o semiesfera en la que se encuentran enclavadas las estrellas y los planetas. Al transcurrir los minutos detectamos que el conjunto de estrellas se mueven al unísono manteniendo la configuración existente entre ellas describiendo semicircunferencias que tienen como centro nuestro punto de observación, la Tierra. Esta corta observación nos permite comprender por qué las civilizaciones babilónica y egipcia, desde aproximadamente el siglo VIII antes de nuestra era, para orientarse en este mar de estrellas convinieron en agruparlas en constelaciones y darles nombres de acuerdo con formas muy familiares. Es así que los babilonios y egipcios hicieron un mapa de los cielos definiendo las constelaciones y dando su ubicación relativa.

Si continuamos nuestras observaciones nocturnas durante varios días llega un momento en que nuestra mirada se hace más aguda y po-

drems detectar que no todo en el cielo se mueve de la misma forma. Hay puntos luminosos que a simple vista no se distinguen de las estrellas y que si bien se mueven no lo hacen con todo el conjunto de estrellas. Es precisamente esta diferencia de movimientos la que permite distinguir entre planetas y estrellas. En ocasiones estos puntos luminosos especiales se retrasan y adelantan en relación con la constelación en donde se encuentran, describiendo una especie de bucle para continuar su travesía a lo largo de un grupo de constelaciones especiales, las constelaciones del zodiaco. A este número reducido de puntos luminosos, que no pasan de cinco observables a simple vista, se les dio el nombre de planetas (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno); queriendo decir con ello que son cuerpos vagabundos o errantes respecto al movimiento ordenado de las estrellas, de las estrellas fijas como se les decía. Las estrellas se dice que son fijas precisamente porque no hay movimiento relativo entre ellas, sino que todas en conjunto se mueven (Figura 1).

Por otra parte, aunque los planetas no tienen el movimiento regular observado en las estrellas, estos poseen cierta regularidad en su movimiento a través de las constelaciones del zodiaco, tardando un tiempo determinado, fijo, para ubicarse de nuevo en la constelación de partida. Este tiempo es el que se conoce como año del planeta respectivo. De tal forma que de todas las observaciones precedentes no es difícil concluir que los cielos tienen la forma de una gran esfera que gira uniformemente y que el grupo de estrellas que desaparecen en el horizonte durante la noche completan el círculo de su recorrido viajando con un movimiento igualmente uniforme sobre la otra cara que no observamos de la Tierra y que a la noche siguiente podremos encontrar



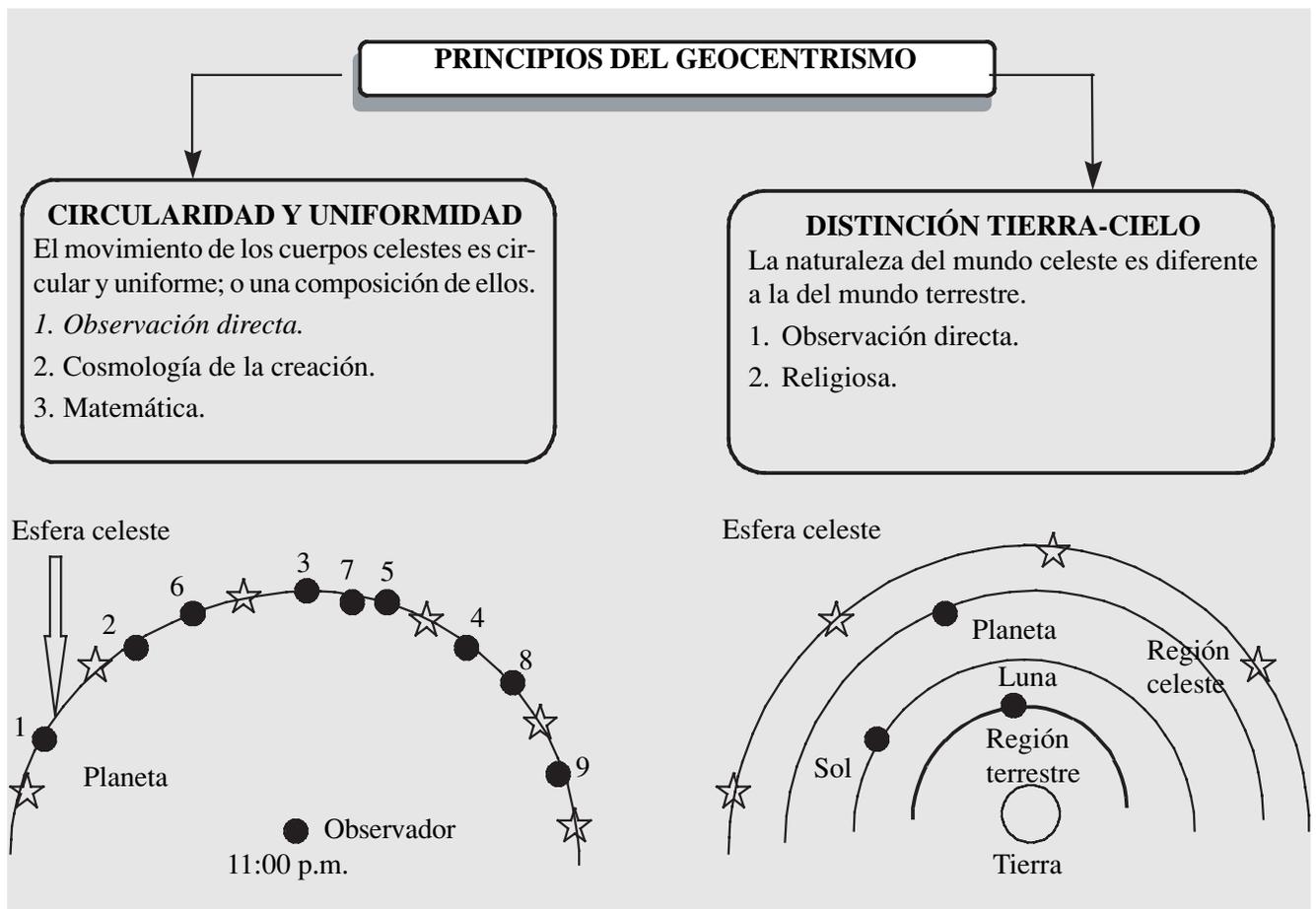


Figura 1

a este mismo grupo de estrellas en el firmamento<sup>1</sup> (ver parte izquierda de la figura anterior).

La justificación anterior del principio de circularidad y uniformidad que dominó a la astronomía geocéntrica recurre a la observación directa, pero se encuentran otras justificaciones que no pueden considerarse de menor importancia y que son de interés; una de ellas involucra aspectos cosmológicos sobre la creación del mundo mezclados con elementos estéticos o matemáticos. Tenemos, por ejemplo, una bella descripción de la defensa de la circularidad y uniformidad en el *Timeo* de Platón, en donde se plantea que el mundo debió ser creado por dios sin ojos, sin miembros, sin oídos porque se autocontiene y

es todo. El mundo no requiere de estos órganos porque más allá de él no hay nada. Esta forma de concebir el mundo a la manera de un organismo era bastante característica de la física y la cosmología griega. Con las propias palabras de Platón:

“Diole (su constructor), por otra parte, una figura adaptada y congénere con él. Mas a viviente que hubiera de incluir en sí mismo todos los vivientes, la figura adaptada sería la que comprendiera en sí todas cuantas figuras hay. Por lo cual lo torneó esferoide y circular—distante igualmente y por todas partes de medio a extremos— que es, de todas las figuras, la más perfecta y semejante a sí misma, creyendo ser miles de miles de veces menor lo semejante que lo desemejante. Ali-

1. Lo anterior, en palabras más técnicas, constituye la *teoría de las dos esferas*. La esencia de esta teoría Kuhn la describe así: «a partir del siglo IV antes de nuestra era, para la mayor parte de los filósofos y astrónomos griegos la Tierra era una esfera inmóvil muy pequeña que estaba suspendida en el centro geométrico de una esfera en rotación, mucho mayor, que llevaba consigo a las estrellas. El Sol se desplazaba por el espacio comprendido entre la Tierra y la esfera de las estrellas. Más allá de la esfera exterior no había nada, ni espacio ni materia. Esta no fue la única teoría sobre el universo mantenida durante la antigüedad clásica, pero sí fue la que contó con mayor número de defensores» (*La Revolución Copernicana*, Barcelona, Ariel, 1978, p. 55).

só en círculo y exactísimamente todo lo externo de ella, por muchas razones... Por no hacerle falta alguna manos con que agarrar o defenderse de algo, creyó El ser en vano añadirselas; lo mismo, pies o cualquier clase de aparatos para apoyarse. Le asignó por movimiento el apropiado a su cuerpo,... por esto mismo haciéndolo rodar en el mismo lugar y en sí mismo hizo que quedara revolviéndose con movimiento circular.”<sup>2</sup>

Además, se pregunta Platón, ¿cuál es la figura que es capaz de contener más en sí misma y que puede mantener de manera indefinida el movimiento que se le proporcione? No cabe duda que es la esfera. La circunferencia, cuyas propiedades son extendibles a la esfera, además de ser la figura cuyos puntos son equidistantes de un mismo punto tiene la siguiente propiedad matemática que para la época de Platón era bien conocida y demostrada: dado un perímetro determinado se pueden construir diversas figuras —triángulos y en general polígonos, como también una circunferencia— con áreas muy variables, pero entre todas estas figuras la que tiene máxima área es la circunferencia. Esta propiedad matemática está acompañada de la propiedad física de la inercia de la esfera<sup>3</sup> que mantiene por mayor tiempo su movimiento sobre una superficie pulida en comparación con cuerpos de otras formas; además, este movimiento de rotación de la esfera sobre su propio eje tiene la peculiaridad de asemejarse al reposo ya que la esfera girando sobre sí misma no se traslada de un punto a otro. En otras palabras, el creador del mundo recurriendo a su perfección le dio a éste la forma de esfera que es la más perfecta de to-

das y le proporcionó un movimiento que se conserva por siempre.

Ahora bien, en cuanto al segundo principio que sustenta la astronomía geocéntrica, se tiene que los griegos expusieron un buen número de razones para mostrar la naturaleza diversa de los cielos y la región terrestre (ver parte derecha de la figura anterior). Esta línea de pensamiento está claramente expuesta por Aristóteles y entre las razones que alega unas tocan con la observación directa, mientras que otras caen en el campo teológico. En primer lugar, mientras la región terrestre es el mundo de lo corruptible y cambiante, el cielo es el mundo de lo inmutable, de lo siempre constante. Pruebas del cambio e inestabilidad del mundo terrestre se encuentran en el nacimiento, crecimiento y muerte de los hombres, los animales y las plantas, como también en los cambios climáticos y atmosféricos. Este tipo de convulsiones, o algo semejante o alejado de ellas, no se presenta en los cielos; en ellos el número de elementos permanece igual e inmodificable y siempre en las mismas circunstancias. En segundo lugar, este modo de apreciar el mundo es coherente con la creencia en que la presencia del hombre no es digna de ser igualada con la de los demás seres que pueblan el mundo. El lugar asignado al hombre por los dioses debe estar de acuerdo con su jerarquía y en tal posición que esté protegido por ellos; como el mundo es esférico tal lugar ha de ser el centro de la esfera, la Tierra, y los dioses ocuparán aquellos lugares que se corresponden con su naturaleza divina, los lugares inmutables y perfectos, la región celeste. A este respecto Aristóteles manifiesta:

*Los principios que sustentan la teoría geocéntrica; en pocas palabras, estos son: el principio de circularidad y uniformidad, y el principio de diferencia entre mundo terrestre y celeste.*

2. Platón, *Timeo*, 33b a 34a. Trad. Juan David García Bacca.

3. Claro está que los antiguos no expresaban esta propiedad de la esfera en términos de la inercia, tal como ésta se entenderá a partir de la mecánica de Newton y que es el sentido con el que se emplea aquí.

Nuestra teoría parece confirmar la experiencia común y ser confirmada por ella. Pues todos los hombres tienen alguna concepción de la naturaleza de los dioses, y todos los que creen en la existencia de los dioses, bárbaros o griegos, coinciden en que el lugar más elevado corresponde a la deidad, presumiblemente porque suponen que las cosas inmortales se pertenecen unas a otras.<sup>74</sup>

El mundo o región terrestre, que Aristóteles llama región sublunar, se extiende hasta los límites de la órbita lunar y de allí en adelante hasta las estrellas fijas se halla el mundo celeste o región supralunar. La teoría aristotélica de los elementos se construye a partir de este principio, siendo el fuego, el aire, el agua y la tierra elementos de la región sublunar y el éter o quintaesencia —un elemento sutil, incorruptible y, en definitiva, divino— compone los cuerpos celestes como las estrellas y planetas. Los cuerpos celestes, de acuerdo con Aristóteles, están enclavados en esferas cristalinas que son su soporte físico para permanecer en sus órbitas y no caer a la Tierra. Por su parte, las esferas cristalinas gozan de una transparencia absoluta ya que están compuestas de éter. Así pues, bajo este esquema de pensamiento es interesante ver que los cometas no provienen del mundo incorruptible sino que se originan en el límite de la región supralunar y sublunar, ya que el carácter de cambio que tiene la presencia de un cometa es incompatible con el hecho de que los cielos sean immaculados.

Los progresos en la astronomía alejandrina se gestaron por una forma de pensar que hizo caso omiso de las especulaciones cosmológicas griegas y asumió como preocupación de primer orden dar una descripción

matemática del movimiento de los astros de manera hipotética. Esta inquietud parece que ya había sido formulada anteriormente por Platón quien supuestamente fue el primero en plantear la cuestión, tal como lo menciona Simplicio en su Comentario a los cuatro libros «Sobre el cielo» de Aristóteles:

Platón parte de la suposición de que los cuerpos celestes están dotados de un movimiento circular, uniforme y siempre regular, y plantea entonces a los matemáticos el siguiente problema: ¿qué movimientos circulares, uniformes y perfectamente regulares habría que adoptar como hipótesis para poder salvar los fenómenos planetarios? [II, 12; p. 488]<sup>75</sup>

La respuesta al interrogante platónico es dada en forma acabada en

la primera mitad del siglo II de nuestra era por Ptolomeo, el astrónomo más distinguido de la segunda escuela alejandrina. Ptolomeo en el *Almagesto* recurre a construcciones geométricas que superponen círculos sobre círculos, en la medida en que sean necesarios. Construcciones tales como epiciclos, excéntricas y ecuantas funcionan como variantes del principio de circularidad y uniformidad. En este sentido, el interés de los alejandrinos no era explicar cómo están constituidos los cielos, y por ello no recurren por ejemplo a las esferas celestes, sino proponer los movimientos circulares que es necesario considerar matemáticamente para describir los movimientos de los planetas, sin que esto quiera decir que tales movimientos son a los que realmente están sometidos (Figura 2).

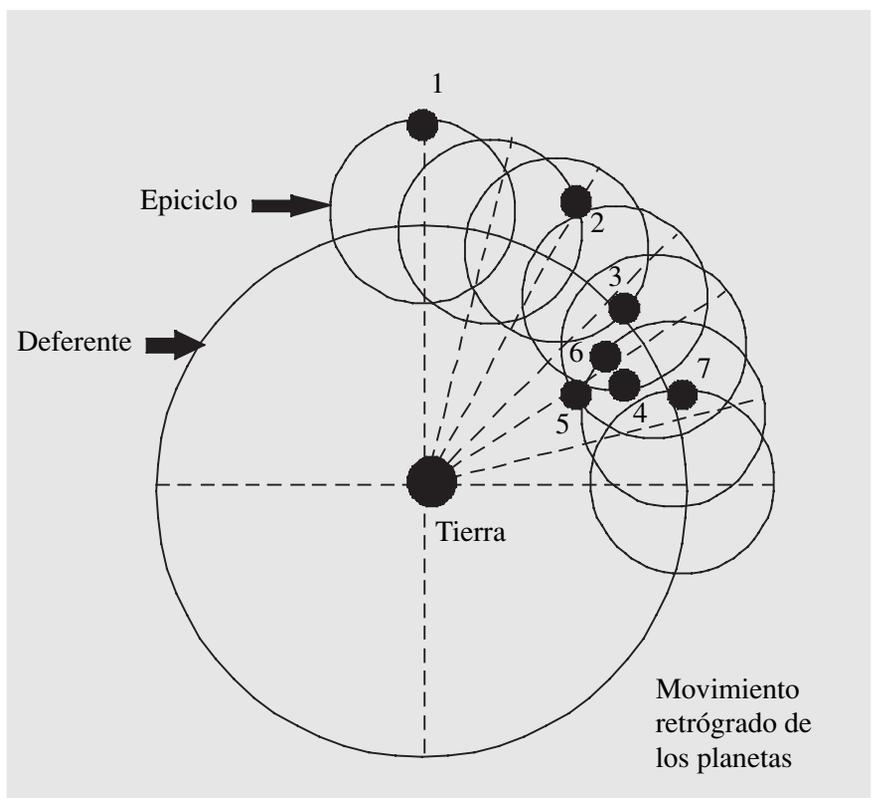


Figura 2

4. Toulmin, S. y Goodfield, J. *La Trama de los Cielos*, trad. Néstor Míguez, Buenos Aires, Eudeba, 1963, p. 121.

5. Citado en Elena, A. *Las quimeras de los cielos*, Madrid, Siglo XXI, 1985, p. 14.

Esta forma de asumir la tarea de la astronomía se suele calificar de *instrumentalista*. Uno de los promotores de esta interpretación fue Pierre Duhem en su famoso ensayo *Sóztein tà phainómena. Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée* (1908); pero como bien plantea A. Elena este enfoque de la astronomía alejandrina corresponde, desde un punto de vista epistemológico, más bien a una suerte de escepticismo justificado que a un instrumentalismo consecuente, puesto que «en ningún caso se entendió el programa *salvar los fenómenos* como una invitación a buscar una fórmula arbitraria para predecir los fenómenos celestes, independientemente de toda posible restricción física».<sup>6</sup>

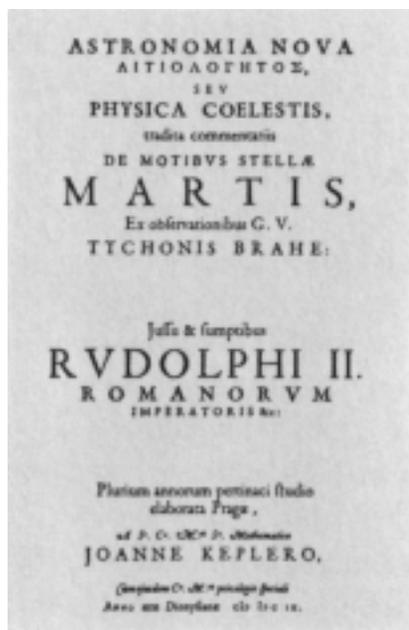
Es así que la teoría geocéntrica de Ptolomeo explica, por ejemplo, el movimiento retrógrado de los planetas (ver la figura anterior), uno de los fenómenos astronómicos más importantes a explicar, junto con la variación del brillo de los astros, recurriendo a una circunferencia llamada deferente que tiene como centro la Tierra y a un epiciclo que es otra circunferencia de radio menor cuyo centro se ubica sobre el deferente. Los períodos de rotación del deferente y del epiciclo se ajustan de acuerdo con el movimiento del planeta que se quiere explicar, de tal manera que producen los bucles correspondientes al movimiento retrógrado. La técnica de epiciclos y deferentes no sólo da cuenta del movimiento retrógrado de los planetas sino que también del aumento del brillo del planeta en el momento de la retrogradación, causado precisamente por el acercamiento del planeta a la Tierra.

### 3. Heliocentrismo antiguo

Antes de ver el paso de una concepción geocéntrica del mundo a

una heliocéntrica vale la pena preguntarnos qué aspectos impidieron la aceptación de una estructura heliocéntrica del universo en la época antigua. El pensamiento antiguo no fue ajeno a la posibilidad de pensar un mundo sin centro en la Tierra e infinito; todo este tipo de consideraciones eran posibles dentro de un pensamiento altamente especulativo como el griego.

La escuela pitagórica, dentro del siglo V antes de nuestra era, fue la primera en proponer un universo no centrado en la Tierra. Su ideal de que todas las cosas están gobernadas por los números y la armonía los llevó a postular como centro del mundo a una gran bola de fuego, el Altar de Zeus, que irradia luz en todos los sentidos y en donde reside el principio de la actividad cósmica. Adicionalmente propusieron la presencia de «la anti-tierra» en una posición opuesta a la Tierra, con el propósito de ajustar a 10 los cuerpos celestes divinos, puesto que para los pitagóricos el 10 (la *tetractys*) es el número perfecto. De tal manera que la estructura del mundo sería como sigue: limitado exteriormente por el Olimpo, el lugar de los dioses; los 10 cuerpos divinos se mueven dando vueltas entre el fuego central y la esfera del Olimpo; el primero de estos cuerpos, el más externo, corresponde a la esfera de las estrellas fijas, a la que le siguen los cinco planetas, luego viene la Luna, después la Tierra y, por último, cerca al fuego central «la anti-tierra». Durante este mismo siglo la concepción atomista de Leucipo y Demócrito, que defendía la idea de un universo compuesto de átomos en movimiento y separados por regiones vacías, implicaba que la Tierra era uno más entre los cuerpos celestes, que no estaba en reposo y no era el centro del universo.



6. Elena, A., *Ibid.*, p. 5. Uno de los propósitos de este libro de A. Elena es precisamente rechazar la tesis de Duhem respecto a la interpretación del «problema de Platón», de modo que su libro está lleno de argumentos que abonan su tesis (ver especialmente pp. 21-39; 145-148). Que la teoría astronómica de Ptolomeo se construye sobre premisas físicas está muy bien destacado por Galileo en su *Consideraciones sobre la opinión copernicana* (1615) (en Copérnico, N., Digges, T. y Galilei, G., *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, Trad., intr. y notas de Alberto Elena, Madrid, Alianza, pp. 80-81).

### HELIOCENTRISMO ANTIGUO

**PITÁGORAS**

1. El número 10 es perfecto
2. Fuego central
3. Anti-tierra

**ARISTARCO**

1. Mediante mediciones astronómicas encontró las distancias relativas: Tierra-Luna; Tierra-Sol; Luna-Sol y sus tamaños relativos.
2. Lo más pequeño debe girar en torno a lo más grande.

**HERÁCLIDES**

Copérnico lo cita como predecesor de sus ideas

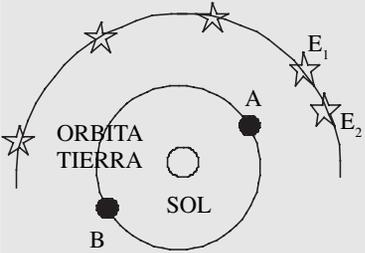
**¿POR QUÉ NO PROSPERÓ EL HELIOCENTRISMO?**

Los cuerpos sobre una tierra en movimiento saldrían expelidos de ella.

¿Qué pasaría con el vuelo de los pájaros, el movimiento de las nubes y los cuerpos lanzados hacia arriba?

*Observación directa:* se «ve» que el sol y las estrellas son los que se mueven.

¿Qué sería de la posición privilegiada del hombre si la Tierra no fuera el centro del mundo?



**PARALAJE**

El brillo y tamaño de E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> vistas desde A deberían ser mayores que vistas desde B. Pero esto no se observa.

Figura 3

Heráclides de Ponto en el siglo IV antes de nuestra era hace ver que el movimiento de los cielos puede ser originado no por el movimiento de la esfera de las estrellas sino por un movimiento de rotación de la Tierra; además aseguró que tanto Venus como Mercurio no giran en torno a la Tierra sino en torno al Sol. Dentro de la escuela alejandrina y acorde con su propuesta de hacer una descripción matemática de los cielos, Aristarco de Samos a mediados del siglo III antes de nuestra era propuso un mundo centrado en el Sol, conclusión que obtuvo no a la manera especulativa de los pitagóricos sino llevado por el cálculo de las distancias relativas entre Sol-Tierra y Luna-Tierra, al igual que del cálculo de los tamaños relativos

del Sol y la Luna respecto al de la Tierra, encontrando que el Sol es mucho mayor que la Tierra. Si tanto el Sol como la esfera de las estrellas fijas son más grandes que la Tierra, se planteaba Aristarco, no es posible que lo mayor gire en torno a lo más pequeño sino que debe darse lo contrario. De lo anterior surge entonces la pregunta: ¿por qué no se arraigó el heliocentrismo en la antigüedad?

El argumento de Aristarco es bastante atractivo y en parte sostenido en mediciones astronómicas, pero puede decirse que las razones en contra del heliocentrismo fueron más convincentes para la época. No sólo se daba que el pensamiento antiguo no estaba preparado para aceptar una idea de este tipo sino

que también los partidarios de la teoría geocéntrica presentaban argumentos poderosos como los que siguen.

Primero, en una Tierra en movimiento los cuerpos sobre su superficie no presentarían la quietud que manifiestan sino que saldrían expelidos por los aires; además, las nubes y pájaros en su vuelo se verían retrasados o adelantados desde la Tierra ya que no comparten el movimiento de ésta; y, por último, al lanzar un cuerpo verticalmente era de esperar que éste no retornara de nuevo al lugar desde donde se lanzó.

En segundo lugar, aparte de las anteriores objeciones físicas, dinámicas, se encuentra una objeción astronómica como la del paralaje (ver parte inferior de la figura anterior): ¿cómo es que desde la Tierra girando en torno al Sol no se observa ningún cambio tanto en el brillo y tamaño de las estrellas como en las figuras de las constelaciones?, pues es claro que en cierto tiempo la Tierra estaría más cerca a un grupo de estrellas y tiempo después, por ejemplo al cabo de seis meses, estaría en una posición más distante. De hecho este efecto de paralaje existe, pero es tan sumamente pequeño este cambio que sólo se pudo observar hasta tres siglos después que Copérnico propusiera la teoría heliocéntrica.

Finalmente, una tercera objeción tenía que ver con la observación directa: el sólo hecho de *ver* que el Sol y las estrellas son las que se mueven es razón suficiente para inferir que realmente *deben* estar en movimiento. Aparte de estas objeciones se pueden extraer otras de tipo cultural; por ejemplo, ya se dijo que el geocentrismo no sólo se fundamenta en ideas cosmológicas y físicas sino que también trasciende

al ámbito teológico. Se tiene conocimiento, por ejemplo, de que Cleantes acusó a Aristarco de impiedad «por poner en movimiento el hogar del universo».<sup>7</sup>

#### 4. Elementos básicos de la teoría heliocéntrica

La tradición escolástica hereda los trabajos de Aristóteles y Ptolomeo, interpretándolos de acuerdo con sus propios intereses religiosos, desarrollando así una simbiosis entre la concepción aristotélica y la ptolemaica sin aparentes contradicciones para el momento pero que se harán evidentes posteriormente. Este tipo de contradicciones se encuentra por ejemplo al pretender mantener al mismo tiempo la existencia real tanto de las esferas cristalinas como la del mecanismo de relojería dado por los epiciclos y deferentes.

Nicolás Copérnico (1473-1543), como bien plantea Kuhn, es el último antiguo y el primer moderno en cuestiones astronómicas. Copérnico fue llevado a plantear su modelo heliocéntrico, entre otras cosas, por la diferencia de opinión existente entre los matemáticos del momento sobre la estructura del universo y porque para ese entonces los desfases en el calendario eran bastante notorios y se hacía necesario la elaboración de uno nuevo, tarea que se emprendió y culminó con la realización del calendario gregoriano en 1582, el cual no fue propiamente elaborado por Copérnico pero sí basado en sus cálculos. Copérnico era consciente que las fallas presentes en el calendario no eran de carácter puramente técnico sino que su origen se encontraba en la concepción astronómica ptolemaica que lo soportaba. Otro aspecto que también motivaba a Copérnico, ya no práctico como el anterior, era el de la búsqueda de



7. Cf. Toulmin, *Op.Cit.*, p. 141.

una armonía geométrica que debía traducirse en una simplicidad en los cielos y que debía estar presente en el nuevo modelo de explicación.

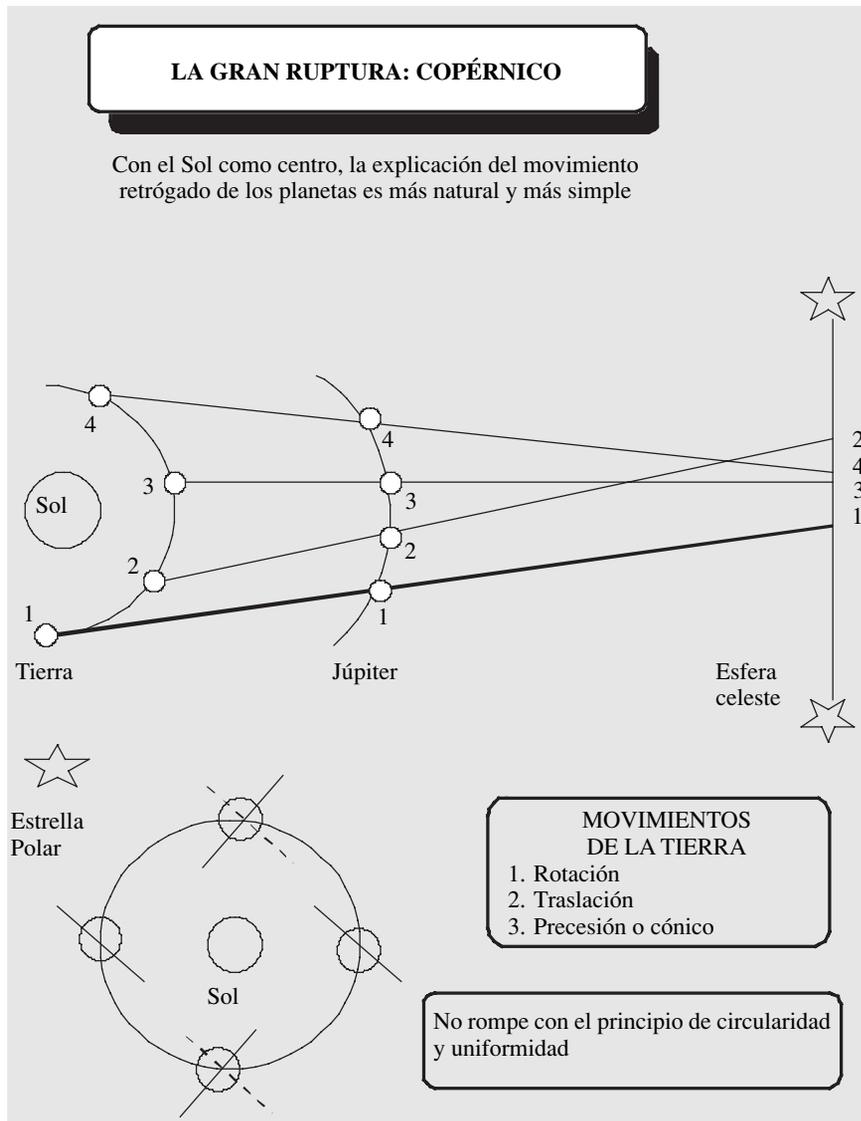


Figura 4

Un aspecto importante que preocupaba especialmente a Copérnico del modelo ptolemaico era la forma compleja de cómo a partir de un buen número de epiciclos se explicaba el movimiento retrógrado de los planetas. Impulsado por su espíritu platónico de un mundo geométrico, ordenado y simple, Copérnico encuentra que la retrogradación de los planetas se vuelve una conclusión natural si la Tierra se mueve en torno al Sol, de modo que ya no hay necesidad alguna de

recorrir a los epiciclos (ver Figura 4). Se presenta, por ejemplo, el movimiento retrógrado de un planeta superior, como Júpiter, cuando la Tierra se va aproximando a él y lo traspasa porque su velocidad es mayor. En el caso de los planetas inferiores, Venus y Mercurio, sucede lo contrario: son estos los que se mueven más rápido que la Tierra y se detecta su retrogradación desde la Tierra cuando se están acercando a ella. De esta forma queda igualmente explicado el aumento de bri-

llo del planeta en el momento de la retrogradación.

El heliocentrismo copernicano no rompe aún con el principio de circularidad y uniformidad, pero el sólo hecho de desplazar la Tierra del centro del mundo invita a pensar que ésta no es de naturaleza diferente a la de los demás planetas y cuerpos celestes, tema sobre el que Copérnico no se manifestó explícitamente. Copérnico, al mantener la circularidad, es heredero también de las esferas cristalinas y, como es natural, concluye que la Tierra se halla unida a una de ellas. De forma tal que Copérnico se ve forzado a involucrar un tercer movimiento en la Tierra, el de precesión, además del movimiento de rotación sobre su propio eje y el de traslación en torno al Sol. El movimiento de precesión de la Tierra es, en otras palabras (ver parte inferior de la figura anterior), el movimiento cónico del eje terrestre que hace que el eje siempre esté apuntando hacia un mismo punto del firmamento, un punto muy próximo a la estrella polar. Dicho movimiento permite de esta manera explicar el cambio en las estaciones; puesto que si la Tierra no tuviera este movimiento de precesión y se encontrara firmemente agarrada a la esfera cristalina, su superficie quedaría expuesta a los rayos solares siempre de la misma forma, de modo que no habría cambio de estación.

Los planteamientos copernicanos estuvieron también sometidos a una dura crítica, muy semejante a la que soportaron los de Aristarco por parte de los defensores de una Tierra estática, pero a diferencia de este último, las ideas de Copérnico estaban dominadas por un ideal de armonía geométrica y de simplicidad cualitativa. Estos dos elementos serán muy tenidos en cuenta por Kepler y Galileo, quienes igualmente cultivaban este ideal matemático-platónico.

Pero antes de continuar con estos dos grandes pensadores (Kepler y Galileo) debemos detenernos en Tycho Brahe (1546-1601). La contribución de Brahe en la consolidación del heliocentrismo no tiene el carácter teórico, matemático y reflexivo de Copérnico, Kepler y Galileo, sino que está fundada en la observación metódica y detallada de los cielos. La actitud de Brahe es comparable a la de los babilonios y egipcios, en cuanto que ellos fueron los primeros en organizar el mapa de los cielos, base para los trabajos en astronomía hasta prácticamente la época de Tycho; en tanto que éste tuvo la posibilidad de construir y dirigir un gran observatorio astronómico sin igual en el momento, lo que le permitió reelaborar y completar el mapa de los cielos como también construir tablas astronómicas bastante precisas sobre la ubicación de los planetas en diferentes momentos del año. Todo esto lo hizo Brahe sin el empleo del telescopio que sería usado por primera vez por Galileo para escrutar el cielo.

Con objeto de detectar las rupturas que Brahe produjo en los dos principios del geocentrismo, vale la pena destacar de sus observaciones entre las múltiples que realizó. La primera tiene que ver con el lugar de donde proceden los cometas. Fue claro para Brahe, a raíz de sus observaciones, que los cometas no provienen de la superficie última de la región sublunar, tal como planteó Aristóteles, sino que estos se aproximan a la Tierra desde regiones bastante alejadas de los planetas pertenecientes a la región celeste. Una consecuencia de este hecho es que no pueden existir esferas cristalinas pues al ser atravesadas por los cometas se producirían graves efectos que de ninguna manera son constatados aquí en la Tierra. La segunda ruptura tiene que ver con el hecho de que Brahe fue uno de

los primeros astrónomos que se dejó presenciar un cambio abrupto en los cielos: en sus memorias está consignada la aparición de una nueva estrella. Este fenómeno ya había sido observado por los chinos desde tiempos muy remotos, pero esto no hace parte de la memoria occidental. Tanto la procedencia de los cometas como la aparición de una nueva estrella dejan sin piso aquél presupuesto griego de un cielo incorruptible y siempre perfecto, en oposición a una región terrestre mutable.

Las investigaciones astronómicas de Brahe fueron muy bien conocidas por Johannes Kepler (1571-1630) quien fue uno de sus colaboradores. Con Kepler asistimos a dos avances de interés dentro del heliocentrismo: rompe definitivamente con el principio de circularidad y uniformidad, y es el primero en enunciar leyes matemáticas que gobiernan el movimiento de los planetas. El ideal platónico de Kepler lo empuja a buscar regularidades matemáticas en los cielos que son muestra de la grandiosidad de Dios. La creación del mundo obedece a un proyecto claramente establecido, con reglas enteramente precisas, expresadas en el lenguaje matemático.

En un primer momento Kepler busca estas regularidades asociando cada una de las órbitas de los planetas con un sólido regular, pero finalmente encuentra que este camino es infructuoso. En un segundo momento busca las regularidades a partir de las órbitas circulares de los planetas, pero se encuentra con que las posiciones de Mercurio derivadas de los cálculos matemáticos no coinciden en forma significativa con los valores consignados en las tablas de Brahe. Dada su gran confianza en estas tablas, Kepler deja de lado las órbitas circulares y explora la po-

sibilidad de que las órbitas sean elípticas, aprovechando así el progreso que en este momento se estaba dando en el tratamiento matemático de la elipse y progreso en el que él mismo había contribuido. Al considerar la órbita elíptica de Marte, cosa que hizo también para los demás planetas, encontró que las discrepancias con las tablas de Brahe se reducían notoriamente, y por esta razón elevó a ley el enunciado que dice que las trayectorias de los planetas son elipses con el Sol en uno de sus focos; enunciado que se conoce como primera ley de Kepler.

Esta primera ley viola la primera parte del principio de circularidad-uniformidad, viola la circularidad; en tanto que la segunda ley de Kepler viola la segunda parte del principio, la uniformidad: los planetas en su camino elíptico no se mueven uniformemente sino que lo hacen más rápido en las cercanías del Sol logrando la máxima velocidad en el perihelio y se mueven más lentamente en las posiciones más alejadas obteniendo su mínima velocidad en el afelio. En cuanto a la tercera ley de Kepler, que también se enmarca dentro de las inquietudes de este pensador, va mucho más allá de la simple ruptura con la tradición griega; en ella logra expresar no una regularidad general tan simple como la primera, ni una regularidad a la manera como se hace en la segunda ley con las velocidades de cada planeta, sino que permite relacionar de manera general todos los planetas entre sí. La ley armónica —la tercera ley— relaciona los períodos de revolución de los diferentes planetas con su distancia promedio al Sol, mostrando que esta relación es la misma, constante, para todos. Esta tercera ley, de acuerdo con Kepler, manifiesta la unidad o armonía presente en el mundo; lo cual constituyó una de sus principales preocupaciones iniciales.

*El heliocentrismo copernicano no rompe aún con el principio de circularidad y uniformidad, pero el sólo hecho de desplazar la Tierra del centro del mundo invita a pensar que ésta no es de naturaleza diferente a la de los demás planetas y cuerpos celestes, tema sobre el que Copérnico no se manifestó explícitamente.*

Las contribuciones más importantes de Copérnico y Kepler pertenecen al campo de la astronomía, este no es el caso de Galileo quien hizo grandes aportes tanto en la física terrestre como en la celeste. Aquí nos interesa principalmente los que Galileo produjo en este segundo dominio. Ya habíamos dicho, y es bien conocido, que Galileo se inscribe dentro de la tradición platónica, aunque este aspecto no sea especial y directamente notorio en sus aportes astronómicos.

Galileo (1564-1642) aunque no fue propiamente quien descubrió el telescopio sí fue el primero en dirigir el telescopio hacia el cielo para hacer un estudio detallado de éste, por lo que dedicó tiempo al pulimento de lentes y a mejorar la potencia del telescopio. Escudriñó todos los rincones del firmamento: la Luna, Venus, Júpiter, Saturno, el Sol y las estrellas.

Al dirigir Galileo su telescopio a la Luna observó regiones oscuras y claras las cuales interpretó, a las primeras, como cráteres o valles y a las segundas como montañas. Esto puesto que las montañas al ser más altas que los valles son susceptibles de ser iluminadas por el Sol lo cual impide que la luz llegue a los valles. Galileo concluye entonces que la Luna es tan accidentada, con valles y montañas, como la Tierra; luego es de esperar que su constitución sea semejante y no esté compuesta por una materia divina y etérea como se suponía. Accidentes, no de esta naturaleza sino manchas encontró Galileo al observar el Sol a través del telescopio, lo que indica que este no es del todo perfecto como también se suponía.

Este aumento de poder de la vista a través del telescopio le permi-

tió a Galileo observar también fases en Venus; fases semejantes a las que se producen en la Luna y que no pueden ser explicadas sino suponiendo que el planeta gira en torno al Sol y no a la Tierra. En Júpiter se halló con un microsistema solar, pequeñas lunas girando en torno al planeta que hacía las veces de Sol. Al observar Saturno, el poder de resolución del telescopio le impidió ver claramente sus anillos observando dos protuberancias opuestas al planeta interpretándolas como lunas de Saturno. Y, por último, al orientar Galileo el instrumento hacia las estrellas se halló con un universo infinito: puntos que a simple vista aparecían como una estrella al ser observados a través del telescopio se presentaban como un número inmenso de ellas, pudiéndose distinguir claramente que unas estrellas estaban más alejadas de las otras; además detectó que regiones en las que no se observa nada a simple vista se poblaban al ser observadas por el telescopio.

En síntesis, las interpretaciones que hizo Galileo de sus observaciones reafirman y dan mayor peso a las ideas heliocéntricas defendidas por sus antecesores. La Tierra es un planeta más, gira en torno al Sol, y en el sistema solar hay pequeños sistemas análogos a él que tienen como centro a los planetas y como lunas a cuerpos más pequeños girando alrededor de estos. El mundo se hace infinito y es posible que existan otros sistemas semejantes al nuestro, que tengan como centro las estrellas que observamos. No hay tal privilegio de una Tierra en el centro, ni tal privilegio de cielos perfectos. No se conoce con absoluta certeza la constitución de los planetas, el Sol y las estrellas, pero es muy proba-

ble que los planetas y la Tierra tengan constitución semejante y que las estrellas sean otros soles muy distantes. Así, en todo caso, la naturaleza de los planetas y estrellas no puede considerarse divina.

No se completaría el panorama que hemos querido dibujar si no se dice algo de Sir Isaac Newton (1643-1727). *Grosso modo*, si es posible asociar el inicio de la revolución heliocéntrica en la modernidad con Copérnico, la etapa de consolidación de dicha revolución se logra con los *Principios matemáticos de la filosofía natura* (1687) de Newton. Tanto Kepler como Galileo produjeron un cambio conceptual al poner a pensar en un solo universo en donde no hay privilegios de ningún tipo: ya no hay un mundo dividido en dos regiones, la sublunar y la supralunar. Además, Kepler por su parte obtiene leyes matemáticas que dan cuenta del movimiento de los planetas y Galileo hace lo correspondiente en el mundo terrestre; pero aún hace falta encontrar leyes matemáticas que expliquen al mismo tiempo los fenómenos terrestres y los celestes. Esta tarea es precisamente la que acomete Newton en los *Principia*.

La ley de gravitación de Newton, en conjunción con las leyes de la mecánica, expuestas en los *Principia*, se aplican tanto a fenómenos terrestres, como la caída de una hoja, como a fenómenos celestes. En las leyes de Newton están contenidas y superadas las leyes de Kepler y la ley de la caída de los cuerpos de Galileo. De modo que con la obra de Newton se cierra un capítulo importante de la creación científica que ha de ser muy tenido en cuenta para la elaboración de otros cuantos. ❁