



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS MATEMÁTICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

**La transición al copernicanismo: efemérides
vs modelos geométricos y teología vs. nueva
cosmología**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS (MATEMÁTICAS)

P R E S E N T A

SUSANA HEDDING SALGADO

DIRECTOR DE TESIS: M en C. JOSÉ RAFAEL MARTÍNEZ ENRÍQUEZ

FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

MÉXICO, D. F.

MAYO, 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de estudiar y obtener el grado de maestría.

Doy gracias a mi madre y a mi padre por su cariño y apoyo incondicionales. También a mi hermana y hermanos, en particular a David, además de mis primas Alejandra y Samantha que con su espíritu tenaz para concluir sus estudios profesionales han sido fuente de inspiración para llegar hasta el final de esta meta. Gracias a mi amiga Lucía Saad por sus valiosas indicaciones y consejos para concluir este proyecto.

Reconozco el esfuerzo de todos los profesores que me dieron las bases y la formación necesarias para alcanzar mi nivel académico actual. En particular a Guillermo Zambrana quien me impartió en la licenciatura el curso de historia de las matemáticas motivándome a que realizara mi tesis en esta área y para ello me propuso recurrir a quien es el director de la tesis que ahora presento.

También agradezco a Lourdes Esteva, Manuel Falconi, Francisco Struck y Pilar Piñones que aportaron sus observaciones para mejorar este trabajo y a Carlos Torres quien mostró la mejor disposición para colaborar en el mismo.

Un agradecimiento muy singular debo al profesor Rafael Martínez Hernández quien como director de esta tesis me brindó la oportunidad de realizarla a través de su orientación, conocimientos y experiencia mostrando un interés, una dedicación y una paciencia que han sobrepasado, por mucho, todas las expectativas que como estudiante deposité en su persona.

Con gran emoción y alegría,

Susana Hedding Salgado.

Contenido

Introducción	1
Capítulo I	3
Estado de las teorías cosmológicas de la Antigüedad a la Edad Media	3
Modelos geocéntricos	3
1.1 Modelo astronómico pitagórico	3
1.2 Modelo astronómico de Platón	5
1.3 Modelo astronómico de Eudoxo	7
1.4 Modelo astronómico de Calipo	9
1.5 Modelo astronómico de Aristóteles	10
1.6 Hiparco y Apolonio resuelven el problema de Platón mediante epiciclos y excentricidades	12
1.7 Modelo Astronómico de Ptolomeo	15
1.7.1 Ptolomeo	15
1.7.2 Resumen del contenido del Almagesto	15
1.7.3 El auge de las ideas ptolemaicas.....	21
1.7.4 El declive de las ideas ptolemaicas	23
1.7.5 Coincidencias y diferencias entre algunas ideas de Ptolomeo y de Aristóteles	24
Conclusiones	30
Capítulo II	32
El <i>De Sphaera</i> de Sacrobosco y su relación con el sistema ptolemaico	32
2.1 Sacrobosco	32
2.2 Contenido <i>De Sphaera</i> de Sacrobosco.....	35
<i>Capítulo 1</i> La estructura general del universo	35
<i>Capítulo 2</i> Los círculos de la esfera celeste.....	36
<i>Capítulo 3</i> Los fenómenos causados por la rotación diaria de los cielos y los varios ‘climas’ del mundo habitable	37
<i>Capítulo 4</i> El movimiento planetario (incluyendo las teorías del Sol y la Luna) y la explicación de los eclipses.....	38
Capítulo III	40
La falta de concordancia entre las efemérides y los fenómenos celestes	40
3.1 El calendario juliano	40

3.2 Las aportaciones de Peurbach y Regiomontano para la concordancia entre el calendario juliano con respecto a la experiencia cotidiana.....	47
<i>Conclusiones</i>	50
Capítulo IV.....	51
Innovaciones copernicanas	51
Elementos básicos y características del sistema copernicano	51
4.1 Copérnico y su nueva propuesta	51
4.2 Algunas razones por las que Copérnico decidió que un sistema heliocéntrico era mejor opción que el geocéntrico sostenido en su época.....	56
4.3 Los postulados de Copérnico para proponer un nuevo sistema.....	65
4.4 Resumen del contenido del <i>Comentariolus</i>	71
4.5 Resumen del contenido del <i>De Revolutionibus Orbium Coelestium</i>	73
<i>Conclusiones</i>	78
Capítulo V.....	79
Teología y cosmología geocéntrica (diversas posturas ante el sistema copernicano).....	79
Reacción escolástica al copernicanismo respecto a la centralidad e inmovilidad de la Tierra en el siglo XVII.....	79
5.1 La defensa de la cosmología aristotélica	79
i. La centralidad de la Tierra	83
A. Los tres centros, una vez más.....	83
B. La esfera terráquea	84
ii. La inmovilidad de la Tierra.....	90
Argumentos físicos basados en el movimiento común	91
1. <i>Barcos y el movimiento común</i>	92
2. <i>Balas de cañón</i>	97
3. <i>La caída de los cuerpos pesados y de los ligeros</i>	103
4. <i>Otros argumentos físicos</i>	105
5.2 La defensa del sistema copernicano.....	108
i. Las reformas en la universidad de Wittenberg y el copernicanismo	108
A. La reforma de la filosofía natural en Wittenberg.....	109
B. La astronomía y la reacción hacia Copérnico.....	110
ii. Rheticus.....	112

iii. Giordano Bruno	114
iv. Kepler y Maestlin	115
v. Digges	116
<i>Conclusiones</i>	118
<i>Conclusiones finales</i>	121
Apéndice A	125
Cosmología escolástica	125
A.1 Visión de la cosmología escolástica basada en Aristóteles.....	125
A.2 Otras propuestas a la problemática de la cosmología escolástica	129
¿El mundo es o no eterno?, ¿el mundo tiene principio o fin?	129
i. ¿El mundo existe gracias a un acto de creación o ha existido con un pasado eterno?	129
ii. La defensa de Belluto sobre la creación temporal y su rechazo a la creación eterna	131
iii. La reconciliación filosófica y religiosa de la creación y la eternidad	134
iv. ¿El mundo es infinito o finito?	138
A.3 La pluralidad de los mundos luego de 1277	144
i. Una pluralidad de mundos simultáneos excéntricos y concéntricos	145
ii. Una pluralidad de mundos simultáneos, cada uno separado y formando a otros.....	146
A.4 Las razones de la centralidad de la Tierra	147
i. Los tres centros de la Tierra	147
ii. ¿La Tierra se mueve con pequeños movimientos rectilíneos?	149
Apéndice B	151
El <i>primum mobile</i>	151
Apéndice C	162
¿Son inconmensurables los movimientos celestes y los terrestres?	162
Apéndice D	166
Los cuerpos celestes comparados con los cuerpos sublunares animados e inanimados	166
Bibliografía	169

Introducción

En esta tesis se revisarán los principales modelos astronómicos desde la época de la antigua Grecia hasta el siglo XVI en la Europa latina. Para ello se hará una apreciación histórica resaltando el punto de vista geométrico de los sistemas heliocéntrico y geocéntrico, así como su relación con la construcción de los calendarios. Además se verá la influencia que tuvieron las cuestiones filosóficas y teológicas en la cosmología escolástica. Posteriormente se revisarán las innovaciones que Copérnico aportó a la astronomía, así como las posturas a favor y en contra de su modelo.

El objetivo principal de este trabajo es mostrar que el cambio de modelos astronómicos geocéntricos a heliocéntricos se dio gracias al gran trabajo de síntesis y a la introducción de una nueva visión por parte de Copérnico.

En el primer capítulo se esbozarán algunas propuestas sobre modelos astronómicos geocéntricos surgidos en la antigüedad. En el primer apartado se atienden los aspectos físicos y religiosos que se plasmaban en los modelos cosmológicos de algunos pensadores griegos como Pitágoras y Platón. Más adelante se verá que Platón le dio gran importancia al aspecto geométrico de los modelos astronómicos y que se reflejó al plantear la pregunta que hoy se conoce como el 'problema de Platón'. Luego se revisarán los modelos astronómicos de Eudoxo y Calipo que surgieron al tratar de resolver el problema de Platón. Después se abordará cómo fue que Aristóteles, Hiparco y Apolonio mejoraron el modelo de Eudoxo. Posteriormente se analizará el sistema de Ptolomeo, mismo que fue tan funcional que permaneció vigente durante varios siglos. Finalmente se presentará un breve resumen del *Almagesto*, texto que contiene el sistema astronómico de Ptolomeo.

En el segundo capítulo se mostrará la aportación hecha por Sacrobosco para promover la propuesta ptolemaica, así como el contenido de su *De Sphaera*.

En el tercer capítulo se verá cómo se resolvió el elaborar un calendario que hiciera concordar las efemérides con los fenómenos celestes.

En el cuarto capítulo se abordarán algunas razones que llevaron a Copérnico a considerar que la opción de recurrir a un modelo heliocéntrico era mejor que seguir usando el geocéntrico. Posteriormente se mostrarán los elementos básicos y las características del sistema copernicano en sus dos obras principales: el *Comentariolus* y el *De Revolutionibus* así como las diferencias entre ambas.

En el quinto capítulo se atenderán las diversas posiciones surgidas en el siglo XVI por parte de escolásticos, astrónomos y eclesiásticos, tanto a favor como en contra, respecto del sistema propuesto por Copérnico. En particular se revisarán los argumentos acerca de la centralidad de la Tierra y su inmovilidad que geocentristas como Bonaventura Belluto, Bartolomé Mastrius, Bartolomé Amicus, Melchor Cornäus, Rafael Aversa y Giovanni Battista Riccioli usaron para refutar al copernicanismo. En contraste, se verá la influencia que tuvo la interpretación de Wittenberg para que el modelo copernicano fuera aceptado por varios pensadores. Así, se atenderán las aportaciones hechas por Digges, Rheticus, Giordano Bruno, Maestlin y Kepler.

En el apéndice A se atenderán algunos temas de la cosmología escolástica, y que sin tener un carácter geométrico sí formaban parte integral de la visión medieval del cosmos. Entre ellas se destacan las que plantean preguntas como ¿el mundo es o no eterno?, ¿el mundo tiene principio o fin?, la pluralidad de los mundos y las razones de la centralidad de la Tierra. Todas estas cuestiones son relevantes pues eventualmente tuvieron injerencia en la aceptación o rechazo del sistema copernicano. También se revisarán algunas ideas que Copérnico consideró para proponer su modelo astronómico. Además, se verán los siguientes temas: el *primum mobile*, ¿son inconmensurables los movimientos celestes y terrestres? y la comparación de los cuerpos celestes con los cuerpos sublunares animados e inanimados en los apéndices B, C y D respectivamente. Lo anterior se debe a que tales temas fueron importantes para el geocentrismo, más no para el heliocentrismo, pero ayudan a tener una idea más amplia de lo que sustentara, así fuera de manera tangencial, a los modelos previos a Copérnico.

Capítulo I

Estado de las teorías cosmológicas de la Antigüedad a la Edad Media

En el presente capítulo se hará una descripción breve de los modelos planetarios propuestos por Pitágoras, Platón, Aristóteles y Ptolomeo, enfatizando las principales características matemáticas de cada uno de ellos.

Modelos geocéntricos

Para el siglo VI a. C. se conocía la existencia de cinco planetas, además del Sol y la Luna, y al igual que los demás objetos luminosos en los cielos, se les consideraba como estrellas. Su peculiaridad era que en contraste con las llamadas estrellas fijas- que mantienen sin cambios sus posiciones relativas unas respecto de las otras-, los llamados planetas se movían respecto de las fijas. De hecho, la palabra “planeta” significaba “errante”. Los planetas Mercurio y Venus, próximos al Sol, se movían aparentemente oscilando alrededor de éste, como un péndulo. Los tres planetas exteriores, Marte, Júpiter y Saturno se movían aparentemente en forma de bucle, dando lugar a un movimiento que por periodos parecía retrógrado.¹ Para tratar de describir tales movimientos varios astrónomos propusieron modelos del universo que pretendían imitar geoméricamente lo que se observaba en los cielos.

Primero, debido a que la ideología de los pitagóricos influyó en los modelos planetarios propuestos por varios astrónomos, se presentará una breve visión de la misma. Posteriormente se hará una revisión de los sistemas planetarios geocéntricos propuestos por Platón, Aristóteles y Ptolomeo mostrando sus similitudes y diferencias.

1.1 Modelo astronómico pitagórico

Con Pitágoras (580 a. C.- ca. 495 a. C.), a diferencia de los cuerpos que existen en la Tierra, los cuerpos celestes son perfectos y eternos. Por ende debían moverse en órbitas perfectas, que desde el punto de vista geométrico eran circulares, debido a que son simétricas y periódicas. Pitágoras aportó dos

¹ Movimiento retrógrado: movimiento de un cuerpo en su órbita, en sentido horario, visto desde encima del polo norte solar.

argumentos para sostener la redondez de la Tierra: a) el círculo es la curva perfecta y la esfera es el sólido perfecto y por ello era natural que los cuerpos celestes y la Tierra fueran esferas; b) desde la costa de la ciudad de Samos, al observar los barcos mientras navegaban hacia el horizonte, sucedía que la última parte visible de ellos eran sus mástiles, lo cual era posible sólo si la Tierra tuviera un cierto grado de curvatura.

Por otra parte Pitágoras creía que los cuerpos y sus movimientos se mantenían sin cambios si no había causas que los alteraran, y por ello debían moverse con velocidad constante. Así, consideró que la Tierra estaba en el centro del universo y los cuerpos celestes se movían alrededor de ella describiendo movimientos circulares uniformes (Ver figura 1.1).²

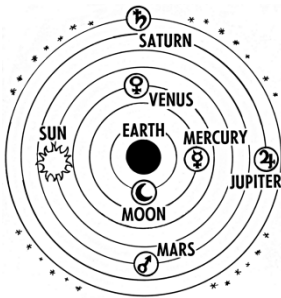


Figura 1.1 Según Pitágoras (y quizás también Parménides) la Tierra esférica se ubicaba en el centro del universo.³ El movimiento diario de las estrellas, el Sol, la Luna y los planetas se explicaba por la rotación de la esfera celeste. Los primeros modelos griegos suponían que los planetas se movían lentamente en sentido opuesto al patrón de estrellas observado a lo largo de un año.⁴

Los pitagóricos consideraban un universo en cuyo centro estaba la Tierra, inmóvil y esférica. Las estrellas estaban dentro de una esfera rotando sobre un eje que pasa por el centro de la Tierra. Los planetas la acompañaban con su movimiento propio y en sentido opuesto a la rotación de la esfera celeste. No aportaban más información sobre el movimiento relativo de los planetas y su orden, salvo que consideraban que eran cinco planetas. Además, a partir de Platón el universo estaba de alguna manera conformado por esferas, unas dentro de otras, que contenían a los cuerpos celestes. El mecanismo que movía las esferas era un tipo de “maquinaria celeste” llamado por Aristóteles el *Primum Mobile*. En la versión pitagórica la esfera externa (llamada esfera celeste) arrastraba a las estrellas fijas, mientras que las otras esferas rotaban un poco más lentamente en sentido opuesto a la esfera externa, con cierto periodo de rotación,

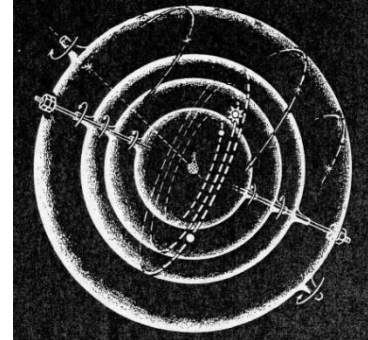
² Varias de las ilustraciones en este capítulo están extraídas de Tauber E. Gerald, *Man and the Cosmos ...*, (1979).

³ Tauber E. Gerald, *Man and the Cosmos ...*, (1979), pp. 38 – 39.

⁴ <https://conquer-the-world-lol.blogspot.com>. [consulta: abril de 2015].

un año para el Sol, un mes para la Luna, etc. (Ver figura 1.2). A continuación se verán las aportaciones hechas al respecto por Platón.

Figura 1.2 Parte del sistema de las esferas celestes. La esfera externa es la esfera celeste, la cual gira sobre su propio eje diariamente y lleva en su interior a las esferas de los cuerpos celestes. La segunda esfera, la inmediata (dentro de la esfera celeste) llevaba al Sol, la tercera esfera (la inmediata dentro de la segunda esfera) llevaba a la Luna y la cuarta esfera (dentro de esta última esfera) llevaba a los planetas. Todas ellas giraban sobre sus ejes de acuerdo con su movimiento anual.

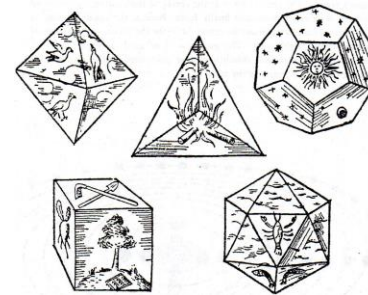


1.2 Modelo astronómico de Platón

Platón (ca. 427 a. C. –347 a. C.) creía que las estrellas eran parte del mundo visible y una sombra del verdadero mundo de las ideas, y que para entender la astronomía había que concentrarse en problemas abstractos como los planteados por la geometría.

Dos seguidores de Platón, Euclides (c.a. 330 a. C.- c.a.275 a. C.) y Teeteto (ca. 414 a. C. – 369 a. C.), mostraron que sólo había 5 sólidos regulares, es decir, sólidos con caras planas que son iguales para cada uno de ellos.⁵ Platón los usó en su teoría de la materia y siglos más tarde Kepler (1571 d. C.- 1630 d. C.) basó su modelo del universo en ellos (Ver figura 1.3).

Figura 1.3 Los sólidos perfectos o regulares, también son llamados sólidos platónicos debido a que Platón los usó en su teoría de la materia. Cada uno de los 4 elementos es representado por un sólido: el fuego por un tetraedro, el aire por un octaedro, la tierra por un cubo o hexaedro, y el agua por un icosaedro (quizás la razón por la cual Platón eligió al cubo para representar a la tierra se debe a que es el poliedro regular más ‘estable’ de todos). El universo está representado por el dodecaedro. (Emmer, *Art and Mathematics...* (1982), pp. 277-282).

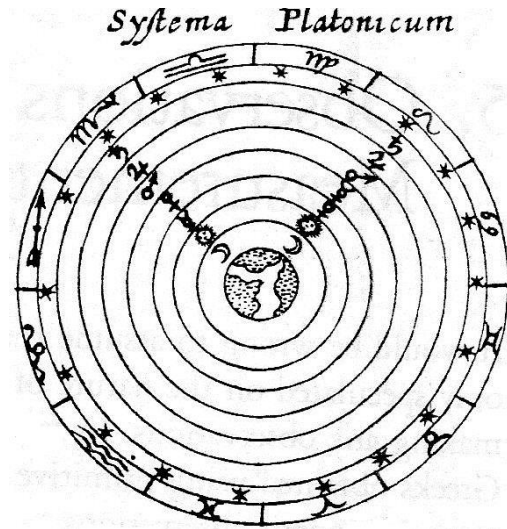


Platón aceptó la propuesta pitagórica de las esferas y los círculos para describir un cosmos perfecto debido a que era un ejemplo de perfección geométrica. Su universo consistió en una serie de esferas, unas dentro de otras, como tazones anidados. Los bordes de ellas los califica como “espirales” que contenían a las

⁵ Ver Watherhouse C. Guillermo, ‘The Discovery of the Regular Solids’, *Journal Archive for History of exact science*, vol. 9, no. 3, (1972), pp. 212-221.

estrellas, los planetas, y al Sol y la Luna. Todo el sistema giraba alrededor de un eje, el “Eje de la Necesidad”, mientras que los círculos interiores giraban en sentido opuesto empujados por las tres Parias: Láquesis, Cloto y Átropos, quienes eran hijas de la Necesidad (Ver figura 1.4).

Figura 1.4 En el sistema platónico la órbita del Sol sigue a la de la Luna, luego vienen los 5 planetas y al final se encuentra la esfera de las estrellas fijas.



Para describir el movimiento de los cuerpos celestes Platón propuso que existían vórtices que son los mecanismos que producen las órbitas circulares planas del Sol, la Luna y los cinco planetas. Él tomó el ancho de los vórtices, es decir, la diferencia entre la orilla más externa y la más interna, como una medida de la variación en la distancia de cada uno de los planetas a la Tierra (Ver figura 1.5).

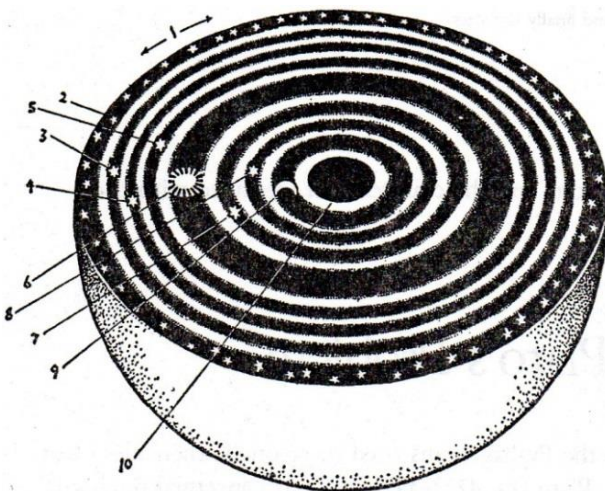


Figura 1.5 El cosmos de Platón. Los bordes del conjunto de hemisferios son las “cuencas” que llevan a las estrellas y los planetas: (1) el propulsor es una esfera invisible e inmóvil; (2) la esfera de las estrellas llevando a las otra esferas con ella (periodo de revolución: 1 día); (3) la esfera de Saturno (periodo de revolución separado del movimiento dado por (1), aproximadamente 29 años); (4) la esfera de Júpiter (periodo de revolución: 12 años); (5) la esfera de Marte (periodo de revolución: 2 años); (6) la esfera del Sol (periodo de revolución: 1 año); (7) la esfera de Venus (periodo de revolución: 6 meses); (8) la esfera de Mercurio (periodo de revolución: 3 meses); (9) la esfera de la Luna: (periodo de revolución: 1 mes); (10) la Tierra, estacionaria en el centro.

(periodo de revolución: 6 meses); (8) la esfera de Mercurio (periodo de revolución: 3 meses); (9) la esfera de la Luna: (periodo de revolución: 1 mes); (10) la Tierra, estacionaria en el centro.

Uno de los seguidores de Platón cuenta que el gran maestro, al tratar de explicar el movimiento retrógrado de los planetas, formuló la siguiente pregunta que hoy es

conocida como el problema de Platón: ¿qué clase de movimientos ordenados y uniformes deben asignarse a cada uno de los planetas para explicar sus trayectorias anuales aparentemente irregulares? La respuesta que eventualmente se dio fue que el movimiento real de los planetas debería ser explicado mediante alguna combinación de movimientos ordenados y circulares, mismos que explicaban los movimientos retrógrados.⁶

Debido a que Platón pensaba que la geometría debía usarse sólo como una labor meramente intelectual, y como para resolver su problema requería usarla de manera práctica, encargó a Eudoxo analizar dicho problema. Para ello Eudoxo propuso un modelo astronómico que se verá en la siguiente sección.

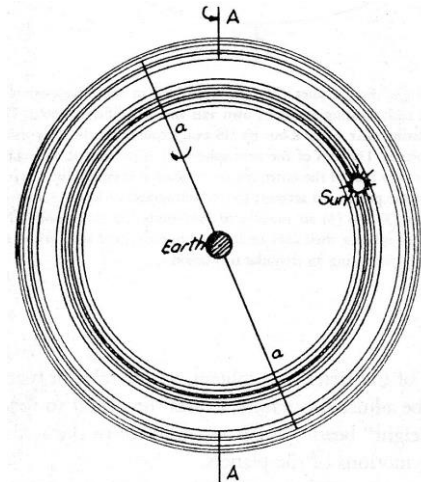
1.3 Modelo astronómico de Eudoxo

El sistema de Eudoxo (390 a. C. – 337 a. C.) consiste de varios conjuntos de esferas concéntricas, una dentro de otra, que van disminuyendo de tamaño y moviéndose en distintas direcciones y en torno a ejes diferentes. Cada conjunto da cuenta de los varios movimientos de un planeta particular, el Sol o la Luna, y se mueve independientemente de los otros conjuntos. En el centro común de todas las esferas hay una esfera pequeña, la Tierra, mientras que la esfera más exterior es la esfera celeste y cuyo periodo de rotación es de 24 horas.

Como todos los cuerpos celestes tienen un movimiento diario similar al de las estrellas, cada conjunto contiene una esfera que se mueve exactamente como la esfera celeste. Para el Sol (y la Luna) una segunda esfera estaba contenida dentro de la primera, su eje estaba inclinado respecto del eje de la primera y sus polos descansaban en su eje. La esfera más externa daba el movimiento diario, mientras que la siguiente más interna – girando alrededor de su eje una vez al año en dirección opuesta (de este a oeste)- describía el movimiento anual. Para explicar porqué el Sol no ascendía siempre en el mismo punto del horizonte a lo largo del año Eudoxo añadió una tercera esfera (Ver figura 1.6).

⁶ Musgrave Alan, *Essays on Realism and Rationalism*, Rodofi, Atlanta, GA., (1999).

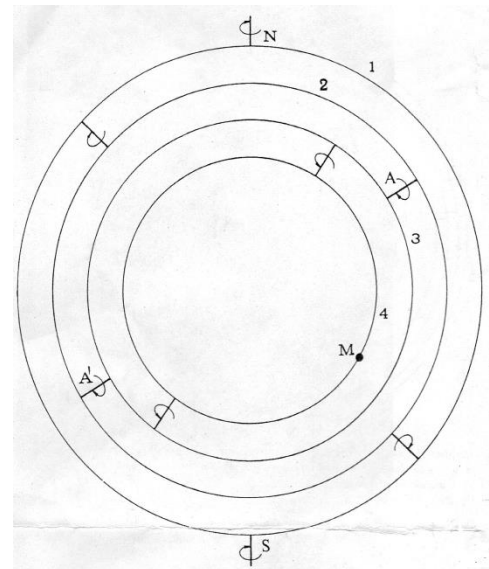
Figura 1.6 Las esferas del Sol. La esfera más externa gira alrededor de su eje AA cada 24 horas, mientras que la más interna gira sobre su eje aa en dirección opuesta, pues es llevada hacia atrás por la esfera externa, a lo largo de un año. Los ejes de las dos esferas están inclinados entre ellos con un ángulo oblicuo de $23 \frac{1}{2}$ grados que es el ángulo entre la eclíptica y el ecuador celeste. El Sol está incrustado en la esfera más externa y tiene el movimiento de ambas esferas, viajando a través del cielo con dos movimientos, uno de ellos es el movimiento diario y otro es el movimiento anual, que muestran al Sol tal como se ve desde la Tierra.



Para describir el movimiento de la Luna, Eudoxo propuso que alrededor de la Tierra rotaban 3 esferas concéntricas. La más externa se movía como la esfera celeste, seguida por una esfera más interna, que rotaba de este a oeste. En la esfera más interna de esas tres estaba la Luna, tal esfera rotaba con un periodo de 27 días, 5 horas y 5 minutos.

Eudoxo halló que para simular el movimiento diario y el comportamiento anual (incluyendo el de retrogradación) de los cinco planetas se requerían cuatro esferas para cada uno de ellos. El movimiento combinado de las dos últimas esferas, cuya velocidad relativa fue ajustada, provocaba que un planeta describiera la figura de un bucle, mismo que sumado a los movimientos de las dos primeras esferas generaba un movimiento resultante equivalente a las verdaderas órbitas observadas de los planetas (Ver figuras 1.7 y 1.8).

Figura 1.7 Las 4 esferas planetarias de Eudoxo. Cada planeta (M) está incrustado en el interior de un sistema de 4 esferas, cada una rotando sobre su propio eje y con diferente velocidad, unas respecto de otras. Para explicar el movimiento de ascenso y descenso sobre el horizonte de cada planeta, la esfera más externa (1) rota cada día sobre su eje NS. El eje de la siguiente esfera (2) está inclinado en un ángulo -oblicuo- como el de la esfera más externa en el que está incrustado, dando con ello lugar al movimiento anual del planeta. Para explicar el movimiento retrógrado de los planetas se introdujeron las esferas (3) y (4). Aunque ellas rotan uniformemente al igual que la esfera celeste, sus ejes están inclinados entre ellos y rotan en direcciones opuestas produciendo una oscilación irregular.



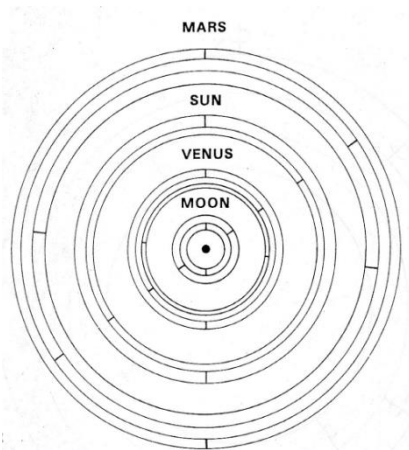


Figura 1.8 Esquema de los varios conjuntos de esferas concéntricas de Eudoxo. Cada uno de los conjuntos de cuatro esferas pertenece a cada uno de los cinco planetas (aquí sólo se muestran Marte y Venus), mientras que cada conjunto de tres esferas corresponde al movimiento del Sol y la Luna, respectivamente. El círculo en el centro es la Tierra, alrededor de cuyo centro giran todas las esferas.

Eudoxo concluyó que se requerían 27 esferas para explicar el movimiento aparente de los diferentes astros. Tal construcción describía bastante bien el comportamiento del Sol, la Luna, Saturno y Júpiter, pero fallaba para el caso de Marte, Venus y Mercurio.

La propuesta anterior daba una solución al problema matemático de Platón aun cuando Eudoxo no indicaba el mecanismo que producía la rotación de las esferas ni sus espesores o distancias relativas. Los periodos que encontró coincidieron bastante bien con los resultados obtenidos en la época moderna, salvo para el caso de Marte. Otro personaje que se dedicó a resolver el problema de Platón fue Calipo cuya propuesta se revisará a continuación.

1.4 Modelo astronómico de Calipo

Calipo (ca. 370 a. C.- 300 a. C.) trató de mejorar el esquema propuesto por Eudoxo usando cinco esferas para cada uno de los siguientes cuerpos celestes: Sol, Luna, Mercurio, Venus y Marte; para Júpiter y Saturno usó cuatro para cada uno y una última, la esfera celeste o esfera estelar, dando un total de 34 esferas. Para el caso del Sol y la Luna fue así debido a que las estaciones eran de longitud desigual y halló que podía explicar esas diferencias añadiendo dos esferas extras a las del conjunto del Sol así como a las de la Luna.

Aunque los sistemas de Eudoxo y Calipo se usaron poco tiempo, fueron los primeros intentos por tener un modelo geométrico que correspondiera con la observación y estos marcaron el inicio de la “astronomía observacional”.

Hay quien afirma que aunque Aristóteles no indicó exactamente el número de esferas que se necesitaban para explicar los movimientos de los cuerpos celestes,

indirectamente indicó que se requerían 55 esferas para ello⁷, mientras hay quien cree que más bien eran 49 o 61.⁸ En la siguiente sección se revisará cómo fue que Aristóteles retomó el modelo de Eudoxo.

1.5 Modelo astronómico de Aristóteles

Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.) retomó varias ideas astronómicas propuestas por los pitagóricos, en particular el que dividieron el universo en tres regiones: Urano o Cielo; el Cosmos o la región del Sol, la Luna y los planetas, y el Olimpo o el lugar de los elementos puros (Ver figura 1.9).

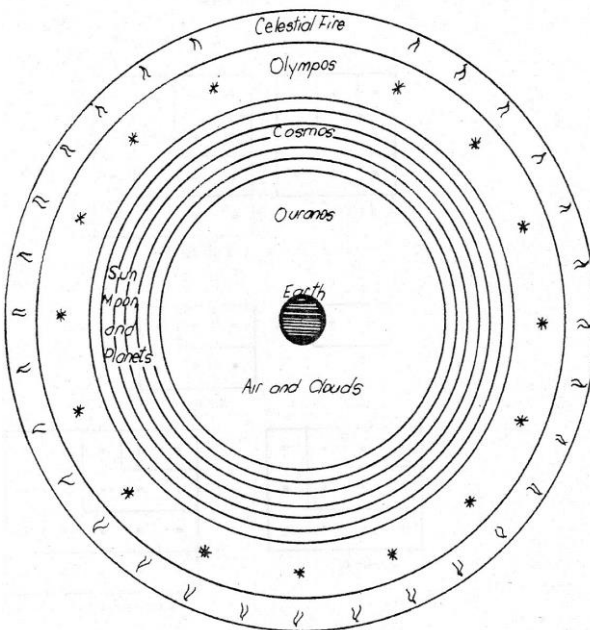


Figura 1.9 Según Aristóteles, los pitagóricos dividieron el universo en tres partes: el Cosmos o el lugar de los movimientos ordenados, refiriéndose a la región del Sol, la Luna y los planetas; Urano o cielo, dentro del cual existía todo lo cambiante y corruptible (aire y nubes) y el Olimpo o el lugar de los elementos puros, en donde están las estrellas. La región del Fuego Celeste estaba más allá de la región anterior, y finalmente el Ápeiron (una sustancia única, sin forma ni límite), el espacio infinito o pneuma infinito del cual el mundo toma su aliento.

Aristóteles aceptó el esquema de Eudoxo en lo general, solo que le añadió más esferas. El movimiento de la esfera celeste fue transmitido a la esfera más externa de Júpiter, y entre la esfera más interna de Júpiter y la más externa de Saturno interpuso tres esferas adicionales. Éstas anulaban el efecto del movimiento de Júpiter sobre Saturno y recuperaban el movimiento original de la esfera celeste. Otras tres esferas situadas entre la esfera más interior de Saturno y la más exterior de Marte neutralizaban el efecto del movimiento de Saturno sobre Marte. Continuando este proceso, Aristóteles llegó a un sistema de 56 esferas, todas ellas manejadas por la “Esfera Divina”. La Esfera Divina era la única que se movía

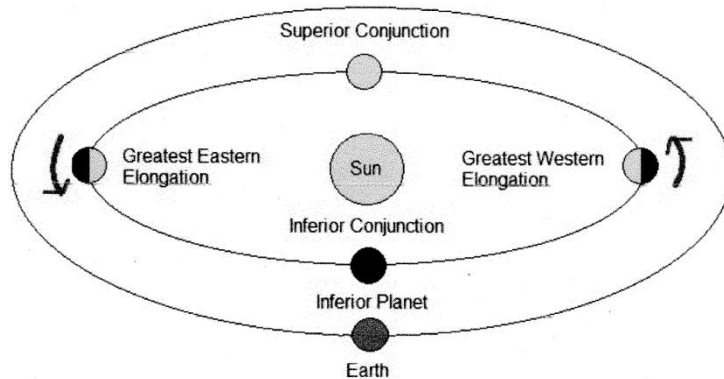
⁷ Dicks D. R., *Early Greek Astronomy to Aristotle*, (1970), p. 200.

⁸ Hanson, *Constellations and Conjectures*, (1973), p. 63. Para más detalles ver Grant, E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 276.

por sí sola y las otras 55 esferas dependían del movimiento de ésta y de las varias conexiones entre ellas.

El esquema de Aristóteles fue una abstracción geométrica para “salvar las apariencias”, aunque resultaba muy complejo y estaba sujeto a muchos supuestos que no coincidían con lo que ocurría en la naturaleza. En sus *Problemas Físicos* Aristóteles admitió que Mercurio y Venus cambian de brillantez debido a que alternativamente se acercan y alejan de la Tierra. Además, parecía que ambos estaban cerca del Sol durante sus viajes, a veces enfrente, otras detrás y otras más a un lado de él. Por esas razones, Venus a veces aparece como el lucero del alba (Eósforo) saludando al Sol, y otras como el lucero vespertino (Héspero) despidiéndose de él (Ver figura 1.10).

Figura 1.10 Mercurio y Venus viajando alrededor de la Tierra en órbitas que son la combinación de dos movimientos circulares separados y cuyo movimiento resultante parece formar bucles.⁹



Hubo quienes en la antigüedad, aún en el tiempo de los presocráticos, pensaron que la Tierra era plana, pero Pitágoras afirmó que la Tierra era redonda. Tal idea fue defendida por Aristóteles argumentando que ésta proyectaba una sombra circular sobre la Luna durante un eclipse. Suponiendo que su forma fuera la de un disco, entonces habría ocasiones en que la luz solar, estando en el borde, mostraría elipses. Por otra parte, los viajeros al ir hacia el norte comenzaban a ver estrellas que antes, cuando se encontraban más al sur, no veían. Además de lo anterior, al avanzar hacia el norte otras estrellas desaparecían a su vista detrás del horizonte (quienes iban hacia el sur observaban el efecto contrario).

Las ideas de Aristóteles y de Platón para explicar los movimientos planetarios permanecieron vigentes durante más de cuatro siglos, hasta que Ptolomeo (ca. 90 d. C. – ca. 168 d. C.) propuso un modelo en que los planetas giraban en órbitas circulares de manera uniforme alrededor de la Tierra. Tal modelo prevaleció

⁹ <<http://www.astro-interest.com/2014/07/how-do-venus-and-mercury-act-as-morning.html>> [consulta: junio de 2014].

durante aproximadamente 1500 años, hasta la época del Renacimiento, cuando varios estudiosos, entre ellos Nicolás Copérnico (1473 d. C.- 1543 d. C.), revisaron y corrigieron las ideas que sustentaban dicho modelo.

Hiparco y Apolonio dieron una forma alternativa para resolver el problema de Platón, la cual se revisará a continuación.

1.6 Hiparco y Apolonio resuelven el problema de Platón mediante epiciclos y excentricidades

Debido a que las muchas esferas de Aristóteles eran difíciles de manejar y entre más se necesitaran más dudoso resultaba el modelo, se buscaron otras explicaciones para el movimiento retrógrado de los planetas, y la más duradera fue la que recurrió a los llamados epiciclos y deferentes. En este modelo un deferente es una trayectoria circular cuyo centro es la Tierra, mientras que un epiciclo es una trayectoria circular, pero su centro es un punto móvil situado en el deferente.

Tal vez Hiparco (190 a.C. -120 a. C.) fue quien introdujo la noción de epiciclos y deferentes (Ver figura 1.11).

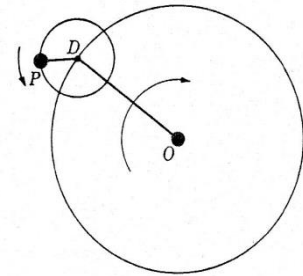


Figura 1.11 Al girar el punto P en derredor del centro D se genera el epiciclo. El punto D , con su giro en torno de O da lugar al deferente. Los planetas se mueven en epiciclos, mientras que el Sol viaja a lo largo del deferente.

La combinación del movimiento de ambos círculos produce un patrón epicycloidal del movimiento de los planetas. Estas trayectorias se ven como los bucles de Heráclides Póntico (ca. 390 – ca. 310 a. C.), razón por la cual hay quienes le adjudicaron la invención de los epiciclos. En el modelo de Hiparco tanto Venus como Mercurio describen epiciclos si se considera la trayectoria del Sol como su deferente (Ver figuras 1.12 y 1.13). Se aprecia que los epiciclos permiten una representación más simple y exacta de los movimientos de los planetas que la obtenida con las esferas homocéntricas de Eudoxo.

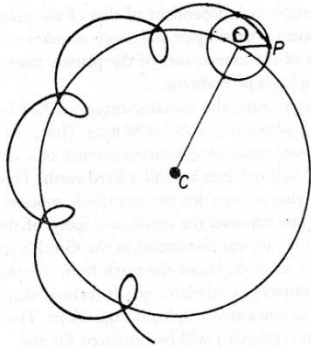
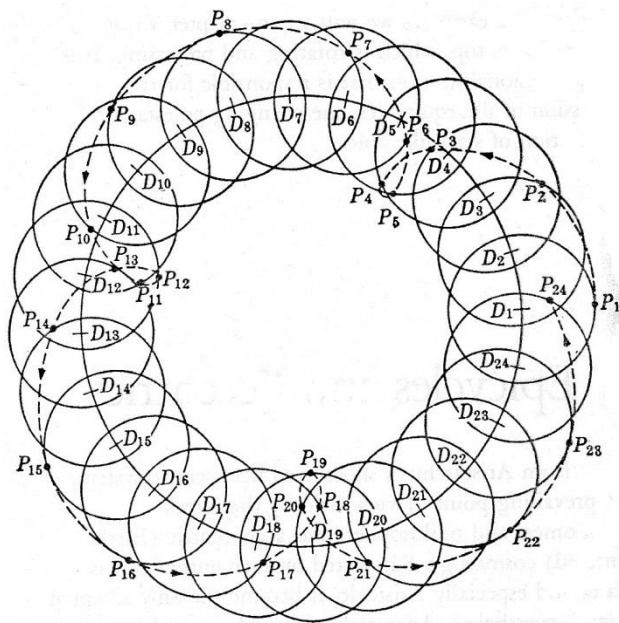


Figura 1.12 Los movimientos circulares del epiciclo combinados con el deferente producen un patrón epicycloidal.

Por otra parte, Apolonio de Perga (ca. 272 a. C.- 190 a. C.) propuso una imagen alternativa, que recurre, como característica novedosa, a una excentricidad móvil. Según esta, el planeta se mueve uniformemente siguiendo una trayectoria circular que tiene a la Tierra en su interior pero cuyo centro, a su vez, gira alrededor de la Tierra fija. Tal esquema también explica el movimiento retrógrado de los planetas si se ajustan el radio y la velocidad del círculo interior (Ver figuras 1.14 y 1.15). Ese modelo no fue aceptado pues desplaza a la Tierra del centro del universo. Sin embargo, tiempo después se halló que los esquemas de Hiparco y Apolonio eran equivalentes (Ver figura 1.16), es decir, que el movimiento epicycloidal es producido por los planetas ya sea si se usan epiciclos o excentricidades en la Tierra. Una combinación de un movimiento de epiciclo y un movimiento de giro del centro de éste producirán un movimiento envolvente más uniforme que simula el movimiento de los planetas.

Figura 1.13 Vista detallada del movimiento de un planeta que se desplaza en un epiciclo en las posiciones P_1, P_2, P_3 , etc. y cuyo centro está en los puntos D_1, D_2, D_3 , etc., respectivamente. El patrón que va trazando el planeta está marcado con la curva punteada, la cual tiene direcciones inversas de movimiento en P_4, P_{11} y P_{18} .



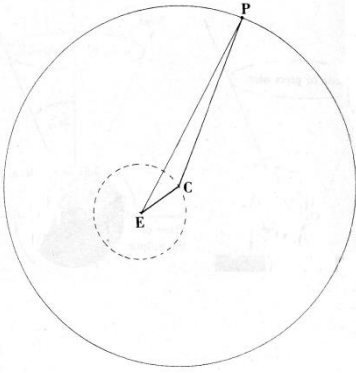


Figura 1.14 Movimiento excéntrico de un planeta. El planeta P se mueve con velocidad constante a lo largo del círculo cuyo centro (C) gira alrededor de la Tierra (E). Ajustando las velocidades de ambos círculos se producirá el movimiento retrógrado de un planeta.

Figura 1.15 En el esquema del epiciclo (círculo 1) el planeta P se mueve en un epiciclo cuyo centro (D) se mueve alrededor de la Tierra (E) - siguiendo la trayectoria del círculo $1'$ -. En el esquema excéntrico (círculo 2), el planeta P se mueve en un círculo cuyo centro (C) gira alrededor de la Tierra (E) - siguiendo la trayectoria del círculo $2'$ -. Ambos esquemas son equivalentes si $EC = DP$ y $ED = CP$.

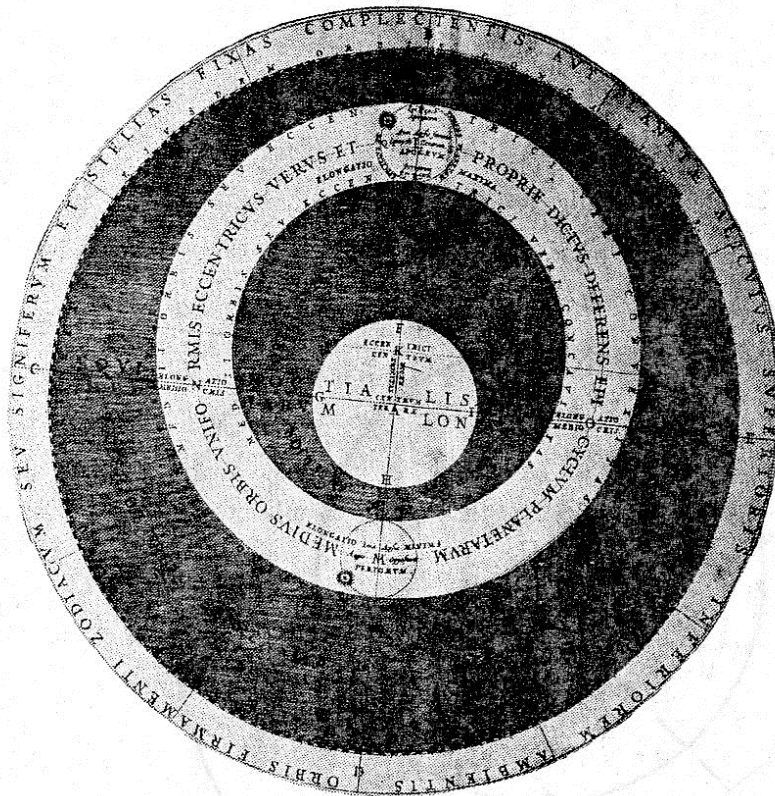
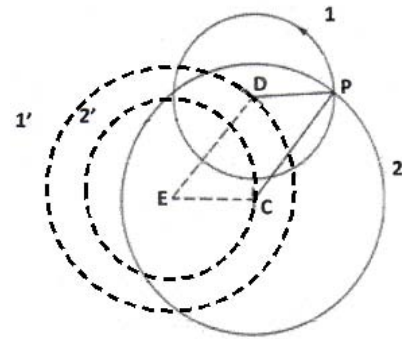


Figura 1.16 Diagrama del *Atlas* de Cellarius que ayuda a ilustrar la equivalencia entre el esquema excéntrico y el de epiciclo. Se observa que un planeta se mueve a lo largo de un epiciclo que toca la órbita excéntrica equivalente a éste.

A pesar de todos esos esfuerzos por ajustar la geometría a las apariencias, conforme había más y más datos sobre las órbitas planetarias fue necesario añadir más epiciclos y colocar el centro de la órbita planetaria en la circunferencia de un epiciclo para que hubiera concordancia entre el modelo y la observación.

En la siguiente sección se revisará el modelo astronómico ptolemaico que se utilizó durante cientos de años.

1.7 Modelo Astronómico de Ptolomeo

1.7.1 Ptolomeo

Claudio Ptolomeo (ca. 90 d. C. – ca.168 d. C.) fue un astrónomo, astrólogo, geógrafo y matemático greco-egipcio. Vivió gran parte de su vida en Alejandría, en donde realizó sus observaciones astronómicas. La obra de más impacto de Ptolomeo es su *Sintaxis Matemática*, un tratado de astronomía teórica, mejor conocido como *El Almagesto (El muy Grande)*. En él se presentan modelos para hacer predicciones de las posiciones angulares de los planetas. El *Almagesto* fue el primer trabajo que resumió de una manera comprensible métodos y resultados para construir modelos geométricos - cinemáticos a partir de datos empíricos surgidos de observaciones cuidadosas. Durante quince siglos fue la “biblia astronómica”.

Ptolomeo recopiló datos observacionales de las posiciones planetarias, la ocurrencia de eclipses lunares, las elongaciones de Mercurio, etc. A partir de ellos elaboró un modelo que comprendía varios sistemas de epiciclos, ecuantés¹⁰, elongaciones, etc. Este modelo lo construyó entre 125 d. C y 141 d. C., y en fechas posteriores, redactó el *Almagesto*. Luego escribió su *Hipótesis Planetaria* y el *Tetrabiblos*, además de un tratado llamado *Geografía*, entre otros trabajos de óptica, matemáticas, filosofía y análisis armónico. En especial, en la *Hipótesis Planetaria* se da una explicación física de cómo se mueven los planetas basándose en esferas sólidas que con su movimiento arrastran a los planetas.

A continuación se verá brevemente el contenido del *Almagesto*.

1.7.2 Resumen del contenido del *Almagesto*

En el *Almagesto*, en los capítulos introductorios relativos a los postulados de la astronomía ptolemaica, hay argumentos convincentes de por qué la Tierra debe ser esférica; sin embargo es extraño que Ptolomeo omitiera el argumento de

¹⁰ Ecuante: punto desde el cual un planeta parece desplazarse con una velocidad angular constante.

Aristóteles sobre los eclipses. Ptolomeo consideró a la Tierra como un punto comparada con la esfera estelar que la envuelve.

El sistema geocéntrico ptolemaico parte de las siguientes suposiciones básicas:

- a) La Tierra se mantiene inmóvil y está en el centro del universo.
- b) Todos los cuerpos celestes (Sol, Luna, planetas y estrellas fijas) se desplazan alrededor de la Tierra.
- c) Los cuerpos celestes se desplazan con un movimiento circular uniforme.
- d) No hay vacío entre las superficies de dos planetas sucesivos.

Además había siete esferas concéntricas girando alrededor de la Tierra. En la primera esfera se desplazaba la Luna en una órbita circular, a la cual llamó círculo deferente. La segunda esfera concéntrica contenía a Mercurio. Las siguientes cinco esferas correspondían a Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno, cada uno en su círculo deferente respectivo. La octava esfera, la más externa, acarrea a las estrellas fijas (Ver figura 1.17).

Ptolomeo ayudó a resolver dos problemas sobre el movimiento planetario:

1. La retrogradación de los planetas.
2. La duración de las distintas revoluciones siderales.

Ptolomeo mejoró los modelos del sistema solar geocéntrico propuestos por Platón y Aristóteles, y lo hizo retomando la idea de Apolonio acerca del movimiento epiciclo-deferente. En el *Almagesto* Ptolomeo indicó que cada planeta se mueve de acuerdo con un movimiento compuesto que resulta de la combinación de dos trayectorias circulares, una de mayor tamaño que la otra, donde la primera, llamada deferente, tiene su centro en un punto distinto al centro de la Tierra, y la segunda, llamada el epiciclo, se encuentra girando alrededor de un punto situado en el deferente (Ver figura 1.18). Ambos movimientos hacen que el planeta se acerque o aleje de la Tierra en varios momentos a lo largo de su órbita, provocando que aparentemente disminuya su velocidad, se detenga, y se mueva en sentido contrario, es decir, logrando un movimiento retrógrado. El efecto de ello es que el planeta en apariencia aumenta o disminuye su brillo.

Ptolomeo supuso que todo el sistema rotaba lentamente alrededor de su eje común para explicar la precesión de los equinoccios.¹¹ Así explicó los movimientos irregulares de los planetas con bastante exactitud y preservó la idea del movimiento a lo largo de círculos con radio y velocidad constantes. Con lo anterior, explicó los movimientos irregulares de Marte más satisfactoriamente que como lo había hecho Apolonio.

¹¹ Precesión de los equinoccios: cambio lento y gradual de la orientación del eje de rotación de la Tierra sobre el plano de la eclíptica que ayuda a anticipar la época de los equinoccios.

Figura 1.17 En el sistema ptolemaico la Tierra fija es orbitada por la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y la esfera de las estrellas fijas.

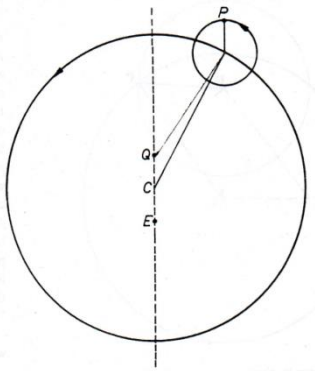


Figura 1.18 Ptolomeo introdujo dos modificaciones al sistema de epiciclos. El centro del deferente (C) ya no está en el centro de la Tierra (E), sino a una pequeña distancia de él. Además, el movimiento del deferente no es uniforme con respecto a su centro pero sí con respecto a otro punto (Q), el ecuante, situado a lo largo de la línea EC y a la misma distancia de C como C de E, es decir, $EC = CQ$.

Ptolomeo determinó que la distancia de la Tierra a la Luna era de entre 33 y 64 veces el radio terrestre,¹² lo cual es poco útil debido a la incertidumbre que denota. Además, descubrió que la velocidad de la Luna cuando estaba en su fase de Luna llena o Luna nueva variaba respecto de su velocidad en otros momentos. Tal efecto es conocido como evección, y hoy sabemos que es una perturbación del movimiento de la órbita lunar debido a la atracción del Sol. Para explicar las variaciones de las velocidades lunares, Ptolomeo usó un epiciclo que se desplazaba en dirección opuesta a los epiciclos del resto de los planetas.

Mercurio y Venus fueron tratados de forma diferente a otros planetas, pues al ser cercanos al Sol los centros de sus epiciclos debían permanecer en la misma línea que la que une al Sol con la Tierra, y sus periodos en los deferentes eran los mismos que los del Sol, es decir, de un año.

Así, Ptolomeo construyó su sistema añadiendo epiciclos extras cada que los datos lo requerían, hasta llegar a 40 ciclos y epiciclos, incluyendo la esfera celeste (Ver figuras 1.19 y 1.20). Justificó lo complicado que esto resultaba argumentando

¹² Pedersen, Olaf, *A Survey of the Almagest...*, (2011), pp. 206-207.

que, a diferencia de las máquinas hechas por el hombre, las cuales se deterioran por el uso, los cuerpos celestes no tienen peso ni producen fricción y permanecen inalterables por toda la eternidad.

Figura 1.19 Movimiento planetario en el sistema ptolemaico. Cada planeta (P) -sólo uno se muestra aquí- se mueve a lo largo de un epiciclo cuyo centro (C) se sitúa en el deferente. El centro del deferente (O) está en medio de la Tierra (E) y de su cuadrante correspondiente (Q). Las distancias QE , además del radio del deferente y el epiciclo son diferentes para cada planeta así como sus velocidades. El Sol no tiene un movimiento de epiciclo pero gira alrededor de S , un punto fuera de la Tierra.

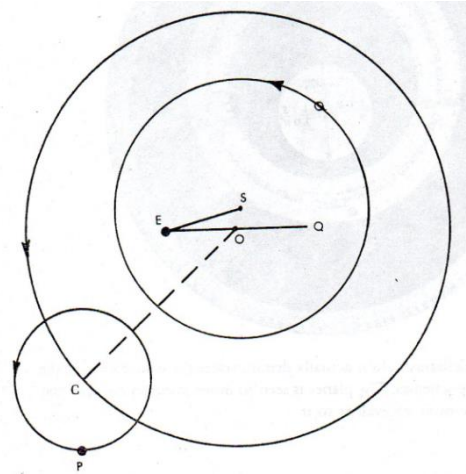
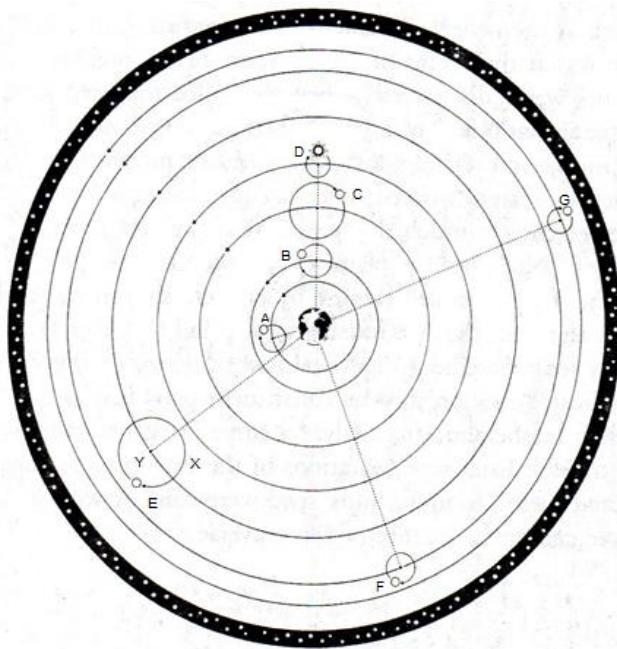


Figura 1.20 Una representación simplificada del sistema planetario ptolemaico. La órbita del Sol (D) además de los deferentes de los planetas y la Luna (A) tienen como centro a la Tierra. Mercurio (B) y Venus (C) están en ciclos más cercanos a la Tierra que el Sol, mientras que Marte (E), Júpiter (F) y Saturno (G) están en el exterior. Cada planeta se mueve en un epiciclo pequeño (X), cuyo centro (Y) se sitúa en el círculo principal o deferente.



El *Almagesto* consta de trece libros cuyo contenido se describe brevemente a continuación:

El primer libro expone el sistema geocéntrico.

El segundo libro indica cuál es la periodicidad de los equinoccios y la longitud del año.

El tercer libro muestra la teoría de Ptolomeo sobre el Sol basándose en sus observaciones sobre equinoccios y solsticios para dar la duración de las estaciones del año. Se muestra un modelo sencillo de los movimientos del Sol, indicando que éste tiene un movimiento circular con velocidad angular uniforme, donde el centro del círculo que describe tal trayectoria no es la Tierra sino otro punto cercano a ella, el ecuante. Conforme pasan los días el Sol sale en puntos

diferentes sobre el horizonte, haciendo su recorrido anual, y al hacerlo parece alcanzar distintas alturas al mediodía.

El cuarto y el quinto libro dan una explicación sobre la teoría de la Luna. En ellos se indica el tiempo que demora la Luna en regresar a una cierta longitud o latitud terrestre dada y el tiempo que le lleva retomar una cierta anomalía.¹³ También se analiza el mes sinódico.¹⁴

El sexto libro presenta una teoría sobre los eclipses.

El séptimo y el octavo libro explican porqué la posición relativa entre las estrellas es fija, además de contener un catálogo de más de mil estrellas.

Los libros nueve al trece se refieren a la teoría de los planetas. En ellos se describe el método que utilizó Ptolomeo para calcular las posiciones y trayectorias de los planetas, exponiendo detalladamente el sistema de los epiciclos.

De la lectura del *Almagesto* se obtiene lo siguiente:

- a) Empezando con las regiones más alejadas de la Tierra, luego de las estrellas fijas seguían Saturno, Júpiter y Marte.
- b) Con respecto a Mercurio y a Venus existía un desacuerdo pues algunos astrónomos situaban a ambos debajo de la esfera del Sol,¹⁵ pero otros los ubicaban encima de la esfera del Sol debido a que éste nunca había sido oscurecido por alguno de ellos. Además, Mercurio les parecía más cercano a la Tierra que Venus. Por otra parte, los epiciclos de Venus y de Mercurio se centraban en una línea que va de la Tierra al Sol, y debido a ello en el cielo se ven más cercanos al Sol que otros planetas.

Las descripciones ptolemaicas para las trayectorias de la Luna y Marte pueden verse en las figuras 1.21 y 1.22 respectivamente.

Pese a que el modelo ptolemaico dificultaba calcular la velocidad de desplazamiento de los planetas, fue sostenido durante aproximadamente 1500 años, hasta el siglo XVI debido a que: a) indicaba con una exactitud sorprendente los movimientos reales observados, b) las predicciones logradas con él eran muy buenas, y c) aunque en este modelo se desplaza ligeramente a la Tierra del centro de giro de las esferas, y ello transgredía los principios geocéntricos aristotélicos según los cuales la Tierra es el centro del cosmos y el eje de todos los movimientos planetarios, el considerar a la Tierra fuera del centro se tomó como un ajuste más que como una violación de esos principios.

¹³ Anomalía: ángulo para determinar la ubicación de un cuerpo celeste que está en cierta órbita.

¹⁴ Mes sinódico: periodo de aproximadamente 29.53 días, entre dos fases consecutivas de la Luna.

¹⁵ Macrobio, *Comentarios al Sueño de Escipión*, (2005), p. 94.

Figura 1. 21 Según Ptolomeo, la Luna viaja en un epiciclo (centrado en C_1) cuya dirección es opuesta a la del círculo principal (centrado en C). Sus periodos son casi los mismos y la Luna nunca invierte su dirección y sólo acelera o disminuye su velocidad. Durante media revolución del epiciclo la Luna casi ha completado medio giro en su eje y ha llegado a M_1 donde el movimiento parece ser más rápido que en M , que es una consecuencia de la excentricidad de la Tierra. Al completar su revolución en el epiciclo, la Luna no estará de nuevo en M sino en M_2 . Así, por la posición en su apogeo, el punto dónde está más lejana de la Tierra, se infiere que viaja de Tauro hacia Géminis y que volverá a Tauro luego de 9 años.

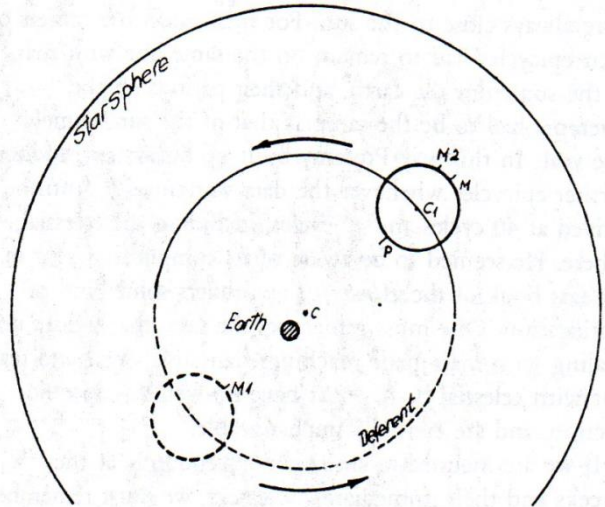
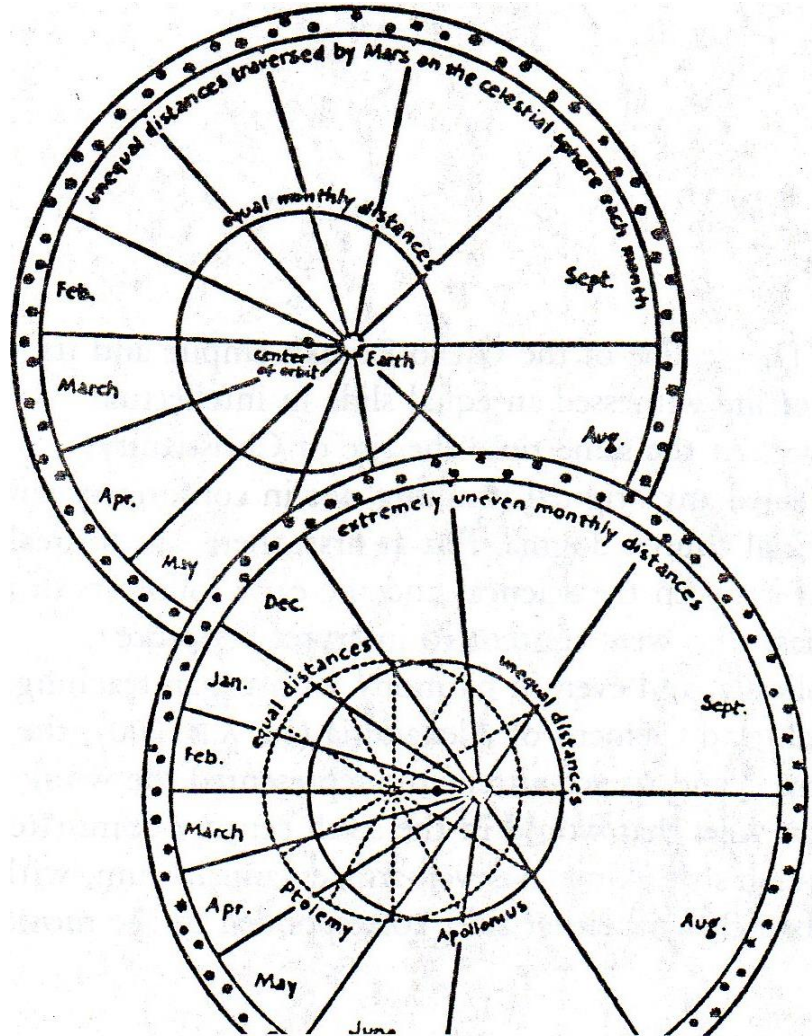


Figura 1.22 La órbita de Marte según Apolonio y Ptolomeo. De acuerdo con Apolonio (diagrama superior), Marte describe una órbita excéntrica con respecto a la Tierra y recorre distancias iguales cuando la posición es medida desde su propio centro. Ptolomeo dibujó un círculo sobrepuesto (ambos diagramas) cerca del círculo de Apolonio. La distancia de su centro desde la Tierra es el doble de la planteada por Apolonio. Este círculo corresponde al ecuante describiendo un movimiento uniforme del planeta. Sin embargo, como se ve desde la Tierra, el planeta parece describir una órbita extremadamente excéntrica que coincide con las observaciones reales.



1.7.3 El auge de las ideas ptolemaicas

Las ideas astronómicas de Ptolomeo se difundieron en Grecia gracias a Pappus (ca. 300 d. C.), Teón (ca. 335 d. C. – ca. 405 d. C.) e Hipatia (ca. 355 d. C. - ca. 415 d. C.). El filósofo neoplatónico Proclo (410 d. C.- 485 d. C.) escribió el último trabajo griego sobre astronomía ptolemaica antes de que desapareciera la academia de Platón en 529 d. C., y se le conoce como la *Hipotiposis* o introducción a la astronomía de Hiparco y Ptolomeo. La astronomía ptolemaica fue conocida en Alejandría, Atenas, Mesopotamia, Persia y la India. Hasta el siglo XII, se dio a conocer el legado ptolemaico mediante las traducciones al latín de esas obras.

Debido a que el *Almagesto* es un trabajo muy técnico su difusión fue difícil de realizar en la Edad Media. En las universidades de los siglos XII y XIII los estudiantes debían tomar, entre otros, un curso de astronomía para graduarse como maestros de artes y poder avanzar hacia estudios más especializados en leyes, medicina o teología. En ese nivel introductorio se usaban manuales más sencillos que el *Almagesto*, siendo introducciones o resúmenes del mismo, pues éste sólo era estudiado por los alumnos más competentes y avanzados. Así, la astronomía ptolemaica fue enseñada sin el uso directo del *Almagesto*. Para ello los estudiantes estudiaban la geometría esférica usando un manual de astronomía muy elemental, el *Tratado de la Esfera*, escrito por Juan de Sacrobosco (1195 d. C. -1256 d. C.), que si bien no era fácil de entender, solo constaba de página y media de teoría planetaria, contenía definiciones claras de los conceptos principales de los modelos planetarios del *Almagesto* y estaba ilustrado con varios diagramas. Se le tomó como el texto universitario más habitual para el aprendizaje de la teoría planetaria durante casi 300 años, y en los siglos XIV y XV casi todos los estudiantes de astronomía lo conocían. Sin embargo, éste tenía ciertos errores, y uno muy grave fue la determinación equivocada de los puntos estacionarios.¹⁶

George Peurbach (1423 d. C.-1461 d. C.) fue un investigador que pasó la mayor parte de su vida académica en Viena. Gracias a que sabía latín y griego hizo una traducción del *Almagesto* y después una introducción del mismo en su *Theoricae Novae Planetarum*.

Pocas décadas más adelante, mientras Copérnico estudiaba en Cracovia (1491 d. C.-1496 d. C.), escuchó a Alberto Brudzewo hablar de sus lecturas del libro de Peurbach, y fue éste el primer texto sobre astronomía en el que Copérnico

¹⁶ Los puntos estacionarios son aquellos en los cuales los planetas se ve que cambian de dirección.

aprendió sobre los puntos más avanzados acerca de la teoría planetaria. El filósofo cretense, Jorge de Trebisonda (1395 d. C.-1486 d. C.), ayudó a que el trabajo de Ptolomeo se difundiera aún más. Vivió en Italia alrededor de la década de 1430 y fue secretario del Papa Nicolás V, para quien realizó varias traducciones al griego y además una traducción al latín del *Almagesto* en 1451. Debido a que sus traducciones las hacía con descuido fue muy criticado por los eruditos. Por ser un militante aristotélico atacaba mediante sus escritos a Platón, ofendiendo a los simpatizantes del platonismo, muchos de ellos miembros del sector dominante de los humanistas del Renacimiento. Además se dudaba si poseía los conocimientos astronómicos necesarios para traducir el *Almagesto* al latín. Más bien se cree que ésta fue hecha por un filólogo competente en astronomía y traductor. Por ello personas como el cardenal Basilio Besarión (1403 d. C.-1472 d. C.),¹⁷ estaban en contra de las opiniones de Jorge de Trebisonda. En este último lugar Besarión conoció en 1460 a Peurbach y, a través de él, la traducción al latín del *Almagesto* hecha por Jorge de Trebisonda. Besarión trató de corregir los errores de traducción del *Almagesto*, persuadiendo a Peurbach de llevar a cabo una traducción nueva del griego. Peurbach terminó su primera versión de la traducción de uno de los 6 libros antes de morir en 1461. Esa traducción fue tomada por su pupilo Johannes Müller, conocido también como Regiomontano (1436 d. C.-1476 d. C.), quien el mismo año siguió a Besarión a Roma y luego viajó con el cardenal a varios sitios en Italia antes de ser nombrado profesor, en 1465, de la universidad de Presburgo. Ahí permaneció hasta 1471, para luego establecerse en Nuremberg. En dicho lugar Bernhard Walther (1430 d. C.-1504 d. C.) apoyó económicamente a Regiomontano para establecer un observatorio propio, un taller con instrumentos astronómicos y una imprenta para publicar literatura científica. Así fue como se iniciaron las primeras versiones impresas del *Almagesto*. Regiomontano en 1474 sacó a la venta el primer libro impreso de astronomía teórica: la *Teoría Planetaria* de su maestro Peurbach. Regiomontano tuvo la intención de completar la traducción iniciada por Peurbach, pero la muerte se lo impidió. Fue hasta 1496 que un impresor alemán, Johannes Hamman, publicó en Venecia, en una traducción al latín, la parte del trabajo completada por *Regiomontano* bajo el título de *Epytoma Joannis de Monte Regio in Almagestum Ptolemei*. Desafortunadamente ésta solo fue una paráfrasis, incompleta, hecha con un estilo muy libre, lo cual provocó que por sus trabajos de la *Geografía* y el *Tetrabiblos* a Ptolomeo se le reconociera como gran astrólogo más que como un astrónomo.

¹⁷ Basilio Besarión fue un humanista y enviado Papal en el Concilio de Ferrara y más adelante a Mantua, Florencia, Venecia y Viena. Poseía una colección de traducciones al griego que eventualmente se convirtieron en algunas de las principales obras depositadas en la biblioteca de San Marcos en Venecia.

Finalmente fue Petrus Lichtenstein quien pudo publicar la primera traducción completa en latín del *Almagesto*, y en 1515 imprimió la traducción vieja hecha por Gerardo de Cremona (ca. 1114 d. C.- 1187 d. C.).

Debido a que la versión griega original del *Almagesto*, traducida primero al árabe y finalmente al latín, fue la versión usada por los astrónomos medievales, ello despertó la suspicacia de algunos eruditos humanistas debido a cuestiones filológicas. Por eso, y para que fuese mejor aceptada, se hizo una traducción directa del griego. En 1528 Giunti imprimió en Venecia la versión al latín hecha en 1451 por Jorge de Trebisonda. Como ambas versiones eran muy divergentes, se tuvo que producir una versión más confiable, directamente de la versión griega. Ésta fue hecha en Basilea en 1538 por Simon Gryneus (1493 d. C.-1541 d. C.) y Joachim Camerarius (1500 d. C.-1574 d. C.), a partir de una anterior que poseía Regiomontano en Nuremberg (la cual se perdió). Así fue como se tuvo al alcance el *Almagesto* en una versión más o menos confiable y en otras dos no tan confiables. Las nuevas ediciones permitieron estudiar los aspectos técnicos del *Almagesto* mejor que antes, a la par que se aumentó el nivel general de conocimiento matemático del plano y la trigonometría esférica gracias a los trabajos de Regiomontano, publicados en 1533, mucho tiempo después de su muerte.

1.7.4 El declive de las ideas ptolemaicas

Apenas iniciado el siglo XVI Copérnico propuso su teoría heliocéntrica del sistema solar. La propuesta copernicana usaba la misma técnica matemática del *Almagesto* y además explicaba el orden que debían tener los planetas, el cual era un tanto arbitrario en la astronomía antigua. Posteriormente, Kepler dedujo sus leyes del movimiento de los planetas basándose en las observaciones hechas por Tycho Brahe (1546 d. C.-1601 d. C.). Más adelante, Galileo Galilei (1564 d. C.-1642 d. C.), utilizando su telescopio, probó que ciertas características del sistema heliocéntrico no podían explicarse usando las nociones aristotélicas, como fue el caso de la superficie lunar y la existencia de satélites alrededor de Júpiter. Además, las fases de Venus mostraban que era imposible que los movimientos en el sistema Sol, Tierra, Venus fueran los que describió Ptolomeo. Galileo aseguró que tanto Ptolomeo como Aristóteles hubieran sido copernicanos si hubiesen tenido conocimiento de las observaciones con las que él contó. La teoría ptolemaica poco a poco dejó de ser aceptada y ya para el siglo XVIII hubo quienes hablaron arrogantemente de los errores ptolemaicos. Por ejemplo, Jean-Baptiste-Joseph Delambre (1749 d. C.-1822 d. C.), astrónomo, historiador y uno de los inventores del sistema métrico, criticó que en el *Almagesto*¹⁸ Ptolomeo haya

¹⁸ Primer capítulo del libro 5. Ver Pedersen, Olaf, *A Survey of the Almagest...*, (2011), p. 23.

afirmado que observó la Luna usando un astrolabio sin aclarar cuál era su radio ni dar la división en grados. Además, aseguró que Ptolomeo fue un científico embustero y que más bien obtuvo sus resultados a partir de la teoría, y luego los disfrazó como datos empíricos que apoyaban a la teoría. Sólo reconoció a Ptolomeo como el predecesor de Kepler pues en su teoría lunar mencionó círculos en esferas ovaladas, hipótesis de Ptolomeo que pudo dar pie a que Kepler, propusiera elipses como las trayectorias que seguían los planetas y con ello preparar el camino para Newton.

A continuación se compararán algunas de las ideas astronómicas de Ptolomeo y Aristóteles.

1.7.5 Coincidencias y diferencias entre algunas ideas de Ptolomeo y de Aristóteles

Aristóteles dividió a la filosofía en dos partes:

- a) Una parte teórica: metafísica (equivalente a la teología), matemáticas y física. En ella se dan pruebas, demostraciones, causas o principios generales.
- b) Una parte práctica: ética, política, etc. Esta describe cómo usar los principios de la parte teórica para llevar a cabo, conducir o explicar tareas o fenómenos.

Ptolomeo estuvo de acuerdo con Aristóteles en las divisiones de la filosofía. Pero además dividió a las matemáticas en geometría, aritmética y astronomía.

De las tres categorías de la filosofía teórica sucede que Ptolomeo:

- a) Consideraba a la física como una ciencia natural que estudia las transformaciones materiales del mundo. La mayoría de esos objetos pertenecen a la parte corruptible del universo dentro de la esfera lunar. Así, Ptolomeo estaba de acuerdo con Aristóteles cuando éste define a la física como el estudio de la 'naturaleza', y a la naturaleza como el principio del 'movimiento' o el cambio¹⁹. Ello implicaba que los objetos físicos son materiales y que la mayoría de ellos, exceptuando a los cuerpos celestes, están sujetos a la generación y a la corrupción.
- b) Pensaba que la ciencia de las matemáticas investiga la naturaleza de las formas y los movimientos de los cuerpos materiales, dando nociones de figura o forma, cantidad, magnitud, espacio y tiempo²⁰. Así vuelve a mostrar

¹⁹ Pedersen, Olaf, *A Survey of the Almagest...*, (2011), p. 27.

²⁰ Ibid.

acuerdos con la doctrina aristotélica, en donde la matemática es una ciencia abstracta del mundo físico que estudia los mismos cuerpos que la física, pero sin considerar su componente material y atendiendo más bien a sus propiedades 'matemáticas'.

- c) Estaba de acuerdo con Aristóteles²¹ en uno de los dogmas principales de la epistemología aristotélica que permite llevar el proceso de abstracción más allá del estudio del mundo, bajo puntos de vista más generales en términos del ser, la existencia, la causa, el efecto y conceptos metafísicos similares y cuya investigación daba lugar a la ciencia de la teología. Dentro de la teología había 'una prueba' de la existencia de un ser supremo, Dios, al que se llamaba el *primum mobile* de todo el universo.²² A la teología también la definió como el conocimiento del Dios invisible, inmaterial e invariable.²³ Ptolomeo infirió la existencia de Dios en el sentido filosófico a partir de un argumento metafísico, afirmando que los sentidos son incapaces de analizar los fenómenos del mundo material en su materia constitutiva, formas y movimientos, y ello sólo puede hacerse mediante la razón, donde ella muestra el movimiento como algo distinto de la materia y la forma, pero también revela la última causa de todo movimiento, es decir, Dios.²⁴

Retomando el punto de vista de Ptolomeo respecto a la matemática se observa que para él ésta era la más perfecta de las disciplinas pues su carácter lógico no depende de lo percibido por los sentidos. En esto difiere un poco de Aristóteles, para quien una declaración científica verdadera tiene el carácter de ser invariablemente cierta en todo momento y en toda circunstancia. Por lo anterior, la afirmación de que los cuerpos pesados tienen una tendencia natural a moverse hacia el centro del mundo siempre es cierta pese a todas las vicisitudes de los cuerpos pesados reales. Así, pese al cambio y la corruptibilidad del mundo físico es posible que existan relaciones invariables entre los objetos siempre cambiantes, que son expresadas como afirmaciones verdaderas por toda la eternidad. Ptolomeo está en desacuerdo con lo anterior al afirmar que "la astronomía solo se ocupa de investigar el mundo que seguirá siendo el mismo por toda la eternidad [...], la cual es una propiedad característica de la ciencia".²⁵ En

²¹ Ibid.

²² El *primum mobile* podía, según el contexto, referirse a la primera esfera, la que contenía a las demás esferas, y que impartía el movimiento a todas ellas. Pero también podía referirse a Dios, en tanto que es la causa original de todo movimiento. Para una explicación más amplia del *primum mobile* ver el apéndice B.

²³ Pedersen, Olaf, *A Survey of the Almagest...*, (2011), p. 27.

²⁴ Ibid.

²⁵ Ibid., p. 29.

otras palabras, para Ptolomeo solo pueden hacerse afirmaciones verdaderas respecto de objetos eternamente inmutables. Además, para Ptolomeo la matemática es una ciencia muy general pues puede ser captada por los sentidos o sin ellos, y hay un aspecto matemático de cierto tipo en los seres materiales tanto corruptibles como no corruptibles. Las sustancias perecederas cambian con sus formas cambiantes y por lo tanto son objetos de estudio de las matemáticas así como lo son las formas inmutables de los seres eternos de la naturaleza etérea, es decir, los orbes celestes. Por lo tanto la matemática conduce a verdades absolutamente ciertas que una vez establecidas no pueden someterse a la duda. Esto se debe a que la verdad matemática se adquiere por medio de pruebas lógicas, independientemente de si tiene que ver con la aritmética o con la geometría. Es este carácter lógico el que conlleva a una certeza que nunca es alcanzada a través del testimonio de los sentidos y que por ello es ajena a la física.

Por lo anterior se podría pensar que Ptolomeo era un matemático 'puro'. Pero en el prólogo del *Almagesto* manifiesta que el estudio de la astronomía era su principal interés: "Esta es la razón que nos ha movido a dedicarnos- en la medida de nuestras posibilidades- a esta ciencia preeminente en general [es decir, las matemáticas], pero sobre todo a esa rama de la misma que tiene que ver con el conocimiento de los cuerpos divinos y celestes".²⁶

Por otra parte, ¿cómo pudo Ptolomeo ser un astrónomo si sólo la matemática era capaz de satisfacer su anhelo por la verdad eterna? La respuesta a esa pregunta parece estar relacionada con una aparente ambigüedad en la opinión de Aristóteles sobre dónde se debe colocar a la astronomía en la jerarquía del conocimiento. En la *Física*²⁷, al hablar de la astronomía tiene más en mente los aspectos de la filosofía natural que a las matemáticas, y al considerar a los aspectos matemáticos se refiere a la óptica y a la armonía (es decir, la teoría de la música). Pero en la *Metafísica*²⁸ indica que la astronomía es una de las ciencias matemáticas más cercanas a la filosofía. En cambio, para Ptolomeo la astronomía no se corrompe con la oscuridad y la incertidumbre atribuidas a la física, a pesar de que se ocupa de los cuerpos celestes. Éstos tienen un carácter material tanto para Aristóteles como para Ptolomeo, aunque su materia es de una naturaleza particular, la etérea. Por ello para Ptolomeo la astronomía se coloca por encima de las otras ciencias naturales.

²⁶ Ibid.

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid., p. 30.

La respuesta a la pregunta planteada en el párrafo anterior es que Ptolomeo estableció una frontera entre la matemática y la física distinta a la propuesta por Aristóteles. Ptolomeo pensaba que “si se estudia el mundo material cambiante y corruptible la ciencia resultante pertenece a la física, incluso si ésta tiene una forma matemática. Por otro lado, al estudiar los cielos inmutables y eternos de una manera similar a como se conduce la matemática, la ciencia resultante pertenece a las matemáticas”.²⁹ Aristóteles definió los límites de la física, la matemática y la metafísica (o teología) sólo por medio de los objetos formales de estas ciencias, y debido a que la física estudia los objetos naturales en su forma material, ello obligaba a Aristóteles a incluir cualquier ciencia natural en la física, aún si sus afirmaciones se expresaban por medio de las matemáticas. En cambio, para Ptolomeo las propiedades diferentes de la materia terrestre y la celeste le permitieron considerar a la astronomía fuera del terreno de la física y dentro del dominio de las matemáticas. Sobre este punto en particular, Ptolomeo no siguió la ideología de los antiguos filósofos que en general se limitaban a aplicar el principio aristotélico más lógico e inequívoco y consideraban sólo el objeto formal. Tal dificultad se entendió bien en la Edad Media al surgir la doctrina de la *scientiae mediae*, ciencias que como la astronomía, la óptica, la armonía y la mecánica, se interesaban en la descripción matemática del mundo material. Por consiguiente, ellas tienen algo en común tanto con la física como con la matemática, sin estar totalmente incorporadas en cualquiera de estos títulos.³⁰ El que Ptolomeo considerara a la astronomía como parte de las matemáticas puede ser una explicación de por qué el *Almagesto* no contiene astrología. Además, Ptolomeo escribió el *Tetrabiblos*, un manual de astrología mediante el cual hacía predicciones con base en las posiciones de las estrellas. Pero para él la astrología se ocupa de la influencia que ejercía el mundo celeste sobre el terrestre, y la influencia de las estrellas estaba íntimamente relacionada con su naturaleza física. Así, en la astrología no se puede hacer abstracción de las propiedades materiales de las estrellas, y por esa razón la astrología debía clasificarse como parte de la física y tratarse aparte de la astronomía matemática, incluso si se hace uso de cálculos matemáticos. Estas cuestiones han dado lugar a muchas confusiones y no hay que olvidar que ‘matemáticos’ también podía significar ‘astrólogos’ durante la Edad Media.

Ptolomeo consideraba que la astronomía podía ayudar a descubrir la primera causa del movimiento del mundo celeste, es decir cuál es el *primum mobile*,

²⁹ Ibid.

³⁰ Ibid., p. 30. Aquí Santo Tomás de Aquino sostiene que algunas de las ciencias que aplican la matemática a los fenómenos naturales se colocan en medio, por ejemplo la música y la astronomía. Sin embargo, están más relacionadas con la matemática porque lo que les interesa a los físicos en ellas es más bien el aspecto material, pero lo que le interesa a los matemáticos es el aspecto más formal.

apoyando la prueba aristotélica de la existencia de un primer móvil. Dado que en la física aristotélica lo que se mueve debe ser movido por algo, preguntarse por el primer motor es preguntarse por el primer móvil. Además, la física puede beneficiar a las matemáticas y a la filosofía pues frecuentemente las propiedades características de un cuerpo material son reveladas a través de sus movimientos característicos, los cuales son descritos matemáticamente. Por ejemplo, la constitución material de un cuerpo que lo hace más pesado que otro, y que según la concepción medieval haría que cayera más rápidamente que otro más ligero. Así, el movimiento natural de lo corruptible se da a lo largo de una línea recta, de lo incorruptible es circular, de lo pesado y pasivo es hacia el centro, de lo etéreo y activo es alejándose del centro. Lo anterior se apega a lo sostenido por la física de Aristóteles mezclada con la física estoica.³¹

La visión de un físico al ser comparada con la de un óptico, como sería el caso desde la perspectiva de Aristóteles y la de Ptolomeo, es la siguiente:

Aristóteles hizo una clasificación en la que participaban estas disciplinas. En la *Física*, Aristóteles clasificó astronomía, óptica y armonía como las ciencias que combinaban las matemáticas y la física. Se decía de ellas que eran “la parte más física de las matemáticas”.³²

Para Aristóteles, los estudiantes de óptica así como los de física debían interesarse en la forma matemática de los objetos. Por ejemplo el diámetro aparente de la Luna debería ser considerado como una abstracción mental, el producto de una reflexión sobre la materia, y a la que habría que añadir una realidad que fuese física. Richard McKirahan discute un ejemplo de este tipo de subordinación en la *Óptica* de Euclides, un tratado sobre las ilusiones ópticas producidas por nuestro aparato de percepción y nuestros procesos cognitivos³³. Es un tratado geométrico que explica nuestra percepción de las formas que ofrece la naturaleza. El ejemplo que presenta McKirahan señala que: como los ángulos formados desde el punto de visión E en el vértice son distintos (AEB, BEC, CED), los segmentos que representan el diámetro de la Luna (AB=BC=CD) parecen cambiar conforme ésta se desplaza respecto de nuestro ojo, de tal modo que AB parecerá mayor que BC y BC mayor que CD (Ver figura 1.23). Un vínculo con la física surge al pensar que las líneas rectas EA, EB, EC y ED representan rayos luminosos. El geómetra sólo está interesado en las propiedades y magnitudes de las líneas y los ángulos como la materia de razonamiento y abstracción mental,

³¹ Física estoica: estudio de la naturaleza del mundo físico en su totalidad y en cada uno de los seres que la componen incluyendo a Dios, al hombre y a los animales.

³² Westman, *The Copernican Question...*, (2011), p. 32.

³³ McKirahan, *Aristotle's Subordinate Sciences*, (1978), pp. 199-201.

mientras que el óptico o físico está interesado en los cambios de tamaño y brillantez aparentes de la Luna que son producidos por los ángulos, y por el sustrato físico de los rayos que conectan al ojo humano con el objetivo de visión.

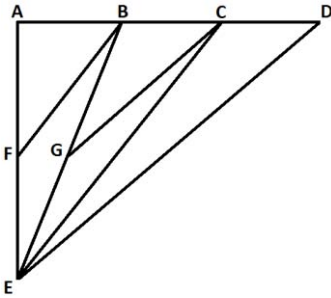


Figura 1.23 Subalternación. En la *Óptica*, proposición 4, escrita por Euclides. (Euclides, *La Perspectiva*, Mathesis III 2, UNAM, (2007), p. 27).

En su texto de lógica conocido como *Analíticos Posteriores* o *Segundos Analíticos*, Aristóteles menciona respecto de las matemáticas que:

- a) Son el sujeto que aporta la “causa” o “el porqué de las razones”.
- b) Dan preferencia por igual a lo epistemológico y a lo físico.
- c) Las formas que estudia no son subyacentes al sujeto.
- d) Explican la forma de los objetos físicos, pero no determinan la naturaleza de los mismos.

En particular, los geómetras

- a) No requieren conocer la materia del sujeto de la óptica (el “hecho” acerca de la naturaleza de los rayos de luz) para demostrar varias propiedades de la visión establecidas en términos de líneas, ángulos y triángulos.
- b) “Explican” o “demuestran” que las líneas visuales abstractas se trazan como líneas rectas que forman un ángulo con el ojo humano en el vértice, y éste ángulo proporciona una medida del tamaño aparente de los objetos.

Ptolomeo estuvo de acuerdo con Aristóteles en su explicación de la naturaleza física de las cosas en movimiento, concluyendo que la Tierra estaba inmóvil y agradeció explícitamente las divisiones que éste hizo del conocimiento. Sin embargo, apoyó a Platón en conceder a las matemáticas una capacidad de conocimiento confiable, más que a la física, cuyo sujeto era sensorial y variable, o a la teología, cuyo sujeto era eterno y sólo podía adivinarse o intuirse.³⁴ Además,

- a) Afirmó que como la materia siempre cambia, las matemáticas pueden determinar si en el caso del “cambio de lugar” el movimiento “de un lugar a otro” es circular, o bien si el cuerpo se mueve en línea recta o si éste se mueve hacia o desde el centro.

³⁴ Westman, *The Copernican Question...*, (2011), p. 33.

- b) Dio un argumento hipotético, basado en lo que se observaría cuando los cuerpos caen (o vuelan) si la Tierra rotara diariamente sobre su propio eje. Sin embargo, no se refirió al movimiento anual mencionado por Pitágoras. Lo anterior lo hizo basado en las proposiciones físicas de la astronomía del *Almagesto* – la esfera finita y la Tierra inmóvil en su centro – donde los argumentos se basaban en hechos.
- c) En la *Hipótesis Planetaria* describió las partes del éter inobservable como finas, pequeñas y enrarecidas, y también como “más *homoeomeros*”, esto es, más similares a la forma de los cuerpos elementales.³⁵ También describió a los orbes sólidos que usó en sus modelos geométricos y así se podía traducir la geometría de los movimientos a la geometría de las formas sólidas, convexas y cóncavas, las cuales son similares a los cuerpos etéreos que las constituían.³⁶

Se puede observar que el punto de vista de Ptolomeo respecto a la relación entre la astronomía, la física y las matemáticas es, el que a diferencia del de Aristóteles, permitió dar la pauta para investigar a esas ciencias como se hace hoy en día.

Conclusiones

Los pensadores griegos en la antigüedad describieron un cosmos marcado por valores ‘perfectos’ y ‘eternos’, como sugería Pitágoras, al definir órbitas planetarias circulares perfectas y uniformes. En particular, Platón utilizó la geometría, generando así la búsqueda de figuras esféricas para definir el universo celeste y su fenomenología. Con el paso del tiempo el número de esferas requeridas para la descripción de los movimientos planetarios se fue incrementando, al grado de que Aristóteles propuso un sistema con un total de 56, todas ellas manejadas por la máquina celeste o *primum mobile*, la esfera divina. Pitágoras y Aristóteles, cada uno en su tiempo, realizaron observaciones astronómicas y coincidieron en que la Tierra era redonda y permanecía inmóvil.

Astrónomos como Eudoxo y Calipo también propusieron modelos sobre bases geométricas. La transición de los modelos con esferas concéntricas a los que utilizaban deferentes y epiciclos fue el paso a la inclusión de sistemas que buscaban una mejor correspondencia entre el modelo y lo observado.

De entre todos los modelos astronómicos que surgieron el más exitoso fue el de Ptolomeo, en parte por la gran divulgación que se le dio gracias a las varias traducciones del *Almagesto*, a la labor de copiado del texto en los centros del saber occidental y, sobre todo, porque fue tan funcional que se utilizó durante

³⁵ Ibid.

³⁶ Ibid.

varios siglos. Fiel a la tradición astronómica gestada a partir de Platón, Ptolomeo enfatizaba el hecho de que los planetas giraban en órbitas circulares de manera uniforme alrededor de la Tierra. A partir de esta hipótesis construyó modelos geométricos-cinemáticos sustentados en datos empíricos, y en particular elaboró un modelo que comprendía varios sistemas de epiciclos, ecuantes y elongaciones. Conforme los datos sobre el comportamiento de las órbitas planetarias fueron más abundantes se añadieron más y más epiciclos, tal y como ocurrió con el sistema de las figuras esféricas.

Ptolomeo explicó la dinámica del movimiento compuesto de los planetas, también llamado movimiento retrógrado, y descubrió que la velocidad de la Luna es variable por el efecto de evección. Fue sorprendente su cálculo sobre los movimientos reales así como sus predicciones astronómicas. Se atrevió a rectificar o ajustar la posición de la Tierra y moverla del centro. Asumió que la astronomía se explica racionalmente a través de la matemática y apartó de su camino la concepción aristotélica de la física. Para él las características inmutables de los astros, permanentes e incorruptibles, pertenecen a la astronomía y se estudian a través de la ciencia matemática y no de la física. Distinguió a la astronomía de la astrología y clasificó a esta última dentro de la física. La relación entre la astronomía, la física y las matemáticas permitió dar la pauta para investigar a esas ciencias como se hace hoy en día.

A pesar de los avances logrados en el estudio de la cosmología, los modelos astronómicos que intentaban ofrecer una descripción y predicción del movimiento de los cuerpos celestes resultaron erróneos pues tenían las siguientes limitaciones:

1. Los astrónomos sólo se podían basar en la observación a simple vista.
2. Se afirmaba que la Tierra estaba en el centro del universo y permanece inmóvil.
3. Se aceptaba que los cuerpos celestes se mueven alrededor de la Tierra describiendo movimientos circulares uniformes, y que lo hacen con una velocidad constante.
4. Para explicar los movimientos retrógrados de los planetas se recurrió a una combinación de movimientos ordenados y circulares.
5. Los modelos propuestos por Eudoxo y Calipo no eran exclusivamente geométricos.

En el siguiente capítulo se revisarán las aportaciones hechas por Juan de Sacrobosco para promover el sistema ptolemaico.

Capítulo II

El *De Sphaera* de Sacrobosco y su relación con el sistema ptolemaico

En el presente capítulo se describirá el contenido del texto astronómico más utilizado a fines de la Edad Media, el *De Sphaera* de Juan de Sacrobosco, enfatizando su relación con el sistema ptolemaico.

2.1 Sacrobosco

Se conoce muy poco de Juan de Sacrobosco (ca. 1195-1256) quien se cree nació en Inglaterra y estudió en París. Escribió, entre otros textos, un tratado de cosmología llamado *El Tratado de la Esfera (De Sphaera)* en el que se expone el sistema ptolemaico. Éste fue uno de los textos universitarios más usados por los alumnos de astronomía desde el siglo XII hasta el XVII, y también fue el primer libro impreso de astronomía, en 1472 en Ferrara. En los siguientes 200 años sería editado en al menos 84 ocasiones.³⁷

En la universidad de París en el siglo XII había tres Facultades, la de leyes, la de medicina y la de teología. Para ingresar a ellas era requisito indispensable haber obtenido el grado de maestro en la Facultad de Artes. En esta Facultad se formaba a los estudiantes mediante siete disciplinas que se dividían en dos etapas: el *trivium* y el *quadrivium*. La primera estaba integrada por las disciplinas denominadas gramática, retórica y dialéctica, y la segunda la conformaban la geometría, la aritmética, la astronomía y la teoría musical. En la Facultad de Artes se daba más importancia a la impartición de la filosofía y teología que a la de la ciencia, lo cual era una desventaja para los que deseaban aprender filosofía natural y matemáticas. Se acostumbraba que los maestros recurrieran a citas de poetas como Virgilio, Horacio y Ovidio, y de filósofos como Cicerón y Boecio, o a escritores como Plinio, Macrobio y Marciano Capella, entre otros.

A mediados del siglo XIII ocurrió una “explosión” de conocimientos, gracias a que a partir de entonces se contaba con varios textos griegos sobre ciencia, tales como algunos escritos de Euclides, Apolonio, Ptolomeo y Aristóteles. Pero antes de ello hubo oposición a algunas de las ideas de Aristóteles, por ejemplo la que afirmaba que el mundo es eterno, y a otras ideas que iban en contra de lo descrito en las Sagradas Escrituras. De hecho, en 1210 un grupo de obispos decretó que

³⁷ Pedersen, Olaf. “In Quest of Sacrobosco”, *Journal for the History of Astronomy*, xvi, (1985), p. 184.

se prohibiera en París leer los libros de Aristóteles sobre filosofía natural, tanto en público como en solitario. Ello detuvo ciertas actividades en la universidad durante mucho tiempo y provocó que varios estudiantes ingleses regresaran a Oxford. Hasta 1231 las actividades se normalizaron y el Papa Gregorio IX ordenó que los libros prohibidos no se leyeran sino hasta que fuesen “examinados y limpiados de cualquier error sospechoso”. Así, la ‘nación’ inglesa en 1252 permitió que el *De Anima* de Aristóteles formara parte de la lista de textos del currículum universitario, pero el *De Caelo*, que contenía astronomía y cosmología, se mantuvo como prohibido. El estudio de la astronomía se realizaba siguiendo los textos de Euclides y de Ptolomeo. Así, Sacrobosco escribió su *De Sphaera* en la que admitió la distinción aristotélica entre la región elemental y la etérea en el universo al atribuir a Aristóteles la idea de que los cambios elementales son causados por la posición cambiante del Sol a lo largo de la eclíptica.³⁸

Según la ideología griega sobre la causalidad, para poder conocer una cosa es necesario saber sus causas últimas y sus primeros principios. Entonces el conocimiento era, en general, el conocimiento de las causas, y por lo tanto, la ciencia natural se dedicaba a investigar las varias causas que provocaban los efectos naturales. Según Aristóteles las causas se dividían en cuatro categorías: las causas materiales, las formales, las eficientes y las finales (esto es, el bronce de una estatua, la forma de la estatua, el escultor y el adornar un templo, respectivamente). Esas cuatro categorías se aplicaban a los trabajos de la naturaleza en general y por eso ningún fenómeno natural podía explicarse satisfactoriamente hasta que se encontraran sus causas, y en particular la causa final o propósito a cuyo fin servía el fenómeno.

Sacrobosco no coincidía con el pensamiento descrito anteriormente sino que creía que todas las cosas, desde el principio del mundo, estaban enlazadas por relaciones numéricas, y por ello la ciencia de los números ayudaba a conocer las cosas en general. Estaba tan convencido de que las matemáticas servían para explicar el mundo que afirmó que el Creador era el ‘Gran Matemático’.

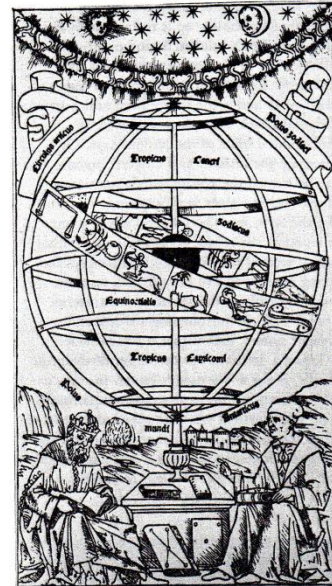
Para algunos estudiosos una forma de obtener los valores numéricos o estructuras geométricas en los cuales se basaba la filosofía natural consistía en deducir las propiedades de la naturaleza sin requerir de la experiencia externa, lo cual ya habían empezado a hacer los pitagóricos. Aristóteles estaba en desacuerdo con ello, pues para él los números no podían ser ‘formas’. Pero para Sacrobosco la estructura matemática subyacente en la naturaleza no era accesible directamente a la mente humana a través de meras especulaciones o

³⁸ Eclíptica: línea curva por la cual aparentemente se mueve el Sol alrededor de la Tierra durante un año.

razonamientos sino que era necesario hacer mediciones. Para hacerlas se debían utilizar instrumentos como a) el cuadrante, que servía para medir las altitudes del Sol y las estrellas, las latitudes geográficas de lugares y regiones, los diferentes climas³⁹, la hora precisa del día o la noche y la altura de un objeto inaccesible, b) el astrolabio que era un medio para determinar un arco de hasta un grado en el meridiano, c) el *horologium* o reloj solar que ayuda a medir el tiempo, etc.

Se puede decir que de alguna manera Sacrobosco tenía la idea de que la física era una ciencia matemática basada en mediciones, lo cual fue un gran avance en su época (Ver figura 2.1).

Figura 2.1 Ilustración de una traducción de 1496 del *Almagesto* de Ptolomeo. Regiomontano, el traductor de esta edición, está a la derecha y Ptolomeo está a la izquierda. (Tauber, E. Gerald, *Man and the Cosmos...*, (1979), p. 62.)



Sacrobosco consideraba a la astronomía como una ciencia matemática y por eso necesitó escribir, entre otros textos, el *De Sphaera*. Él iniciaba sus cursos dando dos definiciones geométricas de una esfera⁴⁰, tomadas de la traducción al latín de los *Elementos* de Euclides y del manual de geometría esférica *Sphaerica* de Teodosio de Trípoli, escrito alrededor del año 100 d. C.

³⁹ Los climas o climatas eran equivalentes, más o menos, a lo que hoy se conoce como los paralelos, es decir, líneas imaginarias paralelas al Ecuador.

⁴⁰ Según Euclides, la esfera se define al fijar el diámetro de un semicírculo, girándolo, y cuando éste vuelve a su posición inicial se ha generado la esfera, que es un cuerpo sólido y redondo. Según Teodosio, una esfera es un cuerpo sólido en cuyo centro hay un punto, llamado “centro”.

2.2 Contenido *De Sphaera* de Sacrobosco

La *De Sphaera* de Sacrobosco está conformada por cuatro capítulos cuyo contenido se describe someramente en las páginas siguientes:

Capítulo 1 La estructura general del universo

En este capítulo Sacrobosco:

- a) Definió la esfera geométrica, indicó sus propiedades e identificó su centro, los polos, el eje y la cantidad de esferas que se requieren para describir la estructura general del universo.⁴¹
- b) Argumentó porqué la Tierra y el universo son esféricos.
- c) Analizó la diferencia entre la región etérea y la elemental, también conocida como sublunar.
- d) No estuvo del todo de acuerdo con la cosmología latina de su época en la que se suponía que había ocho esferas concéntricas: las siete esferas de los planetas y la esfera de las estrellas fijas, llamada el 'firmamento' o el '*primum mobile*'. Para Sacrobosco existía una novena esfera fuera del firmamento, sin estrellas, que produce la rotación diaria de los cielos y toma el papel del *primum mobile*. Además, la esfera del firmamento respecto a la de las estrellas fijas realiza un movimiento hacia el este en razón de 1° cada 100 años, el cual coincide con lo expresado en el *Almagesto* de Ptolomeo. También señaló que las distancias entre las esferas van aumentando de acuerdo con el siguiente orden: de la Tierra a la Luna, a Mercurio, a Venus, al Sol, a Marte, a Júpiter, a Saturno, a la esfera de las estrellas fijas y a la del *primum mobile*. A ésta última le atribuyó la rotación diaria de todos los cuerpos celestes sobre los polos del ecuador. Aseguró que las esferas planetarias están separadas y se mueven individualmente en torno de los polos de la eclíptica y en dirección opuesta a la esfera del *primum mobile* y proporcionó sus periodos de rotación. Discutió y estableció que el tamaño del perímetro de la Tierra es de 252,000 estadios, según lo dicho por Ambrosio de Milán, Teodosio y Eratóstenes, indicando que ello se puede confirmar usando un astrolabio para determinar un intervalo de un grado de latitud terrestre.

⁴¹ A toda línea recta que pasa por el centro de la esfera y que va a extremos opuestos de la misma se le llama "eje de la esfera". A los dos extremos del eje se les llama "polos".

- e) Aseguró que el Sol, Venus y Mercurio completaban un periodo de revolución alrededor de la Tierra en 365 días y 6 horas, y que los dos planetas están muy cerca del Sol a lo largo de sus trayectorias.
- f) Describió el fenómeno de precesión como un movimiento directo, es decir, hacia el este, de las estrellas fijas relativo a la novena esfera, y no como un movimiento retrógrado de los puntos equinocciales, se reconoce que introdujo la 'precesión de las estrellas fijas' en la literatura latina. Sacrobosco tomó la misma razón constante de precesión que Ptolomeo, pero no mencionó las teorías de 'trepidación' usadas por varios astrónomos musulmanes.
- g) Mostró el ordenamiento ptolemaico como una serie de esferas concéntricas que constituían la región etérea transparente (también llamada la quinta esencia), moviéndose en círculos y siendo inmutables en su constitución y movimiento.

Capítulo 2 Los círculos de la esfera celeste

Sacrobosco nombró y describió los principales círculos en que se dividía la esfera terrestre: el equinoccial o ecuador celeste, el zodiaco o círculo del zodiaco (una zona con un ancho de 12° que contiene las doce constelaciones zodiacales), la eclíptica (la cual, según Sacrobosco, está inclinada 6° con respecto al plano del ecuador terrestre), el meridiano, el horizonte (que tiene el zenit como polo y ocupa diferentes posiciones relativas al ecuador de acuerdo con la distancia entre el zenit y el equinoccial, donde éste es igual a la elevación polar, es decir, a la altitud del polo del ecuador respecto al plano de la eclíptica⁴²), los trópicos de Cáncer y Capricornio, los dos círculos coluros: el solsticial y el equinoccial, y los círculos Ártico y Antártico. Respecto a los dos Círculos Árticos, en la antigüedad se definieron como Géminis a los círculos que limitaban las áreas de las estrellas circumpolares en el hemisferio norte y a las siempre invisibles estrellas en el cielo alrededor del polo sur. Por ello su radio dependía de la latitud geográfica del observador. En cambio, Sacrobosco definió el Círculo Ártico como el círculo descrito por el polo del zodiaco alrededor del polo del mundo. En consecuencia, este tenía un radio constante igual a la oblicuidad de la eclíptica, que Sacrobosco tomó del valor dado por Ptolomeo, y que era igual a $23^\circ 51'$. Así, el Círculo Ártico y el Antártico ocupan posiciones fijas en la esfera de los cielos.

⁴² Plano de la eclíptica: plano medio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Contiene a la órbita de la Tierra alrededor del Sol y también al recorrido anual aparente del Sol observado desde la Tierra. Este plano tiene una inclinación de $23^\circ 27'$ con respecto al plano del ecuador terrestre.

Sacrobosco incluyó especulaciones etimológicas sobre palabras como “ártico”, “boreal”, “zodiaco”, y enumeró en cierto orden los doce signos del zodiaco. Introdujo el concepto de latitud como la elevación de la estrella polar por encima del horizonte, lo cual no es casual pues este valor coincide con el de la latitud del lugar. Además, delimitó al mundo en cinco zonas: el Ártico, la Antártida, las zonas tropicales y las regiones tropicales y polares, donde estas dos últimas se creían inhabitables.

Capítulo 3 Los fenómenos causados por la rotación diaria de los cielos y los varios ‘climas’ del mundo habitable

En este capítulo Sacrobosco:

- a) Aseguró que las salidas y puestas de los signos zodiacales se detectan con las salidas y puestas de las estrellas fijas asociadas con el signo correspondiente. Por ejemplo, la helicoidal ascendente sucede cuando un cuerpo se vuelve visible por primera vez antes del amanecer luego de un periodo en que ha sido ocultado por la presencia de los rayos del Sol.
- b) Explicó las desigualdades de la duración de los días describiendo el movimiento anual del Sol observado desde diferentes zonas terrestres y la variación de la luz del día a lo largo de un año.
- c) Atendió el fenómeno causado por la rotación diaria de los cielos, en particular el problema de cómo hallar el momento en que un signo completo (igual a un intervalo de 30° grados en la eclíptica) subía sobre el horizonte de cierto observador.
- d) Afirmó que las variaciones en la duración del día y la noche están en función del punto sobre la Tierra que se tome en consideración. Es decir, la longitud del día depende del lugar de un observador desde una posición en el ecuador terrestre a otra en el polo norte.
- e) Se refirió a los siete ‘climas’ dividiendo la zona templada habitable de la Tierra correspondiente al hemisferio norte en siete climas o regiones paralelas, frecuentemente representados en las placas de “latitud” de los astrolabios islámicos y europeos medievales.

Capítulo 4 El movimiento planetario (incluyendo las teorías del Sol y la Luna) y la explicación de los eclipses

Sacrobosco describió los movimientos de los cuerpos celestes y para ello

- a) Analizó el movimiento del Sol en la eclíptica e indicó que los años solares tienen una duración de aproximadamente $365 \frac{1}{4}$ de días.
- b) Explicó el movimiento de los planetas retomando el modelo ptolemaico e indicando que la trayectoria de los planetas se puede describir usando tres elementos: un ecuante⁴³, un deferente (excéntrico que interseca el plano de la eclíptica) y un epiciclo.⁴⁴
- c) Definió los movimientos retrógrado y directo, así como las estaciones del año, pero no dio detalles sobre ellos.

Sacrobosco cometió el error de asegurar que los puntos estacionarios de los cinco planetas estaban determinados por las tangentes dibujadas desde el centro de la Tierra al epiciclo, error que corrigió George Peurbach en 1460 en su *Theoricæ Novæ Planetarum*.

No queda claro si Sacrobosco aseguró que el Sol se mueve en un epiciclo y que la Luna tiene un ecuante en el plano de la eclíptica y no un movimiento retrógrado pues, a diferencia de los cinco planetas, la Luna exhibe un movimiento retrógrado en su epiciclo. El movimiento del Sol se da en un círculo excéntrico con un apogeo, llamado *aux* y un perigeo llamado *oppositum augis*, dos términos que fueron adoptados en la astronomía latina hasta el Renacimiento. Sacrobosco indicó, al igual que Ptolomeo, que ambos puntos siguen el movimiento de las estrellas fijas a una razón de 1° por siglo, lo cual muestra que Sacrobosco estaba familiarizado con la precesión ptolemaica.

- d) Afirmó que los eclipses lunares son vistos al mismo tiempo en toda la Tierra, mientras que los solares dependen del clima –posición geográfica– del observador, lo cual era la forma medieval de referirse al paralaje diario de la Luna. Observó que si durante la Pasión de Cristo se asegura que hubo un eclipse solar y al mismo tiempo se veía la Luna llena, eso implicaba un milagro pues durante un eclipse solar la Luna oculta al Sol, es decir, hay Luna nueva, y eso en condiciones ‘normales’ no puede suceder a la par que cuando hay Luna llena.

⁴³ Ecuante: punto desde el cual un planeta parece desplazarse con una velocidad angular constante.

⁴⁴ Epiciclo: trayectoria circular cuyo centro es un punto móvil situado en el deferente.

En conclusión Sacrobosco al considerar a la astronomía como una ciencia matemática enriqueció la propuesta del sistema ptolemaico al exponerlo de una forma más completa y clara en su tratado *De Sphaera*. De este modo contribuyó a la primera difusión a gran escala del modelo ptolemaico dentro de las universidades de la Europa Medieval.

En el siguiente capítulo se verá sucintamente cómo se abordaron las dificultades para hacer un calendario que coincidiera con los fenómenos celestes observados.

Capítulo III

La falta de concordancia entre las efemérides y los fenómenos celestes

A continuación se verán los conflictos provocados por la falta de concordancia entre las fechas calculadas mediante el calendario juliano para las efemérides astronómicas y su ocurrencia. La predicción, según las tablas astronómicas, de solsticios y equinoccios, no coincidía con la ocurrencia de los fenómenos celestes, lo cual llevó a que el papado, por ser la instancia que en el mundo medieval se había apropiado de tal labor, revisara el calendario y la teoría astronómica que lo sustentaba. Esta situación, en particular, llevó a la necesidad de reconsiderar el modelo geocéntrico que se utilizaba y dio la pauta para que posteriormente Nicolás Copérnico planteara su propio sistema astronómico.

3.1 El calendario juliano

Debido a que las medidas astronómicas no necesariamente resultan en números enteros fue difícil que los astrónomos anteriores a la invención del telescopio, usando únicamente la observación a simple vista, las realizaran, analizaran y proporcionaran información coherente. Por ejemplo, el periodo de las fases lunares es de aproximadamente 29.53059 días, y el Sol requiere, con 4 dígitos de aproximación, de 365.2422 días para llegar al equinoccio de primavera. Los hacedores de calendarios debieron adaptar los calendarios al ciclo lunar, al solar, o a una mezcla de ambos para el uso de la humanidad. Sin embargo, para especificar los tiempos de las festividades civiles y religiosas era más conveniente usar el calendario lunar o el solar, pero no ambos a la par. Los hebreos y árabes eligieron el lunar, mientras que los romanos, luego de Julio César (100 a. C. – 44 a. C), escogieron el solar, y los cristianos consideraron tanto al solar como al lunar.

Una manera de resolver esta situación fue tratar de fijar fechas en el calendario, añadiendo o quitando algunos días después de cierta cantidad de años, pero esa fue una solución parcial ya que siempre había un residuo de días que se iba acumulando con el paso del tiempo y provocando que tarde o temprano las fechas asignadas a ciertas festividades en un año determinado ya no coincidieran con las de años posteriores o con los fenómenos astronómicos que supuestamente ocurrirían. Ello se complicó más para los romanos pues usaron un calendario que buscaba respetar a la par el calendario solar y el lunar, y además los eclesiásticos estaban interesados en que el festejo de la Pascua se realizara el domingo más cercano a la primera Luna llena de primavera para coincidir con lo descrito en las

Sagradas Escrituras. Debido a que el equinoccio y la Luna llena sucedían en distintos momentos en diferentes lugares de la Tierra, en algunas zonas se celebraba en cierta fecha el nacimiento de Cristo y en otras uno o varios días después. Por esa razón la iglesia calculaba la fecha de Semana Santa con varios años de anticipación e iniciaba su celebración en los domingos especificados en sus tablas. Como ni el año solar ni el lunar tenían un número uniforme de días, y además los años no contenían el mismo número de Lunas llenas, eso provocaba que los domingos no se repitieran regularmente en las mismas fechas del calendario y que el cálculo para la Semana Santa no fuese fácil ni exacto y por lo tanto no siempre había coincidencias entre la Iglesia romana o la bizantina o lo propuesto en otras zonas geográficas.

La forma más adecuada de medir el tiempo que el Sol tardaba en regresar al sitio en el espacio donde se producía un equinoccio fue disponer la “línea del meridiano” de sur a norte en un edificio alto y oscuro, con un agujero en su techo, y observar cuánto tardaba la luz del Sol al mediodía en regresar al mismo punto en la línea. Los edificios más convenientes para ello fueron las catedrales y en ellas se hizo una marca – una línea, generalmente metálica- en el piso sobre la cual caía la luz del Sol a lo largo del año, a la cual se le llamó línea meridiana y servía como un tipo de observatorio solar. La precisión de los resultados dependía del mantenimiento dado en la instalación: la posición correcta del agujero, la orientación apropiada de la marca y de que el piso estuviera muy bien nivelado.⁴⁵

Sin embargo, la aritmética y las políticas de intercalación fueron tan difíciles de manejar que Julio César hizo que el año que ahora llamamos 44 a. C. se alargara a 445 días para recuperar que el equinoccio de primavera quedara en la fecha tradicional del 25 de marzo. Para ello el astrónomo de César, Sosígenes (45 a. C.-¿?), precisó el valor de la longitud de un año y propuso un esquema de intercalación fijo para el calendario. Sosígenes indicó que como un año tenía aproximadamente 365.25 días se recurriera a que cada año tuviera 365 días, y para compensar el excedente de 0.25 días al año, cada cuatro años fueran de 366 días en lugar de 365 días. Julio César aceptó la propuesta de Sosígenes y promulgó este tipo de cómputo como el calendario juliano. El día extra que se intercaló cada cuatro años fue llamado “*bissextile*” (bisiesto) y en principio se introdujo el 24 o el 25 de febrero (aunque actualmente se añade en el 29 de febrero) pues los meses romanos eran de 24 días. Así, los sucesores de Julio César impusieron el nuevo calendario en todo el imperio manteniendo el

⁴⁵ Actualmente algunas de ellas aún se conservan en la catedral de Bourges en Francia, la catedral de Valencia (en la torre de Miguelete) y la catedral de Palma en España, además de la basílica de Santa María de los Ángeles y los Mártires en Roma.

equinoccio de primavera en el 25 de marzo por muchos años. Pero lo anterior no solucionó del todo el problema pues el calendario se alargaba aproximadamente 11 minutos cada año.

La diferencia entre el año juliano y el tiempo que pasa entre los equinoccios es de 0.0078 días, lo cual en 400 años equivale a un poco más de tres días ($0.0078 \times 400 = 3.12$). Por ello, luego de 400 años, el equinoccio de primavera cayó tres días antes de lo que se marcaba en el calendario de la época de César. Entonces el equinoccio de primavera, después de 4,000 años caería un mes antes, y tras 12,000 años, caería en diciembre.

Lo anterior implicaba que el regreso de Cristo se atrasaría indefinidamente y por ello la iglesia se dedicó a planificar el calendario por siglos e incluso por milenios. Los once minutos extra de los judíos resultaron ser un problema importante pues ello ponía en riesgo a las almas de todos aquellos que por el error de Sosígenes celebraban la Pascua en un día equivocado, además de provocar desacuerdos entre grupos de la iglesia que trataban de corregir el error a su manera.

En el año 313 d. C. el emperador romano Constantino (ca. 272- 337) aceptó tolerar al cristianismo, y doce años más tarde en 325 d. C., el primer concejo ecuménico de la iglesia se reunió en Nicea, en Asia Menor, y entre otros asuntos, se ocupó de buscar la manera de celebrar la Pascua al mismo tiempo en todas las comunidades cristianas.

Desde que los romanos aceptaron la propuesta de Augustalis (s. V) y mantuvieron el equinoccio de primavera el 25 de marzo, la Pascua calculada en Roma difirió de los cálculos alejandrinos luego de la junta de Nicea. Alrededor del año 455 el Papa León I (390 - 461) habló con Atila el Huno (ca. 395 - 453), para llegar a un acuerdo sobre los cálculos en Alejandría y Roma. Con ese fin comisionó a Victorio de Aquitania para que corrigiera las discrepancias entre las diferencias en la fecha del equinoccio y entre las fechas finales permitidas para el domingo de Pascua. Victorio sugirió que Roma fijara el equinoccio antes del 25 de marzo y adoptara el ciclo de 19 años. Él mismo trabajó en la tabla con esos principios iniciándola con la Pasión de Cristo. Tomó el primer año de la creación como el primer año de un ciclo de 19 años y en base a ello encontró que Cristo murió durante el cuarto año del ciclo 275. Calculó la disposición de la Pascua a partir de su época hasta llegar a 430 años después y continuó haciendo estos cálculos hasta el año 532, pero de manera inesperada, encontró que todo se volvía a repetir: las lunas, las fechas, los días, los domingos, las Pascuas y ello fue gracias a que, en lugar de reproducir juntos el ciclo lunar-solar de 19 años y el *circulus Solaris* de 28 años, para descubrir el ciclo de la Pascua de 532 años realizó sus cálculos uno separado del otro. Sin embargo, no resolvió del todo el

problema pues divagó respecto a la fecha del equinoccio y rechazó que la Pascua fuese en la Luna 15. Victorio enlistó muchos casos donde, usando un modelo computista burocrático, los griegos calculaban fechas diferentes a las de él para la Pascua, y por ello dejaron que el problema lo resolviera el sumo pontífice. Victorio decía que su trabajo no consistía en fijar algo, sino en dar una elección para que el líder de la iglesia universal decidiera, según las circunstancias, qué día debía considerarse para ese festejo especial. Los Papas casi siempre elegían fechas griegas para conservar la unidad entre ambos pueblos.⁴⁶

Cuando Carlomagno (ca. 742 -814) fue emperador, alrededor del año 800, las discrepancias entre las Lunas tabuladas de Pascua y las observadas eran evidentes, pues desde el año 325 en que se reunió el Concilio de Nicea hasta el año 800 habían transcurrido 475 años, y en cada uno había un error de $\Delta = 0.0078$ días (que es la diferencia anual de días entre el año juliano de 365.25 días y el valor más exacto de 365.2422 días), es decir que se había acumulado un error de aproximadamente $\Delta = 3.70$ días (pues $475(0.0078) = 3.705$). Además, el equinoccio de primavera era el 17 o 18 de marzo y no el 21 de marzo, como se había marcado en las tablas. La diferencia entre la lunación promedio de 29.53085 días, como se supuso en el ciclo de 19 años, y el mes sinódico⁴⁷ de 29.53059 días era conocida como $\epsilon = 0.00026$ días. Es decir que ϵ era la discrepancia entre el promedio de la lunación observada y la calculada. Para ese entonces se habían acumulado casi $(235 \epsilon)(475/19) = 1.53$ días de diferencia y por ello las fases lunares verdaderas se veían día y medio antes de las fechas indicadas en las tablas.

El Papa Juan I (470 d. C.- 526 d. C.), para resolver la discrepancia entre las fechas de lunación calculadas y las observadas, en el año 526 consultó a Dionosio el Exiguo (ca. 460 d. C.- ca. 525 d. C.). Dionosio presentó una tabla para 95 años, empezando donde terminaba la de Cirilo (ca. 370-444), en el año que en ese entonces se denotaba como el 247 de la era del emperador romano Diocleciano (ca. 244 - 311). Diocleciano era un dictador que perseguía a los cristianos y por ello Dionosio se negó a continuar usando esas viejas tablas de Pascua e ideó un nuevo sistema de numeración de los años para hacer otra tabla de las fechas de celebraciones de la Pascua.

⁴⁶ Heilbron J., *The Sun in the Church...*, (2002), p. 31.

⁴⁷ Mes sinódico: periodo transcurrido entre dos fases consecutivas iguales de la Luna.

Como ya se mencionó, Sacrobosco (ca. 1195- ca. 1256) escribió un *Compotus*⁴⁸ (“la ciencia que considera el tiempo de los movimientos del Sol y la Luna”) del cual hubo muchas versiones desde su aparición a lo largo del siglo XVI. Sacrobosco estaba consciente de que Ptolomeo sabía que ni el año juliano ni el ciclo metónico⁴⁹ daban fechas exactas y por ello sugirió adoptar los valores propuestos por Ptolomeo: $\Delta=1$ día en 300 años y $\epsilon=1$ día en 310 años.

El calendario eclesiástico se basaba en el movimiento promedio de la Luna y pretendía determinar el tiempo en que habría Luna llena o nueva, así como el período en que caería la Semana Santa y otros festejos que dependían de las Pascuas. Este problema al principio fue sencillo de atender, debido a que el valor del mes sinódico⁵⁰ promedio hallado por Ptolomeo fue bastante exacto. Pero después ello se complicó ya que los tiempos de lunaciones habían sido determinados mediante el calendario juliano cuyas fechas del movimiento del Sol eran muy inexactas.

Sacrobosco cuestionó si el método eclesiástico para determinar las fechas de las Lunas nuevas era correcto. Explicó que ese método se basaba en la suposición de que 19 años solares son equivalentes a 235 lunaciones completas, completando así un ciclo lunar. Luego afirmó que esto era incorrecto pues mostró que ambos periodos diferían por un $1\frac{1}{3}$ de una hora si el año se basaba en los cálculos del año juliano en lugar de los del año ptolemaico. De ese modo encontró un error acumulado de aproximadamente $3\frac{1}{2}$ días en las fechas de las lunaciones de su época si se partía de las que tuvieron lugar en el tiempo de Cristo. Por ello, los valores de los “números dorados”⁵¹ deberían ser ajustados, pues de no hacerlo las fechas de las Lunas llenas en general, y de la Luna de la Semana Santa en particular, siempre serían erróneas y ésta última se celebraría en una fecha

⁴⁸ *Compotus Ecclesiasticus*, en ocasiones llamado *De Anni Ratione* o también *Compotus Philosophicus*, escrito alrededor de 1240. Ver Pedersen (1985), “In Quest of Sacrobosco”, *Journal of the History of Astronomy*, xvi, 1985, p. 184.

⁴⁹ Ciclo metónico: periodo de 19 años solares utilizado para calcular las coincidencias en los periodos del Sol con los de la Luna.

⁵⁰ Mes sinódico: periodo transcurrido entre dos fases consecutivas de la Luna, cuya duración aproximada es de 29.53 días.

⁵¹ Un número dorado (también llamado de oro o áureo) es un número natural entre 1 y 19, asignado a cada año para indicar la posición de tal año en un ciclo metónico. Cada número dorado se obtiene dividiendo el año solar entre 19 y al residuo de tal división se le suma 1. Pedersen Olaf, “In Quest of Sacrobosco”, *Journal for the History of Astronomy*, xvi, (1985), p. 213.

incorrecta. Sin embargo, Sacrobosco no confiaba en que tal ajuste se realizaría pues el Concilio ecuménico de Nicea en 325 d. C había establecido las reglas para fijar fechas importantes de la liturgia cristiana.⁵²

Por lo anterior, Sacrobosco se dio a la tarea de buscar cómo corregir el error en el calendario juliano sin cambiar los números dorados. Observó que los 19 años julianos del ciclo lunar equivalen a $6939\frac{3}{4}$ días. El problema era igualar éste a los 235 meses del calendario. Desde la antigüedad los calculistas cristianos habían tratado de resolver tal problema realizando las siguientes operaciones cada 235 meses:

114 meses con un hueco, es decir, 114 meses de 29 días = 114×29 días = 3306 días.

114 meses llenos = 114×30 días = 3420 días.

7 meses intercalados = 7×30 días = 210 días.

Salto de días cada 19 años = $4\frac{3}{4}$ días.

Luego, sumaban todos los días anteriores y en total son 6940 $\frac{3}{4}$ días.

Pero Sacrobosco se percató de que los calculistas provocaron que hubiera un día más cada 19 años, siguiendo el calendario juliano, error que podía evitarse quitando un día en alguno de los ciclos de lunación. A esta cancelación le llamó *saltus lunae*, y se hacía en el mes de julio en el año 19 del ciclo. Pero aún con la estrategia del *saltus* se obtiene un periodo que no es un número entero de días. Por eso Sacrobosco propuso usar una sucesión de cuatro ciclos de 19 años comprendiendo un total de 25,759 días como el periodo del calendario fundamental. Con ese *cyclus cyclorum* las lunaciones se repetirían en las mismas fechas cada 76 años, desde 1216 hasta 1292. Luego aparecieron los calendarios de Grosseteste, válido por el periodo 1216-1292, o el de Peter Nightingale, válido por un periodo de 76 años, es decir, desde 1292 hasta 1368.⁵³

En resumen, Sacrobosco sugirió que para corregir el calendario y el catálogo, además de recuperar la fecha del equinoccio de Nicea y así mantener el equinoccio en una fecha fija, se regresara el equinoccio al 21 de marzo conservando la aproximación tabular, y se cancelara un día al año en cierto mes

⁵² Bushell W. F., "Calendar Reform", *The Mathematical Gazette*, vol. 45, No. 352, (mayo, 1961), p.118.

⁵³ Para ver las propuestas del *Computus* que mejoraron el calendario juliano, consultar Olaf Pedersen, "In Quest of Sacrobosco", *Journal History Astronomy*, vol. 16, no. 3, (1985), pp. 210-211.

luego de algunos siglos. Tal propuesta se aceptó luego de que el problema había sido discutido por académicos, prelados, comités y comisiones por un cuarto de milenio. Una causa del retraso fue la oposición a adoptar los valores de Ptolomeo para Δ y ϵ . Campanus de Novara (ca. 1200-1296), un astrónomo con conocimientos de los textos árabes, observó que la gran autoridad islámica Al-Battani (ca. 858- 929) aplicó un día Δ en cien años, tres veces el valor usado por Ptolomeo. Los árabes eligieron la propuesta de Ptolomeo entre varias dadas por expertos árabes pues la consideraron la mejor de todas.

A este respecto, un ejemplo de la gran utilidad de los textos hechos por Sacrobosco es que en el siglo XV los estudiantes de astronomía y de cálculo eclesiástico en varias universidades europeas recurrían a las tablas alfonsinas (hechas por Alfonso X el Sabio entre 1263 y 1272) y al *Tratado de la Esfera* de Sacrobosco. También, para analizar los movimientos del Sol y la Luna, usaron otro texto de Sacrobosco, el *Computus* o *De anni ratione* (Del cálculo de los años). En el *Computus* Sacrobosco usó el sistema sexagesimal para dividir el tiempo en minutos y segundos, introduciendo el uso del sistema numérico indo-arábigo, lo cual fue novedoso y facilitó las operaciones que en ese entonces se hacían mediante el sistema numérico romano.

Roger Bacon (ca. 1241 - 1294) sugirió que se combinaran las observaciones hechas por los astrónomos del oeste europeo respecto al equinoccio de primavera con las reportadas por Ptolomeo para obtener sus propios valores de Δ y ϵ . El resultado fue que $\Delta=1$ día en 125 años daba 11.52 minutos/año, cifras que tuvieron un éxito extraordinario, cercano al valor posteriormente usado en la reforma gregoriana. Los calculistas habían mostrado su incompetencia a todo el mundo en el año 1276, cuando se equivocaron en un mes completo para ajustar la fecha de la Pascua. A finales del siglo XIII los astrónomos occidentales se habían aproximado tanto como pudieron a Δ para lograr sus propósitos. Las tablas alfonsinas marcaban a Δ como un día en 134 años (10.75 minutos/año).

A mediados del siglo XIV los Papas se involucraron de forma importante para elaborar un calendario como el que se deseaba lograr. Tal fue el caso del Papa Clemente VI (1291-1352), quien pidió su consejo a los astrónomos de la universidad de París y de otros lugares. Como fue lo usual, le propusieron eliminar cierta cantidad de días en los ciclos y que los números dorados se recalcularan. Algunos tomaron el año alfonsino como base y otros cambiaron el día del equinoccio desde la época de Cristo (haciendo $\Delta=12$ minutos, un poco menos que el doble de diferencia del valor alfonsino). Por ejemplo, la fecha calculada para la Pascua difería de la fecha verdadera por ocho días en 1345 y por un mes en 1356. Advirtieron un error de cálculo en la Pascua que haría que ésta coincidiera con la Luna llena, lo cual arruinaría el milagro del eclipse solar en la crucifixión.

El Concilio de Constanza en 1415 escuchó la propuesta del cardenal Pierre d'Ailly (1351-1420), que era astrónomo y, cosa curiosa, cuya valoración de las dimensiones geográficas de la Tierra resultó errónea y fue uno de los elementos usados a favor de la idea de Cristóbal Colón para encontrar una ruta más cercana al oriente. En cuestiones calendáricas d'Ailly aconsejó saltarse un día en 134 años (de acuerdo al cálculo de Alfonso X (1221-1284)) y mover los números de oro para que las fechas propuestas en el calendario coincidieran con las de las observaciones de la Luna verdadera. Pero el Concilio no siguió esa recomendación. Después, en 1434, en el Concilio de Basilea otro cardenal astrónomo, Nicolás de Cusa (1401-1464), sugirió ignorar un salto de un día en 150 años, buscando un acuerdo entre las ideas de Alfonso y Ptolomeo, y sugirió que algunos días fuesen quitados del calendario para recuperar la fecha del equinoccio de primavera en el 21 de marzo, de tal modo que el mandato de Nicea fuese obedecido. Para lograr que los números de oro concordaran con el calendario nuevo y los meses verdaderos, el año 1439 fue declarado el doceavo año en lugar del quinceavo año (que era el que le correspondía) del ciclo metónico. Sin embargo tal propuesta no se aceptó pues el asunto era considerado por los consejeros como algo meramente técnico, y además el Papa Eugenio IV (1383-1447) creía que ello podía causar una división entre los creyentes al grado de llegar a considerarlo un antipapa y así provocar un levantamiento en los estados papales, lo cual sería más problemático que reformar el calendario. Por ello la Pascua fue celebrada en 1424 cinco semanas después, y en 1433 se eliminó una semana y otra más en 1437.

3.2 Las aportaciones de Peurbach y Regiomontano para la concordancia entre el calendario juliano con respecto a la experiencia cotidiana

George Peurbach (1423-1461) y su estudiante Johannes Müller (1436-1476), también conocido como Regiomontano, entre otros, ayudaron a resolver este problema y lo hicieron calculando los meses reales. Ambos mostraron cómo hallar la posición de la Luna en cualquier momento usando los principios ptolemaicos. Regiomontano calculó las fechas en que caerían los ciclos lunares con una aproximación que alcanzaba los minutos y los segundos y publicó una tabla comparando sus fechas de Pascua con las obtenidas usando los números de oro (Ver figura 3.1).

El Papa León X (1475-1521) y el emperador romano Maximiliano I (1459-1519) convocaron al Concilio luterano para reunirse en 1511 con el fin de hacer concordar la Pascua con los movimientos lunares. Hubo propuestas como las de

algunos vieneses, en particular de los primeros estudiantes de Regiomontano, tales como que la Pascua debía calcularse a partir de las Lunas verdaderas y no recurriendo a ciclos fijos, y que el equinoccio de primavera debía fijarse en el calendario el 10 de marzo o el 25 de marzo, saltándose un año cada 134 años (el Δ Alfonsino). Además propusieron que los números de oro, que constituían un gran logro de los cálculos medievales, se desecharan.

Figura 3.1 Calendario latino hecho en marzo de 1474 por Regiomontano. La tabla da los días en la primera columna; la carta dominical en la segunda; la fecha del día al estilo romano en la tercera (“kal.”=Kalend, “noñ.”=Nones, “id[us]”=saltos, “3noñ”=tres días antes de Nones); los días de los santos importantes en la cuarta; los grados y minutos de la posición zodiacal del Sol en la quinta y sexta y, en las columnas restantes, la longitud de la Luna (en sign, “S” y grados, “G”) en dos diferentes estimaciones. (Heilbron, J. L., *The Sun in the Church...*, (2001), p. 40)

KL		. MARTIVS .		SOLIS	LVNAE				
				PISCES.	S. G. S. G.				
1	d			20	37	2	11	2	4
2	c	6 noñ	Simplicis pape	21	36	2	24	2	17
3	f	5 noñ		22	36	3	7	3	0
4	g	4 noñ	Adriani martyris	23	35	3	20	3	13
5	A	3 noñ		24	35	4	3	3	26
6	b	2 noñ	Victoris martyris	25	34	4	16	4	9
7	c	Noñ	Perpetue & Felicitatis	26	33	5	0	4	22
8	d	8 id[us]		27	32	5	13	5	5
9	e	7 id[us]		28	31	5	26	5	18
10	f	6 id[us]		29	30	6	9	6	1
11	g	5 id[us]	Claus palce	0	29	6	22	6	14
12	A	4 id[us]	Gregorij pape	1	28	7	6	6	28
13	b	3 id[us]		2	27	7	19	7	11
14	c	2 id[us]		3	26	8	2	7	24
15	d	Id[us]		4	25	8	15	8	7
16	e	12 kal	APRILIS	5	24	8	28	8	20
17	f	11 kal	Gertrudis uirginis	6	23	9	11	9	3
18	g	10 kal		7	22	9	25	9	16
19	A	9 kal		8	21	10	8	9	29
20	b	8 kal		9	20	10	21	10	12
21	c	12 kal	Benedicti abbatis	10	18	11	4	10	25
22	d	11 kal		11	17	11	17	11	8
23	e	10 kal		12	16	0	0	11	21
24	f	9 kal		13	15	0	14	0	4
25	g	8 kal	Annuciatio Marie	14	13	0	27	0	17
26	A	7 kal		15	12	1	10	1	3
27	b	6 kal		16	10	1	23	1	16
28	c	5 kal		17	9	2	6	1	29
29	d	4 kal		18	8	2	20	2	10
30	e	3 kal		19	7	3	3	2	23
31	f	2 kal		20	6	3	16	3	6

Hubo otra propuesta de que la Pascua se celebrara en la fecha calculada para Roma de acuerdo con las definiciones exactas de Dionisio (como los profesores vieneses observaron, si una Luna llena pascual ocurría en la India, justamente luego de la media noche en un domingo, la Pascua debía celebrarse una semana después, pero la misma Luna debía estar en ese momento en el domingo “de Pascua” por la tarde en Lisboa y la Pascua debía ser observada en el oeste de Europa el día siguiente). El Papa León recomendó al Concilio luterano que siguiera los consejos de los astrónomos para calcular las Lunas nuevas astronómicamente, pero que conservara los números de oro para periodos de 134 años. Sin embargo, el Concilio no hizo caso a tal recomendación.

Se rechazó de manera consensuada la solución vienesa que consistió en que los números de oro y los valores promedio se mantendrían tal cual por conveniencia y por tradición, y que en todas partes se celebraría la Pascua el mismo día. Mientras tanto, la reforma protestante aseguró que tal problema no tenía forma de resolverse. Lutero (1483-1546) decidió que en su iglesia las fechas no estuvieran relacionadas con la fe. Recomendó resolver el problema asignando la Pascua en el calendario como se hizo con la Navidad. El Concilio de Trento decidió consultar

al Papa en diciembre de 1563. Finalmente se llegó a una conclusión 20 años después.

El primer paso fue la producción de un breviario publicado en 1568 por Pío V (1504-1572), quien pospuso los números de oro tres días tomando en cuenta el error acumulado en los ciclos de 19 años. Con ese ingenioso parche, la Luna nueva programada para, digamos el 10 de septiembre, debía esperarse que se viera el 7 de septiembre, y así sucesivamente.

Después, Aloisius Lilius (ca. 1510- 1576), también conocido como Luigi Giglio, hizo llegar al Papa Gregorio XIII (1502-1585) un plan completo para la reforma calendárica. Parece que su contacto fue otro hombre del sur, el cardenal Guglielmo Sirleto (ca. 1514-1585), quien se interesó en reformar el breviario de 1568. Sirleto hablaba muy bien las tres lenguas bíblicas y era un hábil matemático. Cuando Giglio dejó Sicilia para irse a Roma lo recomendaron al cardenal Sirleto, quien al poco tiempo se convirtió en el Papa Pablo IV (1476-1559). De inmediato Sirleto fue nombrado tutor del sobrino papal y consejero del mismísimo Papa. El futuro Pablo IV se convirtió en cardenal en 1565. Cuando Sirleto recomendó el plan de Giglio a Gregorio, el Papa le encomendó ser presidente de una nueva comisión para atender cuestiones sobre el calendario. Ésta tuvo como asesores técnicos a Antonio Giglio, hermano del reformador, a Cristóforo Clavius (1538-1612) y a Ignazio Danti (1536-1586), un astrónomo y geógrafo dominicano. El comité consideró el plan de Giglio adecuado y en 1578 hicieron una sinopsis de éste para comentarla en las universidades de la Europa católica. En 1582 el Papa y varios gobernantes promulgaron el nuevo calendario en la mayoría de los pueblos católicos. Sin embargo hubo protestantes que se quejaron y solicitaron al Papa retirar tal calendario. Por ejemplo, Michael Maestlin (1550-1631), quien fue maestro de Kepler, consideró a la reforma gregoriana como una conspiración para restablecer la autoridad papal en las regiones descontentas. Según Maestlin, la pretenciosa perpetuidad de los cálculos para la Pascua era fatua (pues opinaba que la longitud de los años no es constante) e inútil (porque el mundo no sobreviviría hasta el día en que haya un salto).⁵⁴ Otros creyeron que la intención del Papa fue compensar la pérdida de comercio mediante la venta de almanaques y calendarios, e incluso hubo quienes aseguraban que el Papa buscaba ganar diez días de ventaja respecto al resto de los seres humanos para lograr ir al último juicio antes que todos los demás.

⁵⁴ Heilbron J., *The Sun in the Church...*, (2002), p. 45.

Conclusiones

La observación de los movimientos astronómicos y su datación fue una labor difícil para los especialistas, puesto que padecieron por siglos hasta lograr fijar con mayor precisión las fechas de los eventos más sobresalientes en los calendarios. Como se pudo observar a lo largo de este capítulo, en varias ocasiones se tuvo que reajustar el calendario juliano. Para ello se debieron realizar ajustes aritméticos radicales, como crear un año de 445 días, para que el equinoccio de primavera coincidiera con el 25 de marzo. Después, Sosígenes propuso usar el año bisiesto y más tarde Dionisio el Exiguo ideó un nuevo sistema de numeración de los años para hacer otra tabla de las fechas de celebraciones de la Pascua. Predecir con exactitud y a largo plazo un eclipse lunar o solar, así como los equinoccios y los movimientos de otros cuerpos celestes, y respetar las efemérides requeridas para cada población en cualquier sitio de la Tierra se complicó aún más porque los cálculos de duración del año iniciaron con 11 minutos de sobra, y en la era cristiana se tenían que ajustar, además, a la tradición de la Pascua y sus ciclos de 532 años. El privilegio del uso del calendario solar marcó un avance; pero la iglesia católica se enfrascó en discusiones y, apasionada por sus dogmas, padeció en su afán de lograr un calendario donde todo el mundo festejara a la vez la pasión, crucifixión y resurrección de Cristo, además de que hubo un rechazo a renunciar a recursos anteriores como los números de oro. Todo esto evitó durante siglos que tal objetivo se lograra. Sacrobosco introdujo el sistema sexagesimal, rescató los cálculos de Ptolomeo del mes sinódico y valoró la pertinencia de los números dorados y de un ajuste, propuso regresar el equinoccio al 21 de marzo, conservando la aproximación tabular y que se cancelara un día al año en cierto mes luego de algunos siglos; pero la última palabra la siguió teniendo el acuerdo alcanzado siglos antes en el concilio de Nicea. Por su parte, Peurbach y Regiomontano, entre otros, hallaron la posición de la Luna en cualquier momento usando los principios ptolemaicos. Sin embargo, los dogmas católicos siguieron impidiendo usufructuar los beneficios del avance de los cálculos aritméticos. Fue hasta el siglo XVI que se empezó a ventilar la propuesta de calcular la Pascua a partir de las lunas verdaderas y no de las efemérides. El papa Gregorio aceptó, finalmente, la propuesta de Giglio para llevar a cabo la reforma que llevó al llamado calendario gregoriano, actualmente utilizado en casi todo el mundo.

En el siguiente capítulo se revisará brevemente el sistema astronómico propuesto por Nicolás Copérnico.

Capítulo IV

Innovaciones copernicanas

En el presente capítulo se abordarán los elementos básicos y características del sistema copernicano y algunas razones por las que Copérnico decidió que un sistema heliocéntrico era mejor opción que el geocéntrico utilizado hasta su época. Además, se presenta un resumen breve sobre el contenido de los dos textos que Copérnico presentó, el primero con los avances de su teoría heliocéntrica, el *Comentariolus*, y el segundo el *De Revolutionibus*, con una presentación acabada de sus ideas sostenida con modelos y tablas. Esta obra vino a marcar el inicio de una nueva manera de contemplar y entender el mundo.

Elementos básicos y características del sistema copernicano

4.1 Copérnico y su nueva propuesta

Nicolás Copérnico nació en 1473 en el pueblo de Torún en el Vístula. Después de quedar huérfano su educación fue atendida por su tío, el obispo de Varmia, Lucas Watzenrode. Copérnico entró a la universidad de Cracovia, la capital de Polonia que era muy afamada respecto a estudios de astronomía y matemáticas. Su primer maestro en astronomía fue Alberto Brudzewo quien, como casi todos los astrónomos de su época, era un seguidor de Ptolomeo y Aristóteles. Por ese entonces fue que se descubrió América, empresa que se planteó sobre la base de que la Tierra era redonda, lo cual mencionó años después en su escrito *De Revolutionibus*. En 1496 Copérnico se desplazó a Italia para continuar sus estudios en derecho canónico, en la universidad de Bolonia. Ahí mantuvo continuas relaciones con el astrónomo Domenico María de Novara⁵⁵, con quien realizó observaciones astronómicas, una indicación del alto nivel de conocimientos adquiridos por Copérnico.⁵⁶ La primera observación de Copérnico que se tiene

⁵⁵ María de Novara fue un astrónomo que revisó las posiciones de todas las estrellas mencionadas en el *Almagesto* de Ptolomeo. A él se le acreditan dos descubrimientos importantes: la disminución de la ubicuidad de la eclíptica (el valor citado por Copérnico es $23^{\circ}28.4'$) y el desplazamiento erróneo del polo norte, con el cual tenía la esperanza de refutar la teoría de Ptolomeo.

⁵⁶ Rheticus en la *Narratio Prima* afirmó: "... en Bolonia mi señor doctor, menos como alumno que como ayudante y testigo de las observaciones del varón Domenico María (...) llevaba sus apuntes con máxima exactitud...". Para más detalles ver Mínguez Pérez C., *Sobre las revoluciones (de los orbes celestes)*, (1994), XIII-XIV.

registrada fue el de la estrella Palilicium (Alfa Tauri, Aldebarán)⁵⁷ eclipsada por la Luna el 9 de marzo de 1497. Copérnico usó después esa observación para demostrar su teoría de paralaje lunar.

En 1501 Copérnico regresó a Polonia y solicitó permiso al Capítulo del que dependían sus ingresos dado que su tío le había autorizado un puesto eclesiástico en Varmia. Esto con el fin de extender su permanencia en Italia durante dos años más estudiando medicina en Padua y después poder servir como médico al Obispo y a los miembros del Capítulo. De ese modo regresó a Italia y fue tan sobresaliente en medicina que se le comparó con el dios griego del arte de la curación, Asclepio (*Aesculapius*); además aprendió griego, lo cual le permitió traducir obras de filósofos antiguos que aún no habían sido traducidas. Sin embargo no concluyó esa carrera, tal vez porque para doctorarse en medicina en Padua debía hacerlo también en filosofía, y era más costoso que doctorarse en derecho canónico en Ferrara (pese a que nunca estudió allí), lo cual hizo en 1503. Copérnico regresó a su patria y se instaló en el castillo de Lidzbark, sitio donde residía su tío, el obispo Watzenrode. Fue hombre de confianza, secretario particular y médico en la corte del obispo durante nueve años, hasta 1512 cuando repentinamente murió el obispo (tal vez envenenado). Luego de la muerte de éste Copérnico pasó a ser, sólo de nombre, canónigo de la iglesia de Frombork. La catedral era inapropiada para hacer observaciones astronómicas, pero Copérnico sí pudo elaborar trabajos teóricos sobre astronomía.

En 1507 Copérnico escribió uno de los documentos más importantes para la historia de la ciencia, el *Comentariolus (pequeño comentario)*, en el cual plasmó un sistema heliocéntrico diferente al que posteriormente apareció en su obra definitiva, el *De Revolutionibus*, que surgió a partir de sus observaciones hechas en 1515. En ellas se basó para abandonar las opiniones respecto de Ptolomeo que escribió en el *Comentariolus*. Otra razón por la que Copérnico decidió construir una opción alternativa a la ptolemaica fue que se percató de la disparidad entre sus propias observaciones y lo que ofrecía el modelo ptolemaico a través de las tablas alfonsinas, las cuales fueron elaboradas por los astrónomos de Alfonso el Sabio de Castilla, a mediados del siglo XIII y que ayudaron a calcular las posiciones planetarias por trescientos años.

⁵⁷ Aldebarán es la estrella más brillante en la constelación de Tauro. Es una estrella gigante ligeramente roja cuyo color parece anaranjado. Tiene un diámetro de 22.5 millones de millas, cerca de 25 veces la del Sol. Aldebarán se encuentra en una punta del cúmulo con forma de V llamado Híades, el cual contiene cerca de 200 estrellas. Aunque Aldebarán frecuentemente se identifica en las Híades no es parte de ese cúmulo, excepto si es observada desde cierto ángulo.

Algunos de los colegas de Copérnico lo animaron para que les enviara el *Commentariolus*. El sistema de Copérnico poco a poco adquirió algo de fama aun sin haberlo publicado formalmente.

En 1582 el Papa Gregorio XIII presentó en Roma la reforma de su calendario, y es el que aún al día de hoy se usa en el Occidente. Copérnico fue invitado a participar en un ayuntamiento luterano en la reforma de ese calendario pero rechazó ir pues pensaba que tal reforma debía hacerse hasta que los movimientos del Sol y la Luna fueran conocidos con más exactitud. Martín Lutero, entre otros, describió a Copérnico como un loco por tener una opinión contraria a la Biblia. Por otro lado el cardenal Nicolás von Schönberg, arzobispo de Capua, un erudito con ideas liberales y consejero del Papa Pablo III, pidió que se le consiguieran las copias de los escritos de Copérnico. Copérnico supo que el arzobispo había refinado sus cálculos y que los datos de su teoría habían sido mostrados para corregirlos. Luego se dispuso a revisar sus cálculos para mejorarlos si era necesario. Un catálogo de estrellas nuevo fue preparado además de obtener distancias planetarias más exactas.

Copérnico hizo observaciones de Venus durante un eclipse lunar en 1529, y junto con los datos de Ptolomeo pudo deducir el periodo del mismo. Para Mercurio tuvo que confiar en las observaciones de Bernard Walter (1430-1504), el benefactor de Regiomontano, y de Johannes Schöner, un astrónomo, que en 1533 publicó una memoria que contenía, entre otras cosas, una reflexión de Regiomontano en contra de que la Tierra giraba; su argumento fue que Mercurio se veía un tanto raro a causa de los “vapores” del río Vístula. El resultado de todo ese trabajo fue el libro de Copérnico que consta de 6 volúmenes (cuya forma de presentación y estilo de argumentación imita la del *Almagesto*), *De Revolutionibus* (*On the Revolutions* que significa “rotación”). El libro fue publicado después bajo el título más específico de *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (*De las revoluciones de las esferas celestes*).

El *De Revolutionibus* fue completado en 1530, pero Copérnico se rehusaba a publicarlo, a excepción de las tablas, quizás porque temía las repercusiones que traería su teoría (Ver tabla 4.1) revolucionaria.

Georg Joachim von Lauchen (1514-1576), quien se autonombró Rheticus, el hombre de Raetia, fue profesor de matemáticas en la universidad de Wittenberg. Supo del trabajo de Copérnico por su profesor Johannes Schöner y en 1539 se presentó en Frombork para aprender del maestro en persona. Se convirtió en el único discípulo de Copérnico y permaneció durante 2 años con él. Cuando creyó haber entendido sus ideas principales escribió un tratado breve, la *Narratio Prima de Libris Revolutionum* (*Primera explicación de los libros sobre las revoluciones*).

En contraste con la pobre recepción que tuvo el *Commentariolus*, la *Narratio Prima* causó sensación. Estaba bien escrita, enfatizaba las partes principales del sistema de Copérnico y contenía muchas citas. Fue dedicada a Schöner y llenaba de alabanzas a su ‘maestro’, a quien Rethicus nunca mencionó por su nombre, pero al que se refería como el canónigo de Torún. El obispo de Kulm, Tiedemann

Distancias planetarias		
Planeta	Copérnico	Valor Moderno
Mercurio	0.3763	0.3871
Venus	0.7193	0.7233
Tierra	1.0000 *	1.0000 *
Marte	1.5198	1.5237
Júpiter	5.2192	5.2028
Saturno	9.1743	9.5388
*Todos los valores están dados en términos de la distancia Sol-Tierra.		

Tabla 4.1 Distancias planetarias obtenidas por Copérnico. (Tauber E. Gerald, *Man and the Cosmos...*, p. 91)

Giese (1480-1550), gran amigo de Copérnico, mencionó que el escrito fue bien recibido por muchos lectores, incluyendo al duque Albrecht de Prusia. Rheticus y Giese apuraron a Copérnico para que publicara *De Revolutionibus*. Al parecer Copérnico tenía cierta inseguridad ante sus propios cálculos; quería recabar más observaciones para controlar los puntos insuficientemente justificados de su teoría y sospechaba que los astrónomos ortodoxos rechazarían su propuesta. Por eso necesitaba que algún matemático discutiera el nuevo planteamiento y revisara sus cálculos. Así, Rheticus corrigió algunos cálculos y convenció a su maestro de publicar su manuscrito. Rheticus copió el mismo y en 1543 se editó la obra de Copérnico con el título de *De Revolutionibus Orbium Coelestium libri VI*.

La impresión de tal escrito se hizo satisfactoriamente, salvo por dos eventos:

- a) Rheticus dejó Nuremberg y la universidad de Wittemberg al haber sido nombrado titular de la cátedra de matemáticas en la universidad de Leipzig, desatendiendo y dejando la supervisión de la impresión en manos de Andreas Osiander (1498-1552). Al parecer Rheticus perdió el interés repentinamente en Copérnico y su teoría debido a que mientras estaba en Nuremberg, Copérnico le envió una dedicatoria para el libro, la

cual estaba dirigida al Papa Pablo III con el fin de aclarar que no deseaba ser sacrílego. La dedicatoria menciona que Copérnico dudaba en publicarlo y sus amigos Nicolaus von Schönberg (el cardenal de Capua) y Tiedeman Giese, así como muchos otros hombres eminentes lo convencieron de hacerlo. Tal vez debido a su edad avanzada Copérnico no mencionó a Rheticus en el libro y ello debió conmocionar a éste.

- b) En el *De Revolutionibus* hay un prefacio sin firma que parecía apuntar hacia que la realidad física del mundo era dudosa. En el prefacio se explica que el modelo descrito en el libro no debía entenderse como una descripción real del universo, sino como una herramienta matemática para aclarar y simplificar los cálculos referentes a los movimientos de los planetas. Además, debía considerarse que la labor de un astrónomo era la de dar lugar a la configuración que acomodaba a dichos datos y proponer hipótesis sobre esas causas, pese a que éstas no fueran racionales (es decir aceptables para la iglesia católica). Por mucho tiempo se creyó que Copérnico lo había escrito pese a que la dedicatoria y las referencias del autor están en tercera persona.

Kepler descubrió en su copia de *De Revolutionibus* una nota que identificaba al autor, Andreas Osiander, el editor de la misma. Osiander tal vez añadió el prefacio para auto protegerse o para proteger a Copérnico contra la posible persecución por parte de los luteranos. Si Copérnico leyó el prefacio, su estado de salud ya no le permitió reaccionar y hacer algo al respecto. Según una tradición murió pocas horas luego de recibir la primera copia de *De Revolutionibus orbium coelestium*. El obispo pidió al Concilio de Nuremberg se le permitiera a Rheticus volver a publicar ciertas páginas del trabajo de Copérnico y así se hizo.

Técnicamente el sistema de Copérnico era el mismo que el de Ptolomeo, sólo que tomó al Sol en lugar de la Tierra como el centro del universo. Pero a fin de cuentas los parámetros celestes de Copérnico no fueron mucho mejores que los de sus antecesores. Sin embargo, desde el punto de vista cualitativo, el esquema de Copérnico tenía ventajas sorprendentes comparadas con el de Ptolomeo. Asignaba a la Tierra la tercera órbita del centro, explicando porqué los movimientos aparentes de los planetas interiores, Mercurio y Venus, diferían enormemente de los correspondientes a los planetas superiores, a saber, Marte, Júpiter y Saturno. Como los planetas interiores se situaban dentro de la órbita de la Tierra, nunca aparecerían lejos del Sol. Debido a su confinamiento Venus era la estrella de la mañana cuando estaba al oeste del Sol y era la estrella de la tarde cuando estaba al este del mismo. Los planetas superiores podían aparecer con alguna distancia angular desde el Sol como se veían desde la Tierra y eran más brillantes cuando estaban opuestos al Sol pues estaban más cerca de la Tierra. El

sistema de Ptolomeo necesitaba hipótesis especiales e inverosímiles para explicar esas y otras apariencias que eran naturales bajo las propuestas de Copérnico. Pese a esos beneficios, era ofensiva la hipótesis de que un cuerpo enorme, pesado y aparentemente en reposo como era el caso de la Tierra, tuviera revoluciones rápidas, complicadas y continuas. La física aristotélica rechazaba que la Tierra tuviera un movimiento natural perdurable alrededor del centro del universo. El sentido común indicaba que los giros de la Tierra, los cuales Copérnico propuso como una explicación de la alternancia del día y la noche y de los movimientos de las estrellas, causarían grandes vientos provenientes del este y además dejarían a las aves detrás. Los teólogos objetaban la propuesta de Copérnico, diciendo que en las Sagradas Escrituras se hacía mención explícita del movimiento del Sol, pues de otro modo Josué no hubiera podido pedir al Sol que se detuviera.

Copérnico mencionó todas las objeciones anteriores en una larga dedicatoria en *De Revolutionibus* al Papa Paulo III. Escribió al Papa que casi había resuelto dar a conocer su sistema heliocéntrico, pero no lo había hecho por miedo a que su novedad y peculiaridad enojara a los ignorantes. Eligió al Papa como juez y le escribió: "aún en este sitio remoto de la Tierra donde vivo le considero la más alta autoridad en virtud de la nobleza de su oficio y de su amor a toda la literatura y astronomía [el Papa era un astrólogo devoto]".⁵⁸

4.2 Algunas razones por las que Copérnico decidió que un sistema heliocéntrico era mejor opción que el geocéntrico sostenido en su época

Algunas de las posibles razones que llevaron a Copérnico a considerar que su propuesta era más viable que la geocéntrica son:⁵⁹

Primera, Copérnico resaltó que Aristóteles indicó lo siguiente respecto a los orbes:

Al estudiar la forma en la que cada uno de los cuerpos celestes se mueven alrededor de la Tierra y de cómo se relacionan entre sí las distancias de unos con otros sucede que los movimientos de cada uno son proporcionales a sus distancias, en donde algunos de esos movimientos son más rápidos y otros más lentos. Así, un cuerpo que está más cercano a la revolución simple y primaria va a lo largo de su propio círculo en un tiempo más largo que un cuerpo más lejano a tal revolución, el cual lo hará en un tiempo menor. La razón

⁵⁸ Heilbron J., *The Sun in the Church*, (1999), pp. 8-9.

⁵⁹ Goldstein, *Copernicus and the Origin...*, (2002), p. 223.

es que un cuerpo que está más cerca de la revolución más externa está más dominado por ella que uno que está más lejos de ella debido a su menor o mayor distancia de la misma respectivamente; además los cuerpos intermedios están en proporción a sus distancias.⁶⁰

Copérnico halló en el pasaje anterior el inconveniente de que si los periodos son estrictamente proporcionales a las distancias medidas desde la esfera más exterior éstos no son proporcionales a sus distancias desde la Tierra: Si P es un periodo de un planeta, d es su distancia desde la esfera más exterior y D es la distancia desde la Tierra a la esfera más exterior entonces, donde d es proporcional a P , la distancia desde la Tierra al planeta, y $D-d$ no es proporcional a P .

Por otra parte, Copérnico rescató que Simplicius (s. VI) ignoró la proporcionalidad estricta y tomó a Aristóteles para dar un orden de las distancias planetarias (de acuerdo con sus periodos) que pueden medirse ya sea desde la esfera más externa o desde la Tierra:

Resulta que él [Aristóteles] dice que los movimientos están en proporción a sus distancias porque [los planetas] que son más cercanos a la Tierra, como la Luna, se mueven más rápido, mientras que aquellos que son más lejanos se mueven más lentamente en proporción a sus distancias. Ahora bien, este [reclamo] ... plantea un problema para dar la causa del ordenamiento, es decir, a saber, porqué [los planetas] que circulan cerca de la Tierra se mueven más rápido y [los planetas] que son superiores y son más cercanos a la [esfera] fija se mueven más lentamente, justo como la [estrella] Saturno la cual regresa a su misma posición cada 30 años [se mueve más lentamente] que la Luna, la cual completa su revolución en un mes.⁶¹

Basado en lo anterior Copérnico usó esto en un contexto heliocéntrico y quizás tomó la relación distancia-periodo de Aristóteles afirmando que:

Un [planeta] excede a otro en la rapidez de su revolución en el mismo orden en el que los perímetros de [sus] círculos son más grandes o más pequeños.⁶²

Segunda, Copérnico se dio cuenta de que el principio establecido por Vitruvio (s. I a. C.) acerca de que los periodos de los planetas son mayores conforme su distancia del centro de movimiento, la Tierra, se incrementa, funcionaba bastante bien en un sistema geocéntrico para Saturno, Júpiter y Marte. Pero también se percató de que éste falla para el Sol, Venus y Mercurio, cuyos periodos son de un

⁶⁰ Ibid., pp. 223-224.

⁶¹ Ibid., ref 15.

⁶² Ibid., ref 16.

año. Por esa razón calculó los periodos de Venus y Mercurio usando el sistema heliocéntrico y adoptó este último debido a que la regla aristotélica sí funcionaba para todos los planetas.

Tercera, Copérnico rechazó la hipótesis de anidación propuesta por Ptolomeo porque ésta violaba la relación distancia-periodo para el Sol, Venus y Mercurio. Tal hipótesis afirma que la distancia mayor de un planeta es igual a la distancia menor del planeta por encima de éste, y usándola Ptolomeo fijó el orden y las distancias de los planetas a partir de la Tierra. Copérnico describió la hipótesis de anidación de los planetas propuesta por Ptolomeo solo para el espacio entre la Luna y el Sol porque lo que le interesaba era el orden de los planetas interiores con respecto al Sol. La distancia máxima a la Luna está dada en el *Almagesto* (y en otras fuentes) como 64.10 r. t. (radios terrestres) y la distancia mínima del Sol está dada como 1160 r. t. en la *Hypotyposis* de Proclo. Copérnico dio una cifra correcta de las dimensiones cósmicas de Ptolomeo y las rechazó porque las distancias de Ptolomeo no se ajustan a la relación distancia-periodo. Cabe hacer notar que Copérnico atribuyó a Platón la idea de que el orbe del Sol estaba más cerca de la Tierra que de Mercurio y Venus. Para Copérnico ese orden es incompatible con la hipótesis de anidación de los planetas ya que deja mucho espacio vacío entre el orbe de la Luna y el orbe del Sol (dado el rango de valores de las distancias desde la Tierra a la Luna y el Sol que permanecía vigente entre los astrónomos en la tradición ptolemaica). Similarmente Copérnico descartó la opinión de Alpetragius (al-Bitruji. C. 1200) quien colocó el orbe de Venus por encima del Sol y el de Mercurio por debajo de éste.⁶³

Cuarta, Copérnico revisó modelos propuestos por astrónomos previos a él y que usaron círculos homocéntricos, por ejemplo los de Girolamo Fracastoro y Giovanni Battista Amico y los de Calipo y Eudoxo, pero no le pareció el hecho de que ciertos planetas a veces aparecen más altos en los cielos y otras más abajo, o se dio cuenta que no permitían explicar el cambio aparente de las distancias. En *De Revolutionibus* Copérnico indicó que rechazó los sistemas geocéntricos (en todas

⁶³ Goldstein, *Copernicus and the Origin...*, (2002), p. 229. Averroes declaró que las condiciones subyacentes de la exposición de Aristóteles [*De Caelo*, ii.10] son reconciliables solo con 'la opinión de quienes sostienen que el Sol está debajo de Mercurio y Venus y no por encima...'. Además Averroes tal vez pensaba que la velocidad del Sol es mayor que las velocidades de Venus y Mercurio, y sin embargo el Sol podía estar por encima de ellos pues por su poder puede superar a ambos. Sin duda, su observación se basaba en una hipótesis falsa (donde 'velocidad' se refiere a la velocidad angular media, es decir, 360° divididos entre el periodo), para los periodos geocéntricos del Sol, Venus y Mercurio es exactamente lo mismo. Más tarde, en *De Revolutionibus*, i.10, Copérnico citó una observación que fue reportada por Averroes en su *Paráfrasis de Ptolomeo* sobre Venus y Mercurio, donde son vistos como puntos en el Sol de lo cual se concluye que esos dos orbes son más cercanos a la Tierra que el orbe del Sol.

las variedades conocidas por él), y sólo había dos opciones: hallar un centro diferente de movimiento o aceptar que no hay un principio que gobierne el orden de los orbes planetarios. Él eligió la primera opción pues la segunda le pareció absurda.

Quinta, en el sistema de Ptolomeo había un movimiento uniforme del deferente de los planetas sobre un punto ecuanter, un punto que no es el centro del deferente. Con ello violó el principio del movimiento circular uniforme declarado en el *Almagesto* (Ver figura 4.1).⁶⁴

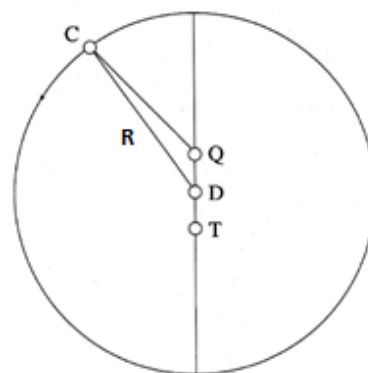


Figura 4.1 Un modelo de ecuante. T es la Tierra, D es el centro del círculo deferente cuyo radio es R, mientras que Q es el centro del movimiento uniforme para C que se encuentra en el deferente (Swerdlow, “The Derivation and First Draft of Copernicus’s Planetary Theory...”, (1973), p. 434.).

Desde el punto de vista de Swerdlow (s. XX), Copérnico encontró puntos objetables al modelo de Ptolomeo los cuales se indican en la descripción hecha por Regiomontano en el *Epítome del Almagesto* que en la siguiente cita se han marcado con letras negritas (Ver figura 4.2).⁶⁵

Sean ABG puntos que están en un círculo excéntrico con centro en D y cuyo diámetro ADG pasa por el centro de la esfera de los signos, el cual corresponde al punto E. En la esfera de los signos el punto A será su distancia mayor y el punto G su distancia menor. Después, bisectando la línea DE en el punto Z, con un radio igual a AD, se describe sobre Z el círculo HTK igual al círculo ADG, y con centro en T se describe el círculo de la esfera de revolución la cual será el círculo LM. Ahora se dibuja la línea LTMD. Luego, supóngase que el plano de todos esos círculos está en el plano de la esfera de los signos.

Primero, la línea EA pasa a través de la mayor y la menor distancia de los movimientos excéntricos con el movimiento de la esfera de las estrellas fijas que lleva con ella a los dos puntos Z y D. Segundo, el plano de la esfera excéntrica HTK, el cual lleva la esfera de revolución LM, se mueve en el orden de los signos del Zodiaco, es decir de oeste a este,

⁶⁴ Como Neugebauer (1899-1990) demostró, Copérnico y sus predecesores musulmanes no ‘abandonaron’ el ecuante; por el contrario, lo preservaron, y con un epiciclo secundario y movimientos circulares uniformes obtenían casi los mismos resultados que los obtenidos con los modelos de ecuanter de Ptolomeo.

⁶⁵ Swerdlow, “The Derivation and First Draft of Copernicus’s Planetary Theory: a Translation of the Commentariolus with Commentary”, (1973), pp. 434-435.

alrededor de su centro **Z de manera uniforme, pero no sobre Z sino sobre el punto D**. Tercero, el epiciclo se mueve alrededor de su centro llevando el cuerpo del planeta de oeste a este en su mitad superior y en el sentido opuesto en su mitad inferior. **Pero la uniformidad de ese movimiento se lleva a cabo con relación al punto en la parte más alta del epiciclo que se encuentra en la línea que pasa por el punto D y el centro del epiciclo**. Y de esta manera [alguna irregularidad] parecerá que sucede de forma similar a la irregularidad que se percibe por [mera] observación.⁶⁶

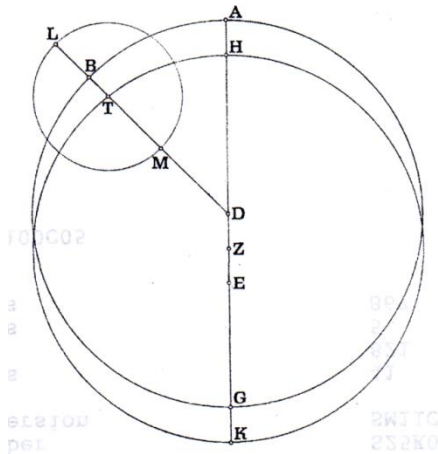


Figura 4.2 Sistema ptolemaico que describe cómo se daban los movimientos irregulares de los tres planetas superiores y Venus. (Swerdlow, "The Derivation and First...", (1973), p. 434).

Copérnico se opuso al movimiento uniforme del centro del epiciclo que tiene lugar en el círculo imaginario ABG con centro en D, el 'círculo ecuante', mientras que su centro permanece en el círculo HTK con centro en Z, la 'esfera deferente'. La frase de que el planeta no se mueve uniformemente "con respecto a su propio centro" se refiere al movimiento en el epiciclo. Este movimiento es uniforme con respecto al apogeo⁶⁷ medio L que está en la línea dirigida al centro D. Copérnico señaló en *De Revolutionibus*⁶⁸ que el movimiento del planeta debería ser uniforme con respecto al apogeo que está en una línea dirigida al punto Z. Pero el movimiento uniforme del planeta con respecto al punto L es una consecuencia necesaria del movimiento uniforme de T con respecto a D. Si el movimiento en el epiciclo se refiere a un apogeo dirigido a un centro diferente, digamos Z, el movimiento de la anomalía⁶⁹ estaría fuera de fase con el Sol y el planeta no estaría en el apogeo medio del epiciclo en el tiempo de la conjunción media.

Por lo tanto, la verdadera objeción de Copérnico al modelo de Ptolomeo fue que el movimiento del centro del epiciclo no es uniforme con respecto al centro desde

⁶⁶ Swerdlow, "The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory...", (1973), p. 435.

⁶⁷ Apogeo: punto más alejado de la Tierra en la órbita de un cuerpo que gira alrededor de ésta.

⁶⁸ Ibid.

⁶⁹ Anomalía media: fracción de un periodo orbital que ha transcurrido, expresada como ángulo.

el cual éste mantiene una distancia constante. La razón de esa objeción es que Copérnico consideró que el movimiento de un planeta es dirigido por la revolución de una esfera material (o esferas) en la que el planeta está fijo. El único movimiento permitido a la esfera es una rotación uniforme simple sobre su diámetro; no se puede mover uniformemente con respecto a cualquier otra línea recta que pase a través de ella. En la figura 4.2 el diámetro de la esfera que lleva al epiciclo pasa por el punto Z y por lo tanto su movimiento no puede ser uniforme con respecto a una línea que pase a través de D. Si la esfera HTK se hiciera girar sobre un eje que pase por D éste sería desplazado.

En resumen, Copérnico rechazó el sistema ptolemaico porque en él los planetas no se mueven con velocidad uniforme con respecto al deferente ni con respecto al centro de su epiciclo.

Al menos por las cinco razones anteriores, Copérnico decidió plantear un nuevo sistema que predijera con exactitud los movimientos aparentes de los planetas y que además preservara el movimiento circular uniforme.⁷⁰ Así, transformó el modelo geocéntrico de Ptolomeo para resolver el problema del ecuante y construyó su propio sistema heliocéntrico. Lo hizo usando las dos proposiciones anteriores argumentadas por Swerdlow.

Las proposiciones de Regiomontano, en principio, transformaban el modelo geocéntrico para los planetas exteriores en un sistema como el propuesto por Tycho Brahe (1546-1601), en el cual el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra inmóvil, mientras que Marte, Mercurio, Venus, Júpiter y Saturno giran alrededor del Sol, el cual no es exactamente un sistema heliocéntrico. Sin embargo, el sistema thychoniano no satisface la relación distancia-periodo pues para éste el ordenamiento de los planetas, incluyendo el Sol, no depende del orden de sus periodos.

Copérnico hizo varios supuestos, los cuales aparecen primeramente en el *Commentariolus*:⁷¹ (1) El Sol está en reposo en el centro y la Tierra se mueve

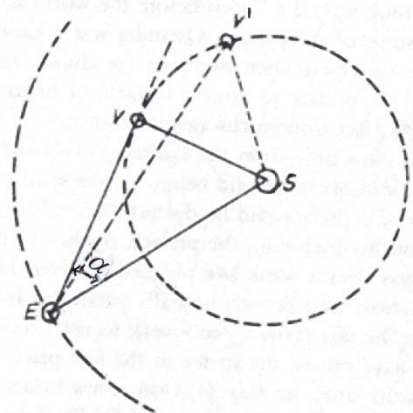
⁷⁰ Ver Swerdlow, "The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory...", (1973), pp. 434-435.

⁷¹ Goldstein, *Copernicus and the Origin...*, (2002), p. 232. Copérnico citó un pasaje de alguien en Grecia con seudónimo Plutarco (ver la edición de Plutarco en 1509): algunos piensan que la Tierra está en reposo. Pero el pitagórico Filolao cree que como el Sol y la Luna, ésta gira alrededor del fuego central en un círculo oblicuo. Heráclides Póntico y el pitagórico Ecphantus creían que la Tierra se movía, no con un movimiento progresivo, sino como una rueda que gira de oeste a este alrededor de su propio centro.

Según Rosen, Copérnico transcribió el siguiente pasaje en su copia de *La Historia Natural* de Plinio: Hicetas de Siracusa, como afirma Teofrasto, tiene el punto de vista de que el cielo, el Sol, la Luna, las estrellas, y en fin, todas las cosas en lo alto, son estacionarias y que nada en el mundo está en movimiento excepto la

alrededor de él; (2) El Sol es el centro del movimiento para los seis planetas (los ‘cinco’ más la Tierra); y (3) la Luna no es un planeta, más bien es una ‘compañera de viaje’ de la Tierra alrededor del Sol. Los seis planetas se mueven alrededor del Sol para así mantener la relación distancia-periodo dependiendo del periodo de cada planeta alrededor del Sol, en lugar de alrededor de la Tierra. El orden de los periodos para Saturno, Júpiter y Marte no estaba en duda. Así, solo era necesario demostrar que los periodos heliocéntricos de Venus y Mercurio eran menores a un año y que el periodo de Mercurio era menor que el de Venus. Cuando Copérnico calculó que el periodo heliocéntrico de Venus era menor a un año (Ver figura 4.3) se convenció de que era necesario construir un sistema heliocéntrico y de que éste tenía las propiedades de la armonía y la conmensurabilidad que posteriormente enfatizó en el *De Revolutionibus*. Copérnico llamó a este periodo ‘el noveno mes’ en el *Commentariolus*. Aunque debió haber calculado 225 días, sin embargo el error de tal cálculo no afectó su argumento.

Figura 4.3 Órbita de Venus. Sean (V) y (V') dos posiciones de Venus en su órbita alrededor del Sol (S). Cuando Venus parece estar más lejos del Sol, el ángulo α formado entre la línea de visión desde la Tierra (E) hasta Venus (V) y el Sol (S) respectivamente, será el máximo (es decir, el más grande posible). Al mismo tiempo, la línea de visión desde la Tierra a Venus (V) es tangente o un ángulo recto a la órbita. Sabiendo la distancia Sol-Tierra y el ángulo α es fácil deducir la distancia a Venus. Para hallar el periodo de revolución Copérnico obtuvo dos observaciones sucesivas de Venus en casi la misma posición (relativas al Sol y las estrellas) y halló que Venus completa una revolución en 255 días. (Tauber E. Gerald, *Man and the Cosmos...* p. 91).



El periodo sideral correcto de un día de Mercurio en el *Comentariolus* Copérnico lo indica como de 88 días, pero en *De Revolutionibus* como de 80 días.

Pese a que Copérnico tuvo errores aritméticos que no se pueden explicar y que resultan en una diferencia de valores entre su primero y último trabajos, todo lo que necesitó en realidad fue hallar que el ordenamiento del periodo de los planetas alrededor del Sol concordaban con su relación distancia-periodo.

Tierra, la cual al girar y torcerse alrededor de su eje con su velocidad extrema produce los mismos resultados producidos si la Tierra estuviera estacionaria y el cielo se moviera.

Este pasaje es citado por Copérnico en su *Dedicatoria al Papa*, aunque ahí ‘Hicetas’ aparece como ‘Nicetas’.

El pasaje principal en el cual Copérnico indica su motivación para sostener el heliocentrismo aparece en *De Revolutionibus*:⁷²

Vemos que los filósofos antiguos aceptaban tomar la secuencia de estrellas errantes de acuerdo al tamaño de sus revoluciones, suponiendo el principio de que si los objetos son llevados a lo largo [de todo su recorrido] con la misma velocidad, aquellos que están más lejos parecen moverse más lentamente como Euclides lo probó en su *Óptica*. Consideraron que la Luna da vueltas en el círculo más pequeño. Tomaron a Saturno en el [círculo] más grande porque da vueltas en el circuito más grande en el mayor tiempo, Júpiter abajo de éste y después de él Marte... Por otro lado, quienes ponen a Venus y Mercurio debajo del Sol señalan, para defender su argumento, la extensión del espacio que quedaría entre el Sol y la Luna. Descubrieron que la distancia más grande desde la Luna a la Tierra fue de sesenta y cuatro y un sexto de unidades, tomando el radio de la Tierra como unidad, y fue un dieciochoavo de la separación más pequeña entre el Sol y la Tierra, la cual era 1160 unidades. [El espacio entre el Sol y la Luna es llenado por los orbes de Venus y Mercurio]... ¿Qué razón puede ser dada por aquellos que ponen a Venus debajo del Sol y a Mercurio después de él, o por quienes los ponen en algún otro orden alejados unos de otros, o para no colocar similarmente sus circuitos separados unos de otros y lejos del Sol aun si el argumento de su velocidad o lentitud no prueba el orden incorrecto? Entonces debe ser que la Tierra no es el centro al que se debe referir para dar el orden de las estrellas y las esferas, o a que no hay un orden en el sistema y no hay razón evidente por la que la posición superior debiera corresponderle a Saturno más que a Júpiter o a algún otro planeta. En consecuencia pienso que no debemos menospreciar el argumento que fue bien conocido por Marciano Capella⁷³, quien escribió la *Enciclopedia*, y [el de] otros escritores latinos. Ellos creían que Venus y Mercurio giran alrededor del Sol, el cual está en medio de ellos, y que esa es la razón por la que no se separan más allá de lo que la curvatura de las esferas lo permite pues no van alrededor de la Tierra como los demás, pero sus esferas giran en el sentido opuesto... La primera y más alta de todas las esferas es la esfera de las estrellas, la cual contiene en ella a todas las cosas y por lo tanto está inmóvil... Sigue Saturno, la primera de las estrellas errantes que completa su circuito en 30 años. Después viene Júpiter que se mueve en una revolución cuya duración es de 12 años. Luego está Marte que da una vuelta cada dos años. La revolución anual tiene el cuarto lugar en el cual, como dijimos, está contenida la Tierra junto con la esfera lunar que es como un epiciclo. En el quinto lugar está Venus que da una vuelta cada 9 meses. Finalmente, Mercurio tiene el sexto lugar, haciendo un circuito en el espacio de 80 días. En medio de todo está el Sol.

⁷² Ibid., p. 222.

⁷³ Marciano Capella (s. V) no hizo un sistema heliocéntrico para el Sol y los otros planetas que giraban en torno a la Tierra. Copérnico adoptó la idea de Capella de que Venus y Mercurio giran alrededor del Sol pues así la relación distancia-periodo funcionaba.

Copérnico usó la hipótesis de que si la velocidad lineal de los planetas es la misma, entonces los planetas más lejanos del centro de movimiento parecen tener un periodo más largo. Esto se sigue de la *Óptica* de Euclides, pero es inapropiado para el sistema de Copérnico en el cual las distancias se determinan a partir de la transformación de los modelos de Ptolomeo en los que para un planeta exterior el radio del epiciclo corresponde al radio del orbe de la Tierra y para un planeta interior el radio del deferente corresponde al radio del orbe de la Tierra (Ver figuras 4.4 (a)-(d)). Para ilustrar estos modelos se simplifica la hipótesis de que los orbes de los planetas no tienen excentricidad y que todos sus movimientos tienen lugar en el mismo plano.

En la figura 4.4(a) se presenta un modelo geocéntrico para un planeta interior; T es la Tierra, V es el planeta y \bar{S} es la dirección al sol medio⁷⁴. Las direcciones del movimiento en el círculo deferente respecto a T y en el epiciclo respecto a C están indicadas por flechas. El radio del epiciclo es r y el radio del deferente es R . La transformación al modelo heliocéntrico es mostrada en la figura 4.4 (b). Para hacerlo identifiquemos C en la figura 4.4(a) con \bar{S} , es decir, el Sol medio ya no es una dirección sino un punto en el centro del epiciclo y los planetas se mueven en un círculo respecto a él. Entonces se intercambian los papeles de \bar{S} y T de tal modo que V y T se muevan en círculos alrededor de \bar{S} . Nótese que r es ahora el

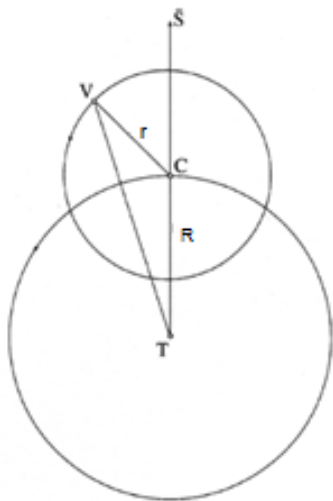


Figura 4.4 (a) Un modelo geocéntrico para un planeta interior.

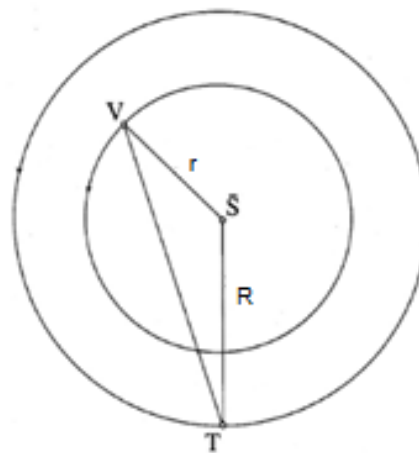


Figura 4.4 (b) Un modelo heliocéntrico para un planeta interior.

⁷⁴ Sol hipotético que se mueve a lo largo del ecuador celeste a una velocidad uniforme y que completa su curso anual en el mismo tiempo que el Sol verdadero tarda en moverse a lo largo de la eclíptica. Se utiliza para medir el tiempo solar medio.

radio del orbe de un planeta interior y que R es el radio del orbe de la Tierra; la razón $\frac{r}{R}$ no se ve afectada por esta transformación.

Para el modelo geocéntrico de un planeta exterior véase la figura 4.4(c). El planeta M se mueve en un epiciclo cuyo centro es C y cuyo radio es r , y C se mueve en el círculo deferente cuyo radio es R alrededor de la Tierra en T ; las direcciones del movimiento en los ciclos son indicadas mediante flechas. En este caso la dirección del Sol medio está indicada por una línea discontinua desde T que es paralela a la dirección desde C a M . Para transformar este modelo geocéntrico en un modelo heliocéntrico se introduce un punto \bar{S} en la dirección del Sol medio a una distancia r desde T y después se completa el paralelogramo $T\bar{S}MC$. Si fijamos T y dejamos mover \bar{S} alrededor de T y M alrededor de \bar{S} tendremos un modelo tychoniano (geo-heliocéntrico), es decir, los planetas se mueven alrededor del Sol y el Sol se mueve alrededor de la Tierra. Pero si fijamos \bar{S} y dejamos que T y M se muevan alrededor de él, tendremos un modelo heliocéntrico como en la figura 4.4 (d). Nótese que en el modelo heliocéntrico R es el radio del orbe de un planeta exterior y r es el radio del orbe de la Tierra y la razón $\frac{R}{r}$ no se ve afectada por tales transformaciones.

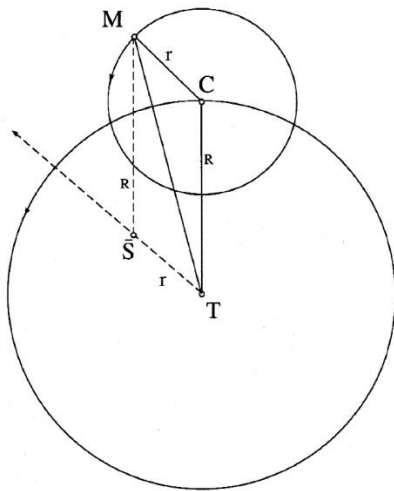


Figura 4.4 (c) Un modelo geocéntrico para un planeta exterior.

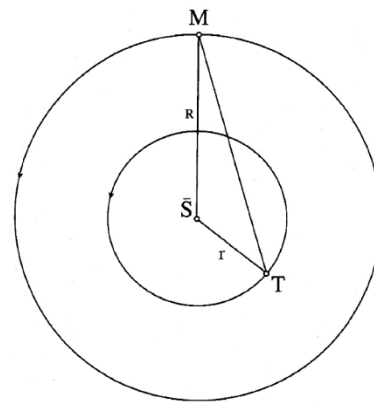


Figura 4.4 (d) Un modelo heliocéntrico para un planeta exterior.

4.3 Los postulados de Copérnico para proponer un nuevo sistema

Cuando Copérnico notó las dificultades anteriores pensó que un modelo más razonable estaría compuesto de círculos donde cada irregularidad aparente se mantuviera y que cada cosa se moviera uniformemente. Para ello creyó haber

encontrado procedimientos más simples, siempre y cuando se aceptaran los siguientes postulados:⁷⁵

Primer postulado: No hay un centro único de todas las esferas celestes (*orbium*) o esferas (*sphaerarum*).

Segundo postulado: El centro de la Tierra no es el centro del universo, sino sólo es el centro hacia el cual las cosas pesadas se mueven y también es el centro de la esfera lunar.

Tercer postulado: Todas las esferas rodean al Sol como si éste estuviera en medio de todas ellas, por lo que el centro del universo está cerca del Sol.

Cuarto postulado: La razón de la distancia del Sol a la altura de la esfera de las estrellas fijas y la distancia de la Tierra a la altura de la esfera de las estrellas fijas es menor que la razón del semidiámetro de la Tierra (es decir, el radio de la Tierra) y la distancia de la Tierra al Sol, al grado que la distancia entre el Sol y la Tierra es imperceptible comparada con la gran altura de la esfera de las estrellas fijas.

Quinto postulado: Cualquier movimiento que aparezca en la esfera de las estrellas fijas no pertenece a ésta sino a la Tierra. Por lo tanto toda la Tierra, junto con sus elementos cercanos realiza una rotación completa alrededor de sus polos fijos en un movimiento diario, mientras que la esfera de las estrellas fijas y el cielo exterior permanecen inmóviles.

Sexto postulado: Cualquier movimiento que nos parezca que pertenece al Sol no es debido al [movimiento del] Sol sino al [movimiento] de la Tierra y de nuestra esfera, con la que giramos alrededor del Sol al igual que cualquier otro planeta. Y así la Tierra tiene más de un movimiento.

Séptimo postulado: Los que nos parecen movimientos de retrogradación o progresión (directos) de los planetas no se deben a sus movimientos sino al movimiento de la Tierra. Por lo tanto, el movimiento de ésta es por sí mismo suficiente para explicar la diversidad de movimientos aparentemente irregulares en los cielos.

⁷⁵ Swerdlow, "The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory...", (1973), p. 436. También ver Mínguez Pérez C., *Sobre las Revoluciones (de los Orbes Celestes)*, (1994), XXI-XXII.

Si los postulados 3 y 6 son ciertos, entonces los postulados 2, 4, 5 y 7 se pueden demostrar, y el postulado 1 se sostiene por sí mismo. Los postulados 3 y 6 no se pueden probar y en realidad son axiomas de la teoría heliocéntrica que se dan al fijar el orden y las distancias de los planetas.⁷⁶

Copérnico afirmó que su teoría planetaria resuelve el problema de la descripción del movimiento irregular aparente de un planeta y le asoció dos características: (1) velocidad uniforme y (2) figura circular.

Aristarco de Samos (ca. 310 a. C. – ca. 230 a. C.) ya había propuesto ideas similares a las de Copérnico y las dos ideas fundamentales que rescató fueron que un punto geométrico o fuego central (que no es Sol), y no la Tierra, es el centro del universo, y que el movimiento de la Tierra es el que explica la rotación diaria aparente de la esfera celeste, así como las otras “desigualdades aparentes en los cielos”.⁷⁷

Copérnico consideró la rotación de la Tierra sobre su eje como una consecuencia natural de su forma esférica y en vez de objetar que ésta podía volar, argumentó que es “natural” en lugar de decir que había un movimiento “violento”. Él conocía los argumentos similares de Nicolás de Cusa respecto al mismo asunto.

Copérnico estaba consciente de que la observación desde lejos no dependía de si la Tierra estaba en movimiento o de si el Sol y las estrellas estaban fijas o viceversa. Tal idea ya había sido expresada por Aristóteles y es conocida como el principio del movimiento relativo y Virgilio lo exhibió en *La Eneida*: “partiendo del puerto la tierra y las ciudades se desvanecen” (Ver figura 4.5).

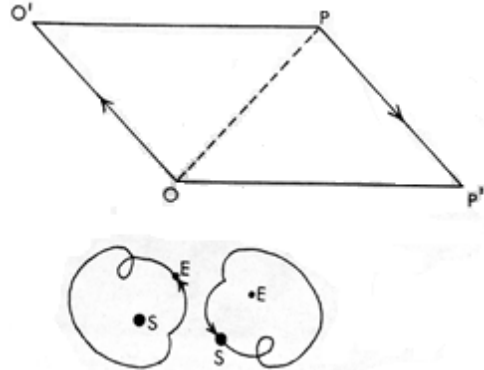
Aplicar esas ideas a una rotación aparente cerca del observador es algo más complicado, pues el ojo no puede determinar si un objeto en verdad se ha movido o si sólo se ha movido con respecto a alguna posición fija. Eso se aplica al movimiento diario de rotación de la Tierra y también a su movimiento anual alrededor del Sol (Ver figuras 4.6 y 4.7). Ambos son bastante independientes y distintos y sería posible aceptar uno sin el otro. De hecho, desde que Copérnico y sus contemporáneos supusieron que un cuerpo rotando daba vueltas como si

⁷⁶ Para más detalles ver Swerdlow, “The Derivation and First Draft of Copernicus’s Planetary Theory...”, (1973), pp. 437-438.

⁷⁷⁷ Ambos tipos de movimientos fueron retomados por Alberto de Sajonia entre 1481 y 1520. Grant, “In Defense of the Earth’s Centrality...”, (1984), p. 2.

estuviese unido rígidamente a los elementos fijos centrales, se añadía un tercer movimiento para mantener al eje de la Tierra fijo en el espacio. Tal eje fijo es el

Figura 4.5 *Movimiento relativo.* Supóngase que un observador está en O y un objeto en P. Entonces, si el objeto se mueve de P a P', el observador permaneció en O o el observador se movió a una distancia igual en la dirección opuesta de O a O' y el objeto permaneció en P y el efecto ante el ojo es exactamente el mismo. En otro caso, la distancia relativa, OP' u O'P son las mismas. Esto se aplica de forma similar para un movimiento a lo largo de una curva cerrada. El efecto para el ojo es el mismo si E se está moviendo y S está en reposo o si E está en reposo y S se está moviendo. (Tauber E. Gerald, *Man and the Cosmos...* p. 88).



que explica las estaciones. La ventaja del sistema copernicano es que el movimiento retrógrado aparente de los planetas aparece como una consecuencia del movimiento de la Tierra (Ver figura 4.8). Aunque para explicar las velocidades variables de los planetas en sus órbitas, Copérnico no tuvo otra opción que volver a usar los epiciclos debido a que el movimiento circular (o una combinación de movimientos circulares) era el único aceptable. Copérnico rechazó la noción del ecuante debido a que no cumplía que los movimientos fueran uniformes y circulares.

Copérnico evitó el ecuante colocando el Sol fuera del centro e introduciendo un epiciclo pequeño para cada planeta (Ver figura 4.9). Copérnico no tuvo que añadir nada a la construcción correspondiente de Ptolomeo usada para el movimiento del Sol alrededor de la Tierra pues fueron suficientes tres movimientos (Ver figura 4.10). En el caso de la Luna reemplazó la excentricidad del deferente de Ptolomeo con un segundo epiciclo y explicó su movimiento con cuatro movimientos circulares.

Copérnico necesitó para los planetas más externos y Venus cinco epiciclos para cada uno, mientras que para Mercurio requirió dos adicionales para explicar su oscilación. Él estaba convencido de que dos movimientos circulares pueden producir un movimiento en línea recta.⁷⁸

⁷⁸ En el manuscrito final de Copérnico hay una oración tachada en donde observa que dos círculos desiguales al mezclarse pueden describir una sección cónica, la elipse. Ello indica que Copérnico se anticipó en cierta manera a Kepler. De hecho, la combinación de dos círculos da sólo una hipocicloide (parecida a una

Una vez comentada la innovación que introdujo Copérnico como alternativa para una mejor descripción de lo que se observó respecto de los movimientos celestes en las siguientes dos secciones se esbozará la manera como las plasmó tanto en su primera versión el *Comentariolus* como en la más refinada del *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.

Figura 4.6 La rotación de la Tierra. Sean S la posición de una estrella en la esfera celeste directamente sobre un observador (A) en la Tierra (la dirección está determinada con la línea AB) y O el centro común de la Tierra y la esfera celeste. Ahora, supóngase primero que la esfera celeste gira en el sentido de las manecillas del reloj hasta que S es S' y A ve la estrella en su horizonte. Luego, supongamos que la estrella S y la esfera celeste están quietas pero, que la Tierra gira en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta que AB es A'B' y el observador (ahora A') nuevamente ve la estrella en su horizonte. En ambos casos el observador verá exactamente el mismo movimiento en el cielo. Puede verse en el diagrama que el ángulo SOS' termina donde se supone que gira la esfera celeste y es igual al ángulo AOA' que termina donde gira la Tierra en el segundo caso, pero que las dos rotaciones son en direcciones opuestas.

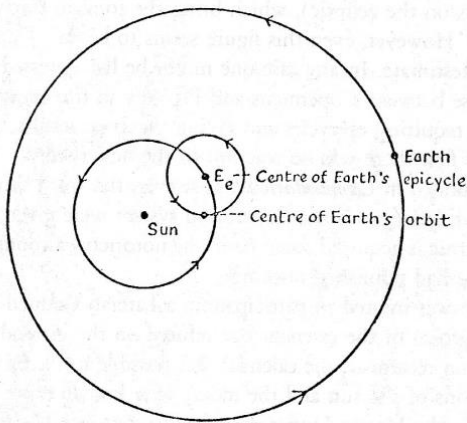
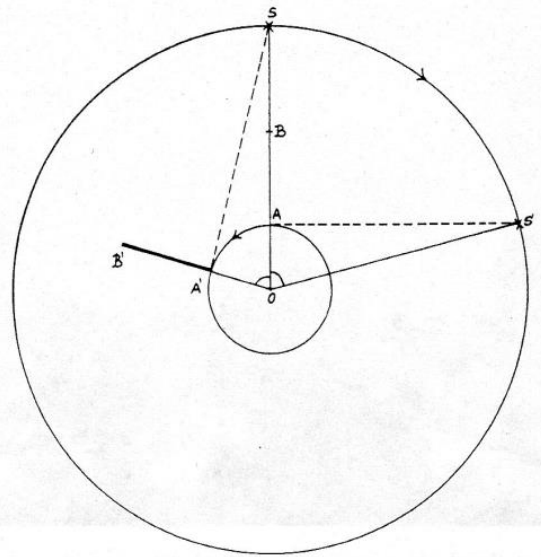


Figura 4.7 Aunque el sistema de Copérnico también requirió epiciclos para explicar el movimiento irregular de la Tierra y los planetas, los papeles del círculo principal y del epiciclo fueron intercambiados frecuentemente. Empezando con el Sol: el centro del epiciclo de la Tierra, E_e , gira alrededor del Sol. El centro de la órbita de la Tierra se sitúa en ese epiciclo sobre el cual la Tierra gira alrededor. Esos tres movimientos fueron necesarios para explicar los movimientos diarios y anuales de la Tierra.

elipse) y quizás es la razón por la que Copérnico tachó esa observación particular (Ver Tauber B. Gerald, *Man and the cosmos...* p. 88).

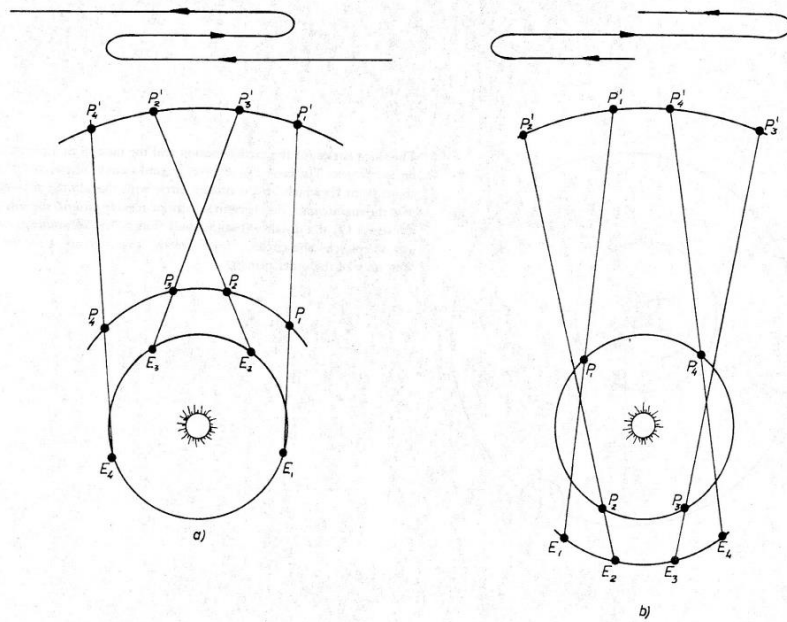


Figura 4.8 *Movimiento retrógrado.* Sean E_1, E_2, E_3 y E_4 en el diagrama (a) cuatro posiciones consecutivas de la Tierra en su órbita y P_1, P_2, P_3 y P_4 las posiciones correspondientes de un planeta. Como la Tierra se mueve constantemente en su órbita desde E_1 hasta E_4 y el planeta desde P_1 hasta P_4 la posición aparente del planeta con respecto a las estrellas fijas se moverá a lo largo de P'_1, P'_2, P'_3 y P'_4 . El diagrama (a) muestra la situación de un planeta exterior: desde P_1 hasta P_2 parecerá moverse hacia ($P'_1 P'_2$), pero desde P_2 hasta P_3 parecerá moverse hacia atrás y, finalmente desde P_3 hasta P_4 de nuevo se moverá hacia adelante. Para un planeta interior (b) la situación es similar, excepto que ahora el planeta se ve que oscila entre P'_2 y P'_3 moviéndose primero hacia adelante, desde P'_1 hasta P'_2 , luego regresa y nuevamente se adelante hacia P_4 . Los puntos en los cuales los planetas se ve que cambian de dirección son llamados puntos “estacionarios”.

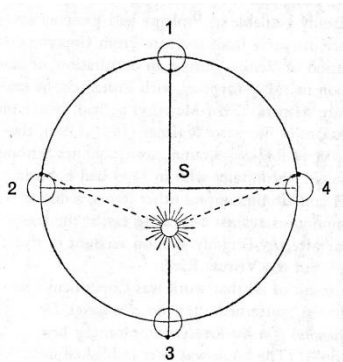
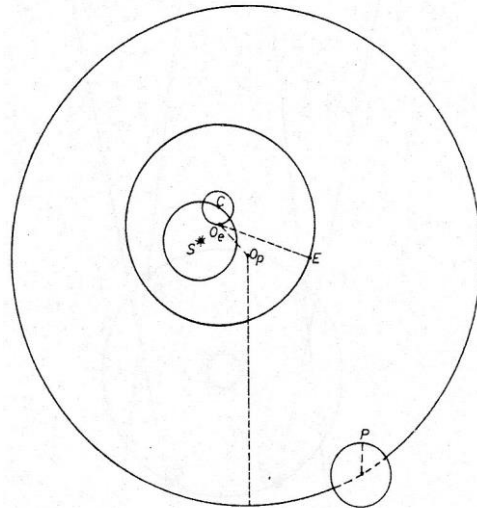


Figura 4.9 Copérnico reemplazó el ecuante, el cual había sido necesario para explicar las velocidades variables de los planetas y sus desviaciones del movimiento circular. Lo logró haciendo la distancia del Sol desde el centro (S) igual a tres medios de excentricidad y teniendo un planeta que describe un pequeño epiciclo cuyo radio es media excentricidad. En el afelio (1) y en el perihelio (3) la diferencia neta entre los dos efectos de excentricidad y epiciclo representó las distancias mayor (1) y menor (3) de un planeta medida desde el Sol. En las posiciones (2) y (4) los dos efectos combinados duplican el radio de la excentricidad.

Figura 4.10 Los tres círculos para el movimiento de la Tierra y el movimiento de un planeta (P) moviéndose en un epiciclo: La Tierra (E) gira alrededor de un círculo, cuyo centro (O_e) rota sobre un punto C , el cual está sobre otro círculo con el Sol (S) en el centro. Nótese que el círculo principal (el deferente) no gira alrededor del Sol sino alrededor del centro O_p a una distancia (exagerada) desde S . En el *Commentariolus*, Copérnico enlistó 34 epiciclos y 3 círculos para la Tierra, 7 para Mercurio, 4 para la Luna y 5 para cada uno de los otros planetas.



4.4 Resumen del contenido del *Comentariolus*

El *Comentariolus* consta de siete capítulos que se describirán brevemente a continuación:⁷⁹

El primer capítulo, llamado “El orden de las esferas”, enumera el orden de las esferas celestes: la más alta es la esfera de las estrellas fijas que contiene y proporciona la posición a todas las demás. Le siguen Saturno, Júpiter, Marte, la Tierra, Venus y Mercurio. La esfera de la Luna gira alrededor del centro de la Tierra y se mueve con la Tierra como un epiciclo. En el mismo orden superan unos planetas a otros en la velocidad de la revolución de acuerdo a si su órbita es mayor o menor. El capítulo termina indicando los tiempos que cada uno de los planetas tarda en dar una vuelta al Sol: Saturno treinta años, Júpiter doce años, Marte dos años, la Tierra un año, Venus nueve meses y Mercurio tres meses.

El segundo capítulo, llamado “Los movimientos que parecen pertenecer al Sol”, menciona que la Tierra tiene tres movimientos y que cuando se trata de movimientos aparentes del Sol realmente se están determinando los movimientos de la Tierra (Ver figura 4.11).

- a) El primer movimiento es el de traslación, gracias al cual la Tierra gira anualmente en un gran círculo alrededor del Sol, siguiendo el orden de los signos del Zodiaco, es decir de oeste a este, y describiendo siempre arcos iguales en tiempos iguales. La distancia del centro del círculo al centro del Sol es de 1/25 del radio de este círculo. En consecuencia la órbita descrita por la Tierra es excéntrica con respecto al Sol, pero se puede considerar que la

⁷⁹ Mínguez Pérez C., *Sobre las Revoluciones (de los Orbes Celestes)*, (1994), XXII-XXIII.

excentricidad es casi nula comparada con el tamaño del universo, pues como lo señaló Copérnico en el cuarto postulado, la longitud de este radio es imperceptible si se compara con la altitud del firmamento.

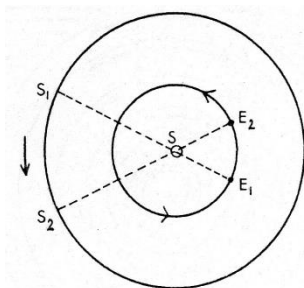


Figura 4.11 *Movimiento aparente del Sol.* Como la Tierra se mueve en su órbita desde E_1 hasta E_2 la posición aparente del Sol en el centro (S) como se ve contra el fondo de las estrellas fijas es desde S_1 hasta S_2 . Mientras la Tierra gira en sentido opuesto a las manecillas del reloj el Sol parece moverse en sentido de las manecillas del reloj. Realmente, según Copérnico, el Sol no es el centro de la órbita circular de la Tierra sino que está a $1/25$ del centro. Por lo tanto, el movimiento aparente del Sol no es uniforme pero tiene una desviación máxima de $2\frac{1}{6}$ grados.

- b) El segundo movimiento de la Tierra es el de rotación diaria sobre los polos, según el orden de los signos del Zodiaco. A causa de esta rotación el universo entero parece girar con una gran velocidad. Así, la Tierra gira junto con las aguas que lleva y el aire que le rodea.
- c) El tercer movimiento es el de desviación o declinación pues el eje de la rotación diaria no es paralelo al eje del gran círculo, sino que es oblicuo a él según un gran ángulo que intercepta una parte de la circunferencia; en el tiempo de Copérnico fue de casi 23 grados y medio.⁸⁰

A lo largo de los capítulos tercero al séptimo Copérnico describe los movimientos de la Luna y los planetas restantes. Suprime los ecuantos, cuya introducción en el sistema de Ptolomeo impedía que se cumplieran los axiomas básicos: movimientos uniformes y circulares. También desaparecen los grandes epiciclos que son sustituidos por el movimiento de traslación de la Tierra. Reduce el número de círculos usados hasta ese momento para explicar fenómenos semejantes a los de la teoría geocéntrica, con ello haciendo más sencillo su sistema que el de Ptolomeo. En el *Comentariolus* termina diciendo que “Mercurio se mueve sobre siete círculos en total; Venus sobre cinco; la Tierra sobre tres; finalmente Marte, Júpiter y Saturno sobre cinco cada uno. Y basta usar treinta y cuatro círculos para explicar la estructura completa del universo y el ballet entero de los planetas”. Posteriormente, en el *De Revolutionibus*, modificó esta afirmación -así como otras hechas en el *Comentariolus*- y aumentó el número de círculos a treinta y ocho para poder salvar adecuadamente las apariencias (por

⁸⁰ El movimiento de declinación es anual y va de este a oeste. Ibid., XXIII.

ejemplo el cambio de equinoccios con el paso de los siglos, el movimiento en el afelio y los nodos lunares).⁸¹

4. 5 Resumen del contenido del *De Revolutionibus Orbium Coelestium*

El *De Revolutionibus Orbium Coelestium* es un libro que consta de un prefacio y de 6 libros cuyo contenido se describe brevemente a continuación:⁸²

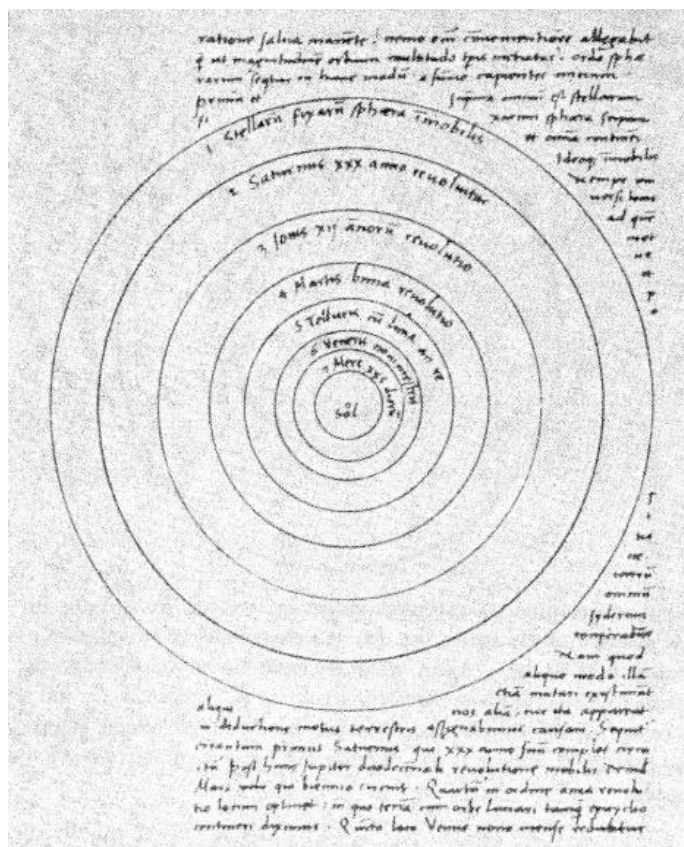
El primer libro contiene un resumen de su teoría. Los primeros 11 capítulos inician con la idea de un mundo esférico revisando la relación agua-tierra y la coincidencia o no del centro de gravedad y del centro de magnitud. Luego señala que el movimiento de los cuerpos celestes es circular (o está compuesto por muchos círculos) y es uniforme. Además, hay varios tipos de movimientos: el que produce el día y la noche, el de los meses, el del año y el aparentemente irregular de los planetas. Luego aborda si la Tierra tiene o no un movimiento circular y lo defiende contraponiendo la infinita dimensión del cielo con respecto a la insignificante de la Tierra, y la consiguiente distancia del cielo a la Tierra. Debido a esa desigual proporción es más fácil que se mueva la parte que el todo. Por otro lado, el movimiento de la Tierra es natural y no violento. Expone su sistema heliocéntrico (Ver figura 4.12). Luego describe los tres movimientos de la Tierra: el de rotación, el de traslación y el de declinación. Los dos capítulos restantes son una presentación de trigonometría.

El segundo libro está dedicado a la astronomía esférica. Define los círculos, determina cómo se mide el ángulo de oblicuidad de la eclíptica que es el formado por ésta con respecto al ecuador, dada la inclinación de la Tierra. Para ello describe un cuadrante que proporcionará la altitud del Sol en el solsticio de verano y en el de invierno, puntos máximos de inclinación, origen de los círculos trópicos, paralelos al ecuador. También se define la declinación y ascensión recta, coordenadas que sirven para determinar la posición de una estrella y establece el procedimiento para hallarlas. Determina el ángulo del meridiano. Aborda las coordenadas eclípticas (longitud y latitud) y las ecuatoriales (ascensión y declinación). Da las diferencias con respecto a los días, entre la ascensión recta (horizonte recto) cuando ecuador y paralelos son perpendiculares al horizonte, ascensión oblicua si forman cierto ángulo con él, y el caso en que el horizonte es perpendicular al eje de la Tierra. Revisa las distintas zonas en la Tierra dependiendo de hacia donde se dirija la sombra al mediodía. Se refiere a la

⁸¹ Nodos lunares: puntos opuestos de la órbita lunar definidos como la intersección de dicha órbita con la eclíptica.

⁸² Mínguez Pérez C., *Sobre las Revoluciones (de los Orbes Celestes)*, (1994), XLII-LIX.

Figura 4.12 Una página del *De Revolutionibus de Copérnico* mostrando su hipótesis heliocéntrica. Como Venus y Mercurio nunca fueron vistos lejos del Sol se dedujo que sus trayectorias eran tan cercanas al Sol como a la Tierra (5); Mercurio (7) era más próximo al Sol que Venus (6) pues nunca se le había visto con respecto al Sol en el cielo como a Venus. Los otros tres planetas debían moverse en órbitas más amplias que la de la Tierra pues a veces se les veía en dirección opuesta al Sol. El orden de sus distancias desde el Sol podía deducirse de los efectos perturbadores producidos en su movimiento aparente por la Tierra. Saturno (2), por sus efectos mínimos, debía ser el más alejado del Sol, precedido por Marte (4) y Júpiter (3). Más allá de ellos estaba la esfera de las estrellas fijas (1).



longitud de la sombra, la cual puede medirse con un gnomon⁸³, para una determinada altitud solar y viceversa. Establece el punto donde surge el Sol en el horizonte para una determinada latitud respecto a cierto observador y cómo hallar la latitud de cierto observador a partir de la longitud del día. Indica cómo calcular en grados la permanencia del Sol o de otro astro en el horizonte, cómo hallar el punto de elevación de la eclíptica, la longitud del día (duración de la luz solar), el grado de la eclíptica en el meridiano, etc.

Determina el paralaje lunar en un círculo meridiano. Trata las fases (orto y ocaso) de las estrellas y los planetas. Finalmente, se incluye un catálogo de estrellas que reproduce por completo el de Ptolomeo, con algunas correcciones, y describe a la esfera armilar, también llamado astrolabio, que sirve para obtener la longitud y la latitud de los astros.

En el tercer libro se precisan matemáticamente los movimientos de la Tierra (rotación sobre el eje, traslación alrededor del Sol y la precesión de los equinoccios) que se habían descrito en el primer libro. Distingue el año trópico del sideral. Muestra que la oblicuidad de la eclíptica no es tan pronunciada como lo

⁸³ Gnomon: Objeto alargado cuya sombra se usa para medir las horas en los relojes solares.

señaló Ptolomeo estableciendo así que algunas hipótesis ptolemaicas eran refutables. Incluye un modelo que da cuenta de la precesión de los equinoccios. Presenta tablas de los movimientos medios, además de una tabla para determinar cualquier diferencia entre el movimiento medio y aparente (prostaféresis), la variación de oblicuidad de la eclíptica y los grados de la circunferencia. Usando las tablas anteriores explica cómo dar la posición del equinoccio de primavera y la anomalía de la oblicuidad.

Después explica la teoría solar. Define y distingue el año sideral del natural. Afirma que el año solar se mide con mayor precisión si se hace con respecto a las estrellas fijas. Proporciona tablas de los movimientos medios del centro de la Tierra, aunque las nombra 'movimientos del Sol'. En ellas aparece el movimiento medio sideral del Sol (movimiento regular simple) y el movimiento medio tropical del Sol (movimiento regular compuesto).

Presenta el modelo geométrico en el caso de que el Sol siguiera un movimiento regular y otro en el caso de que fuese irregular, es decir, presenta dos modelos que son equivalentes, uno siguiendo una trayectoria excéntrica y otro por medio de un epiciclo girando sobre un círculo concéntrico. Ambos producen la misma irregularidad aparente. Aplica el modelo de la excentricidad a la aparente irregularidad del Sol. Establece la posición regular del Sol para distintos tiempos.

Describe la segunda irregularidad, la cual consiste en el movimiento no uniforme de los ápsides⁸⁴ de la Tierra y la variación periódica de la excentricidad. Presenta tres modelos equivalentes que sirven para explicar la segunda anomalía. Además, se dan las posiciones en diversas épocas de los movimientos medios del Sol. Da tablas para calcular la diferencia entre la posición del Sol y la aparente. Presenta un modelo alternativo a los tres anteriores para explicar la segunda anomalía. En éste está fijo el centro de la excéntrica, como si fuera el centro del mundo y el Sol se mueve en un pequeño círculo alrededor de él.

Indica la diferencia entre el día natural aparente y el día regular, lo que actualmente se llama 'ecuación del tiempo'. Describe los movimientos que provocan esta diferencia y las causas que originan los dos tipos de días: 1) el movimiento no uniforme del Sol en la eclíptica y 2) el crecimiento irregular de la ascensión recta con respecto a la longitud verdadera, y esto ligado con la inclinación de la eclíptica respecto al ecuador.

En el cuarto libro se describen los movimientos de la Luna y se muestra el modelo de Ptolomeo y ciertas objeciones al mismo: a) el movimiento del centro del

⁸⁴ Ápside: cada uno de los dos extremos del eje de la órbita trazada por un astro.

epiciclo es regular respecto al centro de la Tierra, pero irregular con respecto a la excéntrica, b) la regularidad del movimiento de la Luna no se ordena con respecto a la línea que la une al centro de la Tierra, sino a otra que origina un movimiento no uniforme. En esos dos casos se viola el principio de movimiento circular y uniforme. Además, muestra otras dos objeciones que atentan contra la experiencia y los sentidos: c) según el modelo ptolemaico el paralaje en la distancia mínima debería ser casi el doble que el paralaje en la distancia máxima, pero la experiencia indica que difieren muy poco, d) el diámetro de la Luna debería aparecer como el doble o la mitad del tamaño con el que se observa, pero la experiencia muestra que su diámetro sólo varía según su movimiento en el epiciclo.

Para salvar las objeciones anteriores Copérnico presentó su propio modelo: la Luna se mueve en un epiciclo secundario, cuyo centro gira sobre un primer epiciclo, que a la vez se desplaza sobre un deferente que tiene como centro a la Tierra. Incluye unas tablas para el movimiento regular, el de la anomalía y el de la latitud. Da las mediciones a partir de los eclipses de Luna por el paralaje que afecta a su estado aparente. Explica los cambios de la distancia de la Luna desde el centro de la Tierra. Presenta una tabla de correcciones para encontrar la verdadera elongación de la Luna y explica cómo usarlas. Explica cómo corregir la latitud lunar mediante ciertas condiciones de eclipses. Introduce el tema de paralaje lunar y para ello describe e indica cómo usar un instrumento llamado paraláctico.⁸⁵ Determina la distancia de la Luna a la Tierra, el diámetro aparente de la Luna y el de la sombra terrestre, diámetros y volúmenes del Sol, Tierra y Luna. Calcula los paralajes del Sol y la Luna y explica cómo usar las tablas que presenta de los paralajes.

Estudia la teoría de los eclipses de Luna y de Sol, en la cual da un método para conocer el tiempo en que se produce una conjunción o una oposición, límites e intervalos en los que puede producirse un eclipse, la duración de los mismos y determina las áreas oscurecidas durante ellos.

En el libro quinto se dan los movimientos medios de los planetas en relación con la Tierra, misma que también describe un movimiento rotatorio, con velocidad distinta. De la combinación de ambos movimientos rotatorios surge un movimiento en longitud del planeta, distinto del movimiento propio de cada uno de ellos, al cual llama conmutación (paralaje) y da una tabla de los mismos. Presenta una primera anomalía o irregularidad respecto a los planetas y a la que corresponde al

⁸⁵ Paraláctico: dispositivo astronómico que permite seguir con un solo movimiento el movimiento aparente de los astros.

movimiento de la Tierra la llama segunda anomalía. Presenta los parámetros que componen la trayectoria de cada planeta: la excentricidad, la anomalía de la excentricidad a partir de los ápsides, la ecuación del centro y la longitud sideral. Introduce unas tablas de corrección para todos los planetas y explica cómo usarlas para calcular las posiciones en longitud de los cinco planetas. Los dos últimos capítulos contienen uno de los mayores logros del sistema heliocéntrico copernicano, pues en ellos, explica los fenómenos de reposo y retrogradación en los planetas. Para ello, primero aclara el teorema de Apolonio que relaciona la velocidad de traslación de la Tierra y la del planeta, representados por dos ángulos de un triángulo, con segmentos de los lados del mismo triángulo. Prueba el teorema para un planeta inferior e indica que puede hacerse lo mismo con los planetas superiores. Finalmente explica el teorema para determinar longitud y tiempo del arco de retrogradación para Marte, el planeta superior.

Finalmente, en el libro sexto se plantean las posiciones planetarias con sus diferencias en sus latitudes. Presenta y explica cómo usar una tabla que contiene las latitudes de todos los planetas, los superiores, según la latitud norte y sur, los inferiores según los desplazamientos de declinación, oblicuidad y desviación.

Una vez revisado el contenido del *Comentariolus* y del *De Revolutionibus*, se pueden observar algunas diferencias entre ambas obras:⁸⁶

- a) En el *Comentariolus* los movimientos planetarios, excepto en el caso de la Tierra, son más complicados que los mostrados en el *De Revolutionibus*, pues el planeta describe un primer epiciclo, el centro del cual se mueve sobre la periferia de un segundo epiciclo, cuyo centro recorre un círculo deferente que ya no es, como con Ptolomeo, excéntrico con relación al Sol, sino que su centro coincide con el centro del Sol. Se podría caracterizar a este mecanismo con el adjetivo de “concentro-biepicíclico”. Aquí se afirma que la excentricidad de la órbita terrestre posee siempre el mismo valor y que el lugar del apogeo solar no cambia su posición entre las estrellas fijas. Copérnico utilizó 34 círculos para describir los movimientos de los cuerpos celestes.
- b) En *De Revolutionibus* el sistema heliocéntrico es casi una copia directa del sistema geocéntrico ptolemaico en el que el planeta describe un círculo, el epiciclo, cuyo centro recorre un círculo deferente, excéntrico en relación al Sol. Se podría caracterizar a este modelo con el adjetivo de

⁸⁶ Mínguez Pérez C., *Sobre las Revoluciones (de los Orbes Celestes)*, (1994), XX.

excentroepicíclico”. Además, Copérnico utilizó 38 círculos para describir los movimientos de los cuerpos celestes.

Conclusiones

Copérnico buscó establecer un modelo que describiera los movimientos de todos los planetas, la Luna y el Sol, en lugar de aceptar, como lo hicieron sus predecesores, que ciertas reglas se aplicaban para los planetas exteriores y otras para los interiores. Para hacerlo respetó los principios antiguos que aseguraban que los movimientos deben ser uniformes y circulares, pero dejó de usar ecuantes y en su lugar utilizó epiciclos. Además, cambió a la Tierra, y con ello al ser humano, del centro del universo para colocar en su lugar al Sol y, en consecuencia, la Tierra fue sólo un planeta más. Por lo anterior, el centro de la Tierra no era el centro del universo. Copérnico propuso que la Tierra no estaba fija sino que tenía tres movimientos: de traslación, de rotación y el que llamó de declinación para poder explicar la precesión de los equinoccios. También afirmó que debido al movimiento de la Tierra es que aparentemente las estrellas y el Sol se mueven, y que por la misma razón se observan los movimientos retrógrados y directos de los planetas. De este modo halló esas reglas que se aplican a todos los planetas para explicar sus movimientos celestes aparentes. De ahí que si bien desde el punto de vista técnico el esquema de Copérnico no era mejor que el de Ptolomeo, el primero era superior al segundo desde el punto de vista cualitativo.

Al comparar el *Comentariolus* con el *De Revolutionibus* se observa que en ambos se muestra un sistema heliocéntrico diferente. Además, el *Comentariolus* es más bien de carácter cualitativo ya que las proposiciones fundamentales se describen pero no se demuestran, mientras que el *De Revolutionibus* es de carácter cuantitativo pues contiene las “demostraciones” de los mecanismos planetarios, es decir, las demostraciones geométricas que Copérnico prometió en el *Comentariolus*. Por otra parte ambos textos eran un tanto complicados pues se requería de amplios conocimientos matemáticos y astronómicos para entender su contenido y, en el caso del *Comentariolus*, sucedía que la forma de exponer la teoría resultaba muy confusa.

A continuación se verán algunos argumentos que ciertos pensadores dieron en contra y a favor del copernicanismo.

Capítulo V

Teología y cosmología geocéntrica (diversas posturas ante el sistema copernicano)

Se revisan diferentes posturas ante el sistema copernicano entre una comunidad cuya área de acción se podría calificar de astronómica, y otra que se enfocaba o inclinaba más hacia lo eclesiástico. Esto se realizará para el periodo marcado por la publicación del *De Revolutionibus* y hasta inicios del siglo XVII.

Reacción escolástica al copernicanismo respecto a la centralidad e inmovilidad de la Tierra en el siglo XVII

Copérnico ofreció una alternativa a la astronomía tradicional aristotélica-ptolemaica del mundo medieval al proponer que la Tierra tenía un movimiento diario axial⁸⁷, un movimiento anual orbital alrededor del Sol y que sólo era un planeta más.

Entre quienes habían previamente apoyado que la Tierra tenía una rotación axial estaban Hicetas de Siracusa (ca. 400 a. C. – ca. 335 a. C.), Plutarco (ca. 46 d. C.-ca. 120 d. C.), Heráclides Póntico y Ecphantus (ca. 440 a. C.- ¿?) -éstos dos últimos creían que la Tierra rota de oeste a este-. Tanto Filolao (ca. 470 a. C.-ca. 380 a. C.) como Plutarco supusieron un movimiento orbital de la Tierra. Por su parte, Aristarco de Samos consideraba “que la Tierra gira alrededor de la eclíptica y al mismo tiempo rota alrededor de su propio eje”.⁸⁸

5.1 La defensa de la cosmología aristotélica

Entre los siglos XVI y XVII los aristotélicos defensores de la cosmología tradicional rechazaban a la cosmología heliocéntrica y, en particular, los teólogos escolásticos⁸⁹ católicos eran los más reacios a aceptar que la Tierra se movía o

⁸⁷ Movimiento axial: movimiento en un cilindro sobre su propio eje.

⁸⁸ Grant, “In Defense of the Earth’s Centrality...”, (1984), p. 2.

⁸⁹ Los escolásticos explicaban y analizaban textos mediante comentarios sistemáticos y secuenciales o formulando preguntas basándose en un texto específico. Tal método fue aplicado, con algunas variantes, entre los años 1200 y 1700.

que no estaba en el centro del universo. Sin embargo hubo un grupo de aristotélicos, tanto escolásticos como no escolásticos, entre ellos Johann Heinrich Alstead (1588-1638), que adoptaron el sistema geo-heliocéntrico de Tycho. En este sistema el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra, mientras los otros cinco planetas orbitan alrededor del Sol y además dan por supuesta la existencia de los orbes planetarios. Hubo quienes como Roslin y Alsted consideraron que los orbes planetarios eran los portadores de los planetas.

Los aristotélicos que defendieron a la astronomía tychoniana creían que la Tierra estaba fija, algunos afirmaban que estaba en el centro del universo y otros que, pese a estar fija, tenía uno o más movimientos circulares. En 1571, Andreas Cesalpino (1519-1603) argumentó, al igual que como lo había hecho Aristóteles, que la Tierra tenía solo un movimiento natural el cual era rectilíneo y dirigido hacia el centro del mundo y que sólo si una fuerza externa, por ejemplo la proveniente del aire circundante o de los cielos, lo provocara, ésta podría tener un movimiento circular.⁹⁰ Cesalpino concebía al cielo como un todo continuo que se movía de este a oeste y cuya fuerza movía a las esferas elementales del fuego y del aire en la misma dirección, pero a un ritmo más lento. A la par, la rotación de la esfera del fuego afectaba sin cesar la superficie desigual y cambiante de la Tierra y la empujaba de este a oeste. Creía que si el aire podía mover barcos enormes impulsando las velas, entonces toda la masa del aire debía ser capaz de empujar la totalidad de la Tierra con un movimiento circular de este a oeste.⁹¹ Tal movimiento además de ser circular era rectilíneo desde el centro del universo y causaba que la Tierra tuviera un movimiento circular más lento en el universo porque está muy alejada de la octava esfera, la de las estrellas fijas.⁹² Cesalpino explicó que los movimientos celestes de la precesión y trepidación de los equinoccios se deben a que: a) el movimiento más lento de este a oeste de la Tierra respecto de la esfera de las estrellas fijas da la apariencia de un movimiento lento de oeste a este, el cual corresponde al movimiento de precesión adscrito falsamente a la esfera de las estrellas fijas, b) el movimiento de rotación de este a oeste de la Tierra es irregular e impredecible debido a su superficie desigual y en continuo cambio, produciendo así una trepidación aparente en las estrellas.⁹³ De

⁹⁰ Ibid., p. 6.

⁹¹ De hecho, si la Tierra no se moviera con y por el aire, “los picos de las montañas más altas se habrían desgastado por la rotación continua del aire”, lo cual no ha sido observado. Ibid., p. 7.

⁹² Ibid.

⁹³ El sentido de Cesalpino de trepidación difiere de la concepción astronómica tradicional asociada a Thabit ibn Qurra y a numerosos astrónomos que la aceptaron en el Oeste Latino. Estos últimos consideraban a la trepidación como un movimiento lento de ida y vuelta, es decir, de oeste a este y de este a oeste como un intento de reconciliar ese movimiento oscilatorio con la precesión. Sin embargo, para Cesalpino, la

ese modo Cesalpino asignó a la Tierra un movimiento circular que le ayudó a explicar ciertos fenómenos astronómicos y a la par se mantuvo fiel a la idea de que la Tierra está en el centro del universo y no se mueve por sí misma circularmente.⁹⁴

Tomás White (1593-1676) un inglés aristotélico, en la misma tónica que Cesalpino, negaba que la Tierra tuviera movimientos circulares u orbitales intrínsecos, pero aseguraba que, según la teoría copernicana, la Tierra se mueve con una rotación diaria y con un movimiento anual alrededor del Sol estacionario debido a que una fuerza externa provocaba tales movimientos. De este modo reconcilió al aristotelismo con el copernicanismo. Para White la rotación axial diaria de la Tierra es como un barrido del aire de este a oeste que hace que la parte superior de los mares provoque que el nivel más bajo del mar que está en contacto con el fondo del mismo, produzca un movimiento de oeste a este de la Tierra. De este modo se lleva a cabo el movimiento circular diario de la Tierra, que va en el mismo sentido de la gravedad natural de la Tierra y por ello no ofrece resistencia a la fuerza de oeste a este de los mares en el punto de contacto. Además, “ese impulso debe ser igual en todos lados, causando una rotación pura sobre el centro y habrá, por necesidad, un movimiento progresivo mezclado con éste”.⁹⁵ Tal movimiento, al igual que todos los movimientos que los astrónomos asignan a la Tierra, por necesidad está en una línea; y si el impulso o avance bajo el agua de la Tierra va en tal línea esa es la causa del movimiento anual de la órbita de la Tierra.

Cesalpino y White mantenían el principio básico aristotélico de que los elementos graves de la Tierra sólo poseen un movimiento simple natural, el cual es hacia abajo y rectilíneo, y además que las fuerzas externas causan que la Tierra se mueva con uno o más movimientos circulares.

Desde 1627 hasta 1657 hubo seis personajes principales que representaron la oposición escolástica a la teoría copernicana y defendieron que el universo es geocéntrico y que la Tierra es estacionaria, rechazando así los movimientos diarios y anuales de la misma. Cinco de ellos, Bonaventura Belluto (ca. 1596-1676), Bartolomé Mastrius (1602-1673), Bartolomé Amicus (1562-1649), Melchor Cornäus (1598-1665) y Rafael Aversa (1589-1657), eran filósofos naturales y teólogos que presentaron discusiones sobre la teoría aristotélica acerca de lógica,

“trepidación” era equiparable a la irregularidad de la velocidad lenta de este a oeste de la Tierra más que a un movimiento en cierta dirección y luego en la dirección opuesta. Ibid.

⁹⁴ Ibid., p. 8.

⁹⁵ Ibid.

física, cosmología o metafísica. En cambio, Giovanni Battista Riccioli (1598-1671) era un astrónomo y matemático que presentó una discusión amplia acerca del problema de la inmovilidad o movilidad de la Tierra desde el punto de vista astronómico y cosmológico.⁹⁶

En el siglo XVII la teoría copernicana debilitó el apoyo dado durante más de 400 años en el oeste europeo a la astronomía y cosmología aristotélica-ptolemaica tradicionales. Dos seguidores del sistema tychoniano, además de los mencionados anteriormente, fueron Cornäus⁹⁷ y Riccioli; éste último formuló su propia versión de ese sistema para contrarrestar al copernicano.⁹⁸ Amicus y Aversa defendieron la versión geocéntrica de Ptolomeo.

Los escolásticos y jesuitas que consideraban a la astronomía copernicana inobjetable y mejor fundamentada que los sistemas geocéntricos de su época fueron obligados a repudiarla por razones teológicas y por el temor a sufrir la condenación a la cual la Congregación de Cardenales⁹⁹ sometió en 1616 a Copérnico, a Diego de Zúñiga y a Paolo Foscarini y posteriormente, en 1633, a Galileo afectando la sinceridad de sus argumentos a favor de la centralidad e inmovilidad de la Tierra. Tal fue el caso de Riccioli, que según Delambre era un copernicano,¹⁰⁰ pues pese a afirmar que estaba en contra del sistema copernicano no dio argumentos para defender la inmovilidad de la Tierra y más bien refutó algunos a favor de la inmovilidad de la Tierra, dejando en duda la inmovilidad de la misma.¹⁰¹

La defensa escolástica de la centralidad e inmovilidad de la Tierra se divide en tres partes: la astronómica, la física y la escritural, es decir, la basada en las Sagradas Escrituras. Los ataques contra los movimientos de la Tierra eran objeciones físicas y escriturales, más que astronómicas, pues los oponentes concedieron una solidez astronómica al sistema copernicano. Tales cuestiones se

⁹⁶ Ibid., p. 12.

⁹⁷ Cornäus describió y criticó a la astronomía ptolemaica del astrónomo jesuita Cristóbal Clavio y al sistema heliocéntrico de Copérnico y declaró que Tycho Brahe construyó el mejor sistema de todos. Ibid., p. 13.

⁹⁸ Ibid.

⁹⁹ Ibid.

¹⁰⁰ Ibid., p. 14.

¹⁰¹ Riccioli presentó 38 argumentos apoyando la inmovilidad de la Tierra, y en uno de ellos indicó que si la Tierra rotaba deberíamos de percibirlo, pero como no es así, se puede inferir la inmovilidad de la Tierra. Sin embargo, Riccioli también afirmó que “no hay necesidad de tal sensación” y también que si la Tierra rotara ello causaría el colapso de los edificios y la proyección de los objetos que no están sujetos firmemente a la superficie de la misma. Ibid., pp. 14-15.

ampliarán en las secciones siguientes. Por su parte Amicus cuestionó tal teoría preguntando “si el cielo estrellado se mueve alrededor de una Tierra inmóvil, o si lo contrario [es cierto]”.¹⁰² Aversa hizo lo propio mediante una pregunta sobre el orden y la disposición de las varias partes del mundo, las cuales a su vez formaban parte de una sección más grande frente a los cuerpos celestes y terrestres. Cornäus usó la astronomía, las matemáticas y la óptica para presentar la teoría copernicana y su refutación. Cornäus, Mastrius y Belluto discutieron sobre los elementos dentro de una subdivisión referente a la tierra y el agua y a sus mutuas relaciones y preguntaron “si este mundo compuesto de agua y tierra podía moverse circularmente”.¹⁰³

Riccioli consideró el “sistema de una Tierra con movimiento”, donde presentó y refutó prácticamente todos los argumentos ofrecidos a favor de los diferentes movimientos de la Tierra.¹⁰⁴ Compuso la defensa más extensa y detallada de la astronomía geocéntrica y la cosmología jamás escrita.

Hubo quienes como Cesalpino consideraban que la centralidad de la Tierra era independiente de su inmovilidad. A continuación se revisará a ambas por separado.

i. La centralidad de la Tierra

A. Los tres centros, una vez más

Belluto, Mastrius, Amicus, Cornäus, Aversa y Riccioli estaban convencidos desde el punto de vista de la física y de las Sagradas Escrituras, aunque no desde el astronómico, de que la Tierra es un cuerpo elemental con forma esférica e inmóvil cuyo centro coincide con el centro de un universo esférico. Había numerosos argumentos a favor de la centralidad de la Tierra, pero no era claro qué había en el centro del mundo. Ello puede deberse a que en el siglo XIV Buridan distinguió entre el centro de gravedad de la Tierra y su centro de magnitud, mientras que en el siglo XVII, en las reediciones de los trabajos de Alberto de Sajonia, Pierre d’Ailly, John Major y otros, aparecen las versiones medievales de las definiciones de los tres centros: centro geométrico, centro de gravedad y centro de magnitud. Aversa indicó que el centro del universo está definido como “aquel en el que todas las líneas trazadas en la circunferencia del cielo lunar [o esfera] coinciden, al igual

¹⁰² Ibid., p. 18.

¹⁰³ Ibid.

¹⁰⁴ Ibid., p. 19.

que las líneas trazadas en la circunferencia extrema y suprema de todo el cielo”.¹⁰⁵ Además, el centro de un cuerpo y por lo tanto de la Tierra misma, está concebido de dos formas: uno es llamado el centro de gravedad y el otro el centro de magnitud. El centro de gravedad es el punto medio de una línea que divide a un cuerpo por la mitad y donde cada una de las dos mitades tiene el mismo peso. El centro de magnitud es el punto desde el cual todas las líneas dibujadas en la circunferencia tienen la misma medida; o [es] el punto medio de cualquier línea que divide un cuerpo por la mitad y donde las dos mitades son de igual magnitud.

Si una esfera dada tiene una composición homogénea, entonces los centros de magnitud y de gravedad coinciden. Pero si tal composición es heterogénea (según Cornäus (1598-1665)) o no uniforme (según Cristóbal Clavio (1538-1612))¹⁰⁶ y está compuesta, digamos de un hemisferio de plomo y uno de madera, los dos centros diferirán, sucediendo que el centro de magnitud coincidirá con el centro geométrico, mientras que el centro de gravedad se localizará en algún lugar dentro del hemisferio de plomo. Debido que al observar sus mares y océanos se dudaba de si la Tierra se componía sólo del elemento tierra o si también se componía del elemento agua, hubo problemas para saber si la Tierra tenía un centro de magnitud y si sus centros de gravedad y de magnitud coincidían.

B. La esfera terráquea

Clavio creyó que aunque Sacrobosco ubicaba a la Tierra en el centro del firmamento se debía entender a “la tierra simultáneamente con el agua” ya que los mismos argumentos se pueden aplicar a todo el agregado de la tierra y el agua. Esta idea fue adoptada a partir de que Alberto de Sajonia, Pierre d’Ailly y John Major, desde el siglo XIV y hasta el siglo XVI, consideraron a la tierra y a el agua como un agregado único. Pero, fue hasta principios del siglo XVII, cuando Copérnico lo propuso, que éste agregado se concibió como una sola esfera.¹⁰⁷

Según Aristóteles los cuatro elementos estaban en una serie de esferas concéntricas, donde la tierra estaba en el centro del universo rodeada primero por la esfera de agua, después por la de aire y finalmente por la de fuego.¹⁰⁸ Aristóteles propuso un esquema en el que la tierra seca está por encima de las aguas y el fuego es visible en la superficie de la tierra, pero debido a que eso no

¹⁰⁵ Ibid., p. 20.

¹⁰⁶ Para Clavio el centro de gravedad de un cuerpo es el punto que siempre tiende perpendicularmente hacia el centro de todo el universo considerando que el cuerpo está suspendido y cuelga libremente. Ibid.

¹⁰⁷ Ibid., p. 22.

¹⁰⁸ Ibid., p. 23.

coincide con la realidad estas ideas provocaron problemas en la Edad Media. Por ejemplo, para Sacrobosco la cuarta esfera del esquema aristotélico es presentada como la verdadera imagen del mundo sublunar, excepto que la tierra seca sólo existe para las criaturas animadas y ello evita que la esfera del agua esté rodeada completamente de tierra. Sacrobosco no explicó porqué la tierra estaba por encima de las aguas, y para hacerlo muchos recurrieron a la interpretación bíblica de que Dios en el segundo día de la creación rodeó la tierra con agua y en el tercer día ordenó que “las aguas bajo el cielo se reunieran en un solo lugar” y “la tierra seca apareciera”.¹⁰⁹ Pablo de Burgos (ca. 1350-1435) imaginó que Dios unió las aguas y después bajó la esfera del agua al polo sur, separando así el centro de gravedad de ésta última del de la tierra (Ver figuras A y B en la referencia 185).¹¹⁰ De ese modo dejó a toda la tierra seca, que correspondía a una cuarta parte de la esfera de la tierra y era la porción habitable de la misma, en el hemisferio norte, mientras que el resto de la tierra, la del hemisferio sur, quedó sumergida en el agua para siempre.

Juan Buridan llegó a la misma conclusión que Burgos, pero sin recurrir a las Sagradas Escrituras. Buridan creía que las esferas de la tierra y del agua eran concéntricas con respecto al centro del mundo y asumió que el agua no rodeaba por completo a la tierra porque una parte de agua fluía naturalmente hacia abajo y llenaba las entrañas de la tierra, mientras otra parte de la misma se mezclaba con el aire después de evaporarse. Así, la cantidad de agua era insuficiente para cubrir

¹⁰⁹ Génesis 1:9. Según Mastrius y Belluto: Dios colocó la tierra en el centro del mundo y la rodeó de las aguas. Bajo esas condiciones primitivas, la tierra era un cuerpo homogéneo en el que cada parte igual tenía un mismo peso. Los centros de gravedad y de magnitud de la Tierra coincidían con el centro del universo. Sin embargo, la reunión de las aguas causó un cambio considerable. En el globo terráqueo o terrestre resultante no homogéneo los tres centros ya no eran matemáticamente idénticos, aunque físicamente, es decir, aproximadamente, podía considerarse que estaban en el mismo lugar. Ibid.

¹¹⁰ Ibid. El siguiente es el diagrama de Burgos sobre “La unión de las aguas”.

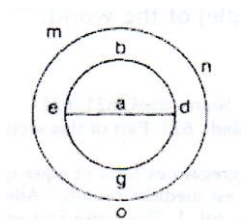


Figura A Antes: El círculo *ebdg* representaba a la tierra y el círculo *mno* a la esfera de agua que la rodeaba. El punto, *a*, es el centro común que coincide con el centro del mundo.

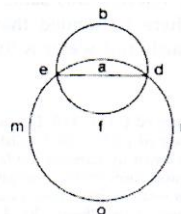


Figura B Después: El arco *ebd* representa la porción de tierra seca elevada sobre la esfera de agua *mno*; el centro de la esfera de agua, *f*, está ahora separada del centro de la Tierra, *a*, y también del centro del universo.

la tierra entera y parte de la tierra quedaba expuesta sobre las aguas. Pero la parte expuesta era enrarecida y aligerada por el calor del Sol y la acción del aire, mientras que la parte sumergida permanecía pesada y densa. Por ello la Tierra no era homogénea y su centro de gravedad difería de su centro de magnitud. Además, Buridan explicó que la materia terrosa depositada continuamente en los mares por las aguas que bajan de las montañas y las elevaciones hace más pesadas a las porciones sumergidas de la tierra, provocando que el centro de gravedad de la Tierra cambie continuamente. Esos cambios hacen que la Tierra se mueva rectilíneamente hasta que su centro de gravedad coincide con el centro del mundo. Los cambios rectilíneos incesantes del centro de gravedad de la Tierra causarán que las partes previamente sumergidas se eleven por encima de la superficie de los mares y océanos. Tal proceso geológico es cíclico y continuo y por eso parte de la tierra siempre permanecerá por encima de las aguas.

Alberto de Sajonia afirmó que en el centro geométrico del mundo no está el centro de gravedad de la Tierra sino el centro de “todo el agregado de tierra y agua, el cual hace un todo pesado, el centro de gravedad que es el centro del mundo”.¹¹¹ Para Alberto había una esfera para el agua y otra para la tierra y estaban separadas.¹¹² Sin embargo, en otro momento Alberto se contradijo negando que “el centro de gravedad de todo el agregado de agua y tierra es el centro [o la mitad] del mundo”.¹¹³

Pierre d’Ailly consideró que había un solo centro de gravedad para la totalidad de la tierra y el agua. Al igual que Buridan, d’Ailly distinguió entre el centro de gravedad de la tierra y su centro de magnitud. Pero, a diferencia de Buridan, negó que el centro de gravedad de la tierra o que su centro de magnitud ocuparan el centro del universo, y aseguró que el centro del mundo coincide con el centro de gravedad del agregado de tierra y agua debido a la tendencia natural de cualquier cuerpo grave, como es el caso del compuesto de tierra y agua, a permanecer en el

¹¹¹ Ibid., p. 25.

¹¹² Alberto declaró que el agua, más que el aire, es el lugar natural de la tierra. Si la tierra y el agua formaran una sola esfera Alberto postularía que el aire es el lugar natural de esa esfera única. Ibid.

¹¹³ Alberto insistió en que el agua no podía afectar esencialmente la posición de la tierra pues si imaginamos toda el agua removida, el centro de gravedad sólo coincidiría con el centro del mundo. El centro de gravedad no es empujado lejos del centro del mundo por el peso de las aguas que cubren el lado deshabitado de la tierra como Buridan y Pierre d’Ailly lo aseguraban. Para Alberto la tierra es más pesada que el agua, lo cual se evidenciaba al ver descender un puñado de tierra pasar a través de una gran masa de agua. Como el agua no puede afectar el comportamiento de la tierra que es esencialmente más pesada, sólo el centro de gravedad de la tierra puede ocupar el centro del mundo más no el de la tierra y el agua combinadas. Ibid., pp. 25-26.

centro del mundo.¹¹⁴ D'Ailly concebía el agregado de la tierra y el agua como dos esferas separadas, pero interrelacionadas entre sí, y que en conjunto formaban una masa heterogénea con distintos centros de magnitud y gravedad. Además, creía que el hemisferio sur estaba cubierto de agua y por ello estaba deshabitado.

En 1501 algunos exploradores portugueses llegaron a Brasil, y descubrieron que en el hemisferio sur había tierra y el agua. Desde entonces los europeos consideraron que la tierra y el agua juntos formaban un solo globo en cuya superficie una parte de la tierra estaba sumergida bajo el agua y otra parte estaba elevada.¹¹⁵ Esta fue la concepción que Copérnico adoptó, pero además afirmó que en ese globo los centros de gravedad y magnitud eran idénticos debido a que la esfera terráquea tenía una composición homogénea y “es perfectamente redonda”, aunque en el sistema heliocéntrico ninguno podría coincidir con el centro del mundo.¹¹⁶

Aversa, Cornäus, Mastrius y Belluto¹¹⁷ suponían que la tierra y el agua formaban un solo globo al cual Aversa y Belluto llamaron “el globo terráqueo”. Dieron varios argumentos para defender esta idea, y uno de ellos invocaba la sombra redonda que se veía sobre la Luna durante un eclipse lunar. Pero debido a las irregularidades de la superficie de la Tierra se creyó que la misma no podía producir esa sombra, a menos que al combinar la tierra y el agua (océanos y mares) se formara un globo suficientemente redondo como para proyectar una sombra redonda sobre la Luna. Otro argumento se desprendía de la experiencia

¹¹⁴ D'Ailly dio cuatro formas en las que la tierra podía estar en el centro del mundo. (1) por su centro de magnitud; (2) por su centro de gravedad; (3) como parte de un agregado cuyo centro está en el centro del mundo o (4) porque la tierra está rodeada por el firmamento. También declaró que “la tierra está en medio [o en el centro] del firmamento en la tercera forma”, argumento que también aplicó al agua. *Ibid.*, p. 26.

¹¹⁵ Aunque Buridan lo rechazó ya había descrito un solo globo terráqueo en el siglo XIV. Supuso que la tierra y el agua tenían un centro común que era idéntico al del centro del mundo y afirmó que solo una cuarta parte de la tierra es habitable y el resto está sumergida, lo cual es evidente al no poder llegar a tierra firme más allá de los pilares de Hércules (el estrecho de Gibraltar). Además, “en cualquier cuadrante de la tierra hay muchas regiones no cubiertas por las aguas debido a que varias salientes de la tierra y elevaciones de la montañas se proyectaban encima de las aguas. Es probable que éste sea el caso... alrededor de toda la tierra”. *Ibid.*, p. 27.

¹¹⁶ Goldstein observa que para Copérnico la perfecta redondez e integridad de la Tierra eran precondiciones necesarias para su revolución alrededor del Sol así como para su rotación diaria. *Ibid.*

¹¹⁷ Aversa y Ruvio sostuvieron que la tierra era distinta de las aguas que la rodeaban. Aversa argumentaba que el cuerpo natural más pesado, la tierra, ocupaba un lugar más bajo o más central en el universo, lo cual sería imposible, a menos que el centro de gravedad de la tierra coincidiera con el centro del universo. Sólo el agua podía evitar que el centro de gravedad de la tierra coincidiera con el centro del universo. Ello podía suceder de dos posibles maneras: a) por su naturaleza o b) por su fuerza. El primer caso sería imposible porque el agua naturalmente tiende a elevarse por encima de la tierra; la segunda sería ineficaz pues según el principio aristotélico cualquier cosa que causa violencia debe ser temporal. *Ibid.*, pp. 27-28.

de los marineros cuando estando en los barcos en altamar, lejos de la tierra, no veían nada más que el cielo y el agua. Pero, cuando se acercaban a la tierra, primero veían las cumbres de las montañas, luego la mitad de ellas y por último la base de las mismas. Para Amicus la aparición gradual de las montañas desde su cumbre hasta su base fue una evidencia de que la tierra y el agua tenían una superficie convexa continua,¹¹⁸ pues de no ser así, los marineros verían las cumbres de las montañas de una sola vez en lugar de verlas gradualmente.¹¹⁹ Por otra parte si la tierra y el agua constituían un solo globo debían tener el mismo centro, lo cual Amicus defendió argumentando que por experiencia si una porción de agua y una porción de tierra se lanzan al aire en la misma trayectoria caerán hacia el mismo centro.

Los partidarios de la esfera terráquea buscaron determinar si el centro del universo y los centros de gravedad y de magnitud de la esfera terráquea eran idénticos o no. Para hacerlo concluyeron que el globo terráqueo tenía una sola superficie convexa compuesta de agua y tierra, mezclados a todo lo largo de la extensión del globo pues el agua se introduce en las cavidades hacia dentro de la tierra, mientras que la tierra en forma de islas o penínsulas está distribuida a través de los océanos y mares. El globo terráqueo unificado no se consideraba como una esfera geométrica perfecta debido a que las montañas y prominencias de la tierra evidenciaban que la tierra estaba ligeramente más elevada que el agua.¹²⁰ Sin embargo para Clavio el globo era redondo y esférico ya que su deformidad era insignificante comparada con el globo entero. Por tal razón el centro del universo y los centros de gravedad y magnitud de la esfera terráquea coinciden y son el mismo. En cambio, para Aversa en un globo compuesto de tierra y agua, donde el agua es más ligera que la tierra, no coinciden los centros de gravedad y magnitud. De hecho, las montañas en las partes expuestas de la tierra parecieran hacer esa parte del globo más pesada que el resto del mismo. Por el contrario, d'Ailly creía que las partes acuosas del globo son más pesadas que las partes terrosas porque las masas significativas de ésta última están

¹¹⁸ Clavio discutió sobre “si hay un globo de tierra y agua” y demostró que “la tierra y el agua tenían una y la misma superficie convexa, y en consecuencia, el mismo centro”. Pero Mastrius y Belluto y sostenían que la tierra y el agua formaban un globo y eran casi iguales en su “altura” y debido a sus montañas la tierra es ligeramente más alta que el agua.

¹¹⁹ Amicus defendió que los mares y los océanos no estaban elevados cerca de la superficie de la tierra. Aversa argumentó que si la tierra y el agua fueran esferas separadas y el centro de la tierra coincidiera con el centro del universo, entonces en un lado de la tierra el agua estaría elevada sobre la superficie de la tierra. Debía suceder que esa agua fluye hacia abajo por su naturaleza propia, a menos que lo impidiera un milagro perpetuo. Bajo esas circunstancias los ríos no fluirían hacia abajo rumbo al mar sino que ascenderían a él. Ibid., p. 28.

¹²⁰ Mastrius y Belluto estaban de acuerdo en esto. Ibid., p. 29.

expuestas a la acción de deshidratación del Sol y por ello son más ligeras que las primeras.

Aversa aseguró que el globo terráqueo es desigual en masa y peso y por eso el mismo punto no podría ser al mismo tiempo su centro de gravedad y magnitud. Entonces, sólo el centro de gravedad coincidía con el centro del universo, mientras que el centro de magnitud estaba ligeramente fuera del centro. Pero Aversa, al igual que Clavio, consideró insignificante la diferencia entre los centros de gravedad y magnitud, y concluyó que los tres centros eran idénticos.¹²¹ Además, para Aversa había un balance entre el agua y la tierra en la esfera terráquea pues la pesadez causada por la abundancia de las aguas en un lado de la tierra era contrarrestada en el otro lado por las montañas que se elevan por encima de ellas.¹²²

Clavio explicó que el globo terráqueo, compuesto por tierra y agua, físicamente se extiende al centro del universo porque tanto el agua como la tierra, por ser cuerpos pesados, se mueven naturalmente hacia abajo buscando el centro del universo. Amicus, al igual que Aristóteles, sostuvo que los movimientos de los cuerpos pesados hacia abajo siempre se daban hacia el mismo centro en ángulos rectos a la tangente a la superficie de la Tierra.

Clavio declaró que la Tierra estaba en el eje del mundo y en el plano del ecuador celeste y que se situaba exactamente en el centro del mundo. Pero si la Tierra no estuviera en el centro del universo como Copérnico lo argumentó, entonces había tres posibilidades: la Tierra (1) podía estar en el plano del ecuador celeste pero fuera del eje del mundo, (2) podía estar en el eje del mundo pero no en el plano del ecuador celeste o (3) no estaba localizada ni en el eje del mundo ni en el plano del ecuador. Para cada una de esas posibilidades Clavio dedujo consecuencias que contrariaban la experiencia.¹²³ La mayoría de los autores escolásticos defendieron la centralidad de la Tierra argumentando que: a) desde cualquier lugar

¹²¹ Cornäus suponía que los centros de gravedad y magnitud de la tierra coincidían físicamente con el centro del universo, pues según la experiencia “el globo de la tierra está mezclado uniformemente con el agua” y además porque “la tierra por ser el cuerpo más pesado de todos tiende hacia el centro de todo el universo, lo cual provoca que su punto de gravedad sea llevado perpendicularmente y ocupe el centro del mundo en virtud de su pesadez... Ello sólo puede ocurrir si su centro de gravedad está fijo en el centro del mundo”. Mastrius y Belluto también argumentaron que los tres centros eran física, aunque no matemáticamente coincidentes, pues si los centros eran matemáticamente idénticos entonces la menor variación en cualquier parte de la tierra - por ejemplo, la caída de una pequeña piedra en la superficie de la tierra- causaría que el centro de gravedad de la tierra se moviera ligeramente del centro matemático. Sin embargo, ese cambio ligero no afectaría notablemente la coincidencia de los tres centros. Ibid., p. 30.

¹²² Cornäus también enfatizó un balance entre el agua y la tierra. Ibid.

¹²³ Amicus estaba de acuerdo con Clavio en esas tres alternativas. Ibid., p. 31.

de la Tierra en el cielo esférico seis de los doce signos del zodiaco siempre son visibles y los otros seis son invisibles y b) si la Tierra estuviera fuera del centro del mundo las mismas estrellas deberían parecer más grandes cuando estuvieran más cerca de la Tierra y más pequeñas cuando estuvieran más lejos de ésta, lo cual contradice la experiencia. Según Aversa, esa consecuencia también se daría si la Tierra se moviera en el gran orbe asignado a ésta por Copérnico.

Aversa mencionó que si la Tierra fuera excéntrica se derivarían otros absurdos que contradicen a los hechos a partir “de los equinoccios y solsticios, del aumento y disminución de los días y las noches, de la relación del horizonte entre el cielo y la tierra, de la existencia de la sombra solar, de un eclipse lunar,¹²⁴ y de muchas otras observaciones las cuales requieren más investigación astronómica”.¹²⁵ Según Aversa, debido a estas dificultades Copérnico consideró que la altura del cielo estrellado era enormemente lejana, de modo que todo este gran orbe [el del movimiento anual de la tierra] sería como un punto con respecto al primero [es decir, al cielo estrellado] sin producir una diversidad perceptible”.¹²⁶

ii. La inmovilidad de la Tierra

En el siglo XVI hubo discusiones en tratados y comentarios cosmológicos y físicos acerca de diferentes movimientos terrestres. Las discusiones se daban en un contexto centrado en las ideas de griegos y latinos, incluyendo el reporte de Arquímedes del sistema heliocéntrico de Aristarco.¹²⁷ Amicus mencionó que “Copérnico planteó que los cielos están inmóviles... con el Sol fijo en el centro del universo y la Tierra moviéndose por medio de un triple movimiento”.¹²⁸ Los tres movimientos terrestres que menciona Amicus son (1) una rotación axial diaria; (2) un movimiento anual alrededor del Sol de oeste a este y (3) lo que puede describirse como “los otros movimientos”, que dependiendo del autor, podían ser movimientos rectilíneos, movimientos axiales e incluso terremotos.¹²⁹ De los tres

¹²⁴ Amicus argumentó que si la Tierra no está en el centro del mundo los eclipses lunares no podrían ocurrir cuando el Sol y la Luna son diametralmente opuestos. Con la Tierra fuera del centro del mundo ésta no podría evitar que la iluminación del Sol llegara a la Luna cuando el Sol y la Luna están en puntos opuestos del Zodiaco. Ibid.

¹²⁵ Ibid.

¹²⁶ Ibid., p. 32.

¹²⁷ Aristarco también asumió la rotación diaria axial de la Tierra. Ibid., p.33.

¹²⁸ Ibid., p. 34.

¹²⁹ Aversa identificó el tercer movimiento con un movimiento rectilíneo hacia abajo. Ibid.

movimientos la rotación diaria atraía más la atención. Salvo Riccioli, la mayoría de los escolásticos consideraron a los movimientos diario y anual juntos.

Argumentos físicos basados en el movimiento común

Para explicar los fenómenos físicos que tenían lugar en la Tierra, suponiendo que todos los cuerpos sobre y por encima de la superficie de la Tierra comparten el movimiento de rotación de la misma, se usó el concepto del llamado movimiento común. Ptolomeo ya había usado ese concepto para refutar la idea de la rotación diaria de la Tierra, mientras que en el siglo XIV Nicolás Oresme lo usó para apoyar la rotación de la misma. En cambio, Copérnico consideró que el movimiento común era un “movimiento de caída y subida de los cuerpos en el universo y es una composición de un [movimiento] recto y uno circular”.¹³⁰ Copérnico justificó la rotación terrestre abandonando la idea aristotélica de que el movimiento rectilíneo era natural para los cuatro elementos, lo cual provocó que sus ideas fueran rechazadas por varios escolásticos del siglo XVII. Así, el movimiento natural para la tierra y el fuego era circular siempre y cuando cada uno de esos elementos estuviera unido a su todo. Sólo “cuando estaban separados de su todo y abandonaban su unidad” se movían rectilíneamente. Entonces, aunque están separadas de la Tierra, las cosas terrosas y acuosas en el aire, y el aire mismo, comparten el movimiento rotacional de la Tierra.

Aversa rechazó las ideas copernicanas y usó argumentos basados en experiencias cotidianas para defender la inmovilidad de la Tierra: si la Tierra realmente girara diariamente de oeste a este parecería que las nubes “son acarreadas constantemente de este a oeste y no podrían permanecer en el mismo lugar de la Tierra”.¹³¹ Cuando alguien arroja una piedra hacia arriba con gran fuerza ésta debería caer a la tierra notablemente hacia el oeste “porque el movimiento de la Tierra mientras tanto continúa de oeste a este”. Pero “a menos que no se proyecten en línea recta o sean movidas por el aire, las piedras caen de regreso al mismo lugar”. Además, si la Tierra rotara rápidamente de oeste a este deberíamos sentir un fuerte viento de este a oeste, lo cual no es percibido.¹³² Por todas esas razones “es seguro que la Tierra no gira constantemente con un movimiento diario”.¹³³

¹³⁰ Ibid.

¹³¹ Amicus y Galileo usaron el mismo argumento, pero sin refutar las ideas copernicanas. Ibid., p. 35.

¹³² Riccioli al igual que Galileo incluyó este argumento a favor de la inmovilidad de la Tierra. Ibid.

¹³³ Ibid.

Riccioli en sus argumentos en defensa de la inmovilidad de la Tierra siempre concluía con la idea copernicana basada en el movimiento común.¹³⁴ Explicó que a) si la Tierra rotara de oeste a este deberíamos tener una mayor dificultad para movernos hacia el oeste debido a la resistencia del aire conforme la Tierra se va desplazando y b) los copernicanos negaron que habría tal resistencia porque “hay un movimiento común hacia el este para todos los cuerpos similares a la Tierra, justo como pasa con el aire cerca de la Tierra”.¹³⁵ En este ejemplo Riccioli no dio un argumento a favor de la inmovilidad de la Tierra.

Galileo usó argumentos copernicanos para refutar la inmovilidad de la Tierra. En cambio, Mastrius y Belluto defendieron esa idea usando argumentos de Galileo basados en que todas las cosas compartían un movimiento circular común, pero no mencionaron los argumentos copernicanos sobre el movimiento común.¹³⁶

1. Barcos y el movimiento común

Galileo defendió la rotación de la Tierra considerando que en una cabina en la cubierta de un barco los movimientos observados de pájaros, hombres, peces y agua goteando de un recipiente a otro deberían ser los mismos si el barco estuviera en reposo o en movimiento siempre y cuando éste tuviera un movimiento uniforme y sin fluctuaciones.¹³⁷ De hecho, Galileo declaró que “él mismo había experimentado varias veces y [visto] que una piedra proyectada hacia arriba desde la parte superior de un mástil siempre cae al pie del mástil, nunca hacia el mar, [sin importar] si el barco estaba en reposo o se movía rápidamente”.¹³⁸

Mastrius y Belluto, para defender la inmovilidad de la Tierra, usaron las consecuencias derivadas de algunos argumentos de Galileo. Una piedra arrojada hacia arriba en la cabina caerá a los pies del proyector porque tanto el proyector como la piedra se mueven a la par que el barco. Sin embargo, la piedra no cae con un movimiento perpendicular sino que sigue el camino de una línea

¹³⁴ Ibid., p. 36.

¹³⁵ Riccioli dio argumentos a favor de la inmovilidad de la Tierra mencionando que había un viento perpetuo hacia el oeste y que deberíamos percibir “sonidos y silbidos del aire al golpearse contra los árboles, montañas, torres, etc.”. Como no percibimos tales cosas, la Tierra debe estar en reposo. Ibid.

¹³⁶ Mastrius y Belluto aseguran que Galileo negó esos absurdos “porque no sólo la Tierra se está moviendo innatamente alrededor del centro con un movimiento circular, sino también todos los cuerpos animados o inanimados unidos o separados a la Tierra.... Y como ese movimiento es común a todo no lo percibimos, excepto al observar las estrellas fijas, en cuyo caso no se aplica”. Ibid.

¹³⁷ Oresme dio el mismo argumento que Galileo. Ibid., p. 37.

¹³⁸ Ibid.

transversal derivado del movimiento perpendicular de la piedra y del movimiento horizontal del barco.¹³⁹ Pero si Galileo afirmaba que los movimientos dentro de la cabina son los mismos que cuando el barco está en reposo, entonces si primero suponemos que la Tierra está inmóvil, y de esa hipótesis se infieren varias cosas absurdas, que llevan a la conclusión de que la Tierra está inmóvil, entonces se está concluyendo lo que era la hipótesis y eso es erróneo. Sin embargo, Mastrius y Belluto no incluyeron una refutación directa a este argumento de Galileo. En su lugar, consideraron la declaración en favor de Copérnico propuesta por Galileo de que los cuerpos sublunares poseen una tendencia innata a moverse alrededor del centro de la Tierra.¹⁴⁰ Por tal propiedad, la Tierra rota alrededor de su propio centro al igual que lo hacen los cuerpos acuosos, aireados y ardientes. Pero para Mastrius y Belluto tal declaración era falsa pues cada tipo de cuerpo sublunar difiere en especie y género de todos los otros cuerpos.¹⁴¹ Por otra parte, si el movimiento circular fuera innato a la Tierra y todas sus partes, entonces todos ellos deberían poseer una velocidad innata y determinada, es decir, una velocidad única. Esto no es cierto y se puede mostrar analizando que “si una piedra estuviera bajo la equinoccial [el ecuador] deberá moverse más rápidamente y, si está más lejos de la equinoccial y más hacia los polos deberá moverse más lentamente, de modo que si ésta estuviera en los polos girará circularmente [es decir, rotará] sobre sí misma y así, en un espacio de 24 horas completará el movimiento diario simultáneamente con la Tierra entera”. Entonces, como tales cuerpos sublunares viajan con distintas velocidades en tiempos distintos esa es una condición que no puede ser producida por tendencias innatas. Además, ninguna causa externa puede producir por sí sola la velocidad de rotación común. Algunos ejemplos de esas causas externas son: los ángeles¹⁴², el lugar donde un cuerpo se mueve y el aire. Los argumentos que Mastrius y Belluto dieron del porqué esas causas externas no podían producir que la Tierra rotara son:

- a) El lugar de la piedra no podría ser la causa de que la Tierra rotara porque si una piedra en el círculo ecuatorial se mueve más rápido que una colocada lejos del mismo, no puede asegurarse que un lugar como el círculo ecuatorial es la

¹³⁹ Aunque Galileo no describió la trayectoria de un cuerpo descendiendo en la cabina de un barco en movimiento como “inclinada”, sí declaró que la trayectoria de una piedra cayendo hacia la Tierra rotando debía ser inclinada. Tycho Brahe argumentó que un objeto lanzado hacia arriba en un barco no siempre caerá en el mismo lugar pues debe considerarse el movimiento o el reposo del barco y la mayor velocidad del mismo. Ibid.

¹⁴⁰ Ibid., p.38.

¹⁴¹ Aparentemente ello no se opone a la idea del movimiento rectilíneo el cual Mastrius, Belluto, y eventualmente los aristotélicos, consideraron cierta.

¹⁴² Para ver más al respecto consultar el apéndice B.

causa de la mayor velocidad de la piedra pues éste no podría ser a la vez la causa de la menor velocidad de la misma para otras latitudes paralelas.¹⁴³

- b) La “totalidad de la naturaleza” como una causa externa del movimiento rotacional diario de todos los cuerpos sublunares desprendidos de la Tierra presupone que la Tierra en rotación de algún modo comunica su propiedad de rotación a cada una de sus partes. Pero tal naturaleza debería tener voluntad pues de alguna manera tendría que ajustar la velocidad de cada piedra lanzada a lo alto para garantizar su rotación en 24 horas. Después de todo, una piedra podría moverse con otros movimientos hacia el este o el oeste. En el primer caso, la piedra completaría su circulación diaria en menos de 24 horas y en el segundo caso en más de 24 horas.
- c) El aire no es la causa externa de la rotación diaria de la Tierra porque “el aire no puede mover una gran masa con un movimiento circular”. De hecho, si el aire empujara a la Tierra en una rotación diaria, entonces la velocidad rotacional del aire debería ser menor que la de la Tierra pues “el cuerpo que está empujando [a saber, el aire] y el cuerpo que es empujado [a saber, la Tierra] no se mueven por igual”.¹⁴⁴

A partir de los argumentos anteriores Mastrius y Belluto concluyeron que “ese movimiento circular se asume falsamente por ser innato en las cosas sublunares”.

Riccioli estuvo de acuerdo con el argumento que Mastrius y Belluto dieron para defender la inmovilidad de la Tierra usando el de Galileo sobre objetos animados y los inanimados dentro de una cabina en un barco en movimiento y lo introdujo en la proposición siguiente:

Si la Tierra se moviera con una rotación diaria o con una traslación anual las nubes en el aire, el humo que se eleva y las aves que están suspendidas [en el aire] o volando hacia el este siempre parecerían ser llevadas hacia el oeste. Pero ello es contrario a la experiencia. Por eso la Tierra no se mueve con una rotación diaria y mucho menos con una traslación anual.¹⁴⁵

Luego, Riccioli aseguró que como el reposo y movimiento del barco son comunes a todo, en consecuencia los movimientos de los objetos animados e inanimados en una cabina cerrada son los mismos que los del barco en movimiento o en

¹⁴³ Mastrius y Belluto no consideraron la posibilidad de que cada latitud paralela debía causar un grado específico de velocidad y que las velocidades disminuyen conforme la latitud se incrementa. Ibid.

¹⁴⁴ Ibid., p. 38.

¹⁴⁵ Ibid., p. 39.

reposo y por esa razón no se puede inferir el reposo o movimiento del barco a partir de los movimientos de los objetos en la cabina.

Riccioli infirió la inmovilidad de la Tierra a partir del vuelo de las aves hacia el este y para hacerlo afirmó que aunque las aves no parecen moverse hacia el oeste cuando están volando hacia el este, a partir de ello no se puede inferir que la Tierra está en reposo. Pero Riccioli se contradijo al afirmar que puede parecer que las aves se mueven más hacia el este que hacia el oeste ya sea porque la Tierra está realmente en reposo o porque, como Galileo y Copérnico lo creyeron, las aves comparten el movimiento hacia el este de la rotación de la Tierra. Se desconoce porqué Riccioli luego de dar un argumento a favor de la inmovilidad de la Tierra introdujo un argumento de Galileo para demostrar la falta de resultados concluyentes del mismo argumento.

Riccioli negó el movimiento común o rotación axial de la Tierra enfatizando que los cuerpos pesados “descienden naturalmente por una línea recta perpendicular a la tierra” y que si son proyectados hacia arriba “regresarán sobre la misma trayectoria al mismo lugar”. Es tan obvia esta experiencia que “no puede mostrarse que sea falsa pues las sensaciones así lo aseguran”.¹⁴⁶ Solo hay dos posibilidades: que los cuerpos pesados descendan en una trayectoria que es una línea recta o que lo hagan por medio de una línea no rectilínea que sólo parece ser rectilínea. Si sucediera que para “los sentidos no es evidente que los cuerpos pesados descenden a través de una línea recta [entonces] toda la ciencia física sería destruida”.¹⁴⁷

Además, como buen aristotélico, Riccioli argumentó que “la naturaleza de los cuerpos pesados y ligeros demanda que regresen a sus lugares y estén unidos a su todo por medio de su trayectoria más corta”.¹⁴⁸ Bajo la hipótesis de los copernicanos, si se supone que la Tierra gira, entonces las trayectorias de los cuerpos pesados y ligeros deben ser curvilíneas y más largas en lugar de ser perpendiculares y más cortas, lo cual implicaría ignorar la naturaleza de los cuerpos pesados.¹⁴⁹

En el siglo XIV Nicolás Oresme ya había declarado que si un hombre “sacara su mano en línea recta a lo largo del mástil de un barco, a éste le parecería que su

¹⁴⁶ Ibid., p. 40.

¹⁴⁷ Ibid.

¹⁴⁸ Ibid.

¹⁴⁹ En cierto momento Riccioli fue más imparcial y explicó que los movimientos rectilíneos que observamos son solo aparentes. Ibid., pp. 40-41.

mano se mueve con un movimiento rectilíneo”¹⁵⁰ aunque ese movimiento es el resultado de dos movimientos distintos, vertical (la mano) y horizontal (el barco).

Mastrius y Belluto refutaron la afirmación de Galileo de que una piedra arrojada desde lo alto de un mástil en un barco en movimiento cae al pie del mástil y no en el mar porque la piedra comparte el movimiento del barco.¹⁵¹ Para hacerlo ambos apelaron a que el filósofo griego Johannes Cottunius (1577-1658) afirmó haber visto caer piedras desde el mástil de un barco y que ninguna de ellas cayó al pie del mástil sino que cayeron en el agua de la popa del barco.¹⁵²

Mastrius y Belluto argumentaron que si la Tierra rotaba, entonces un barco que se mueve hacia el este tendría dos movimientos: (1) el movimiento común de la Tierra de oeste a este y (2) el movimiento hacia el este causado por la fuerza del viento. Sin embargo, al dejar caer una piedra desde la parte superior del mástil ésta sólo estará afectada por la rotación de la Tierra hacia el este y no por el movimiento propio del barco hacia el este y, en conclusión, esa piedra caerá rectilíneamente pero no quedará al pie del mástil sino que golpeará un poco la cubierta hacia el oeste del mismo debido a que el barco se movió hacia el este durante el tiempo que la piedra caía. Ahora, si el mismo barco navegara hacia el oeste, tal movimiento retardará el movimiento hacia el este del barco porque la Tierra rota de oeste a este y en consecuencia la piedra se moverá hacia el este con una velocidad mayor que la del barco y por ello caerá en el agua hacia la popa.

El enfoque de Galileo difirió del de Mastrius y Belluto pues para Galileo eran situaciones análogas el arrojar una bola desde el mástil de un barco en movimiento y el hacerlo desde cierta altura hacia la superficie de la Tierra rotando, pues así como la bola y el barco comparten un movimiento común horizontal también la Tierra y la bola lo comparten. Galileo no aplicó el movimiento común que surge de la rotación de la Tierra al argumento del barco, mientras que Mastrius y Belluto ligaron el movimiento común de la Tierra con una piedra cayendo, pero divorciaron el movimiento de la piedra del movimiento del barco.

Amicus dio un argumento similar al de Mastrius y Belluto para defender que la Tierra no está rotando, pero en lugar de una piedra consideró una flecha lanzada

¹⁵⁰ Ibid., p. 41.

¹⁵¹ Por analogía Galileo sostuvo que un cuerpo tirado desde una torre caería al pie de ésta pues la piedra y la torre comparten la rotación de la Tierra. Ibid.

¹⁵² Salviati declaró que los anticopernicanos nunca arrojaron un cuerpo desde el mástil de un barco en movimiento. Ibid.

hacia arriba en la cubierta de un barco y concluyó que a una mayor velocidad del barco la flecha caería más atrás del sitio desde el que fue arrojada inicialmente.

2. Balas de cañón

Tycho entre 1586 y 1590 negó el argumento copernicano de que un cuerpo pesado cae al mismo tiempo con un movimiento rectilíneo y con uno circular argumentando que a) como ambos movimientos son naturales en los cuerpos si sucedieran simultáneamente uno interferiría con el otro,¹⁵³ b) es imposible que los cuerpos que caen con una variedad de velocidades rectilíneas se muevan con la misma velocidad rotacional de la Tierra y c) si se supusiera que un cuerpo separado de la superficie de la Tierra se moviera con esos dos movimientos a la vez y siguiera la rotación de la Tierra habría un tercer movimiento violento que haría insostenible a la hipótesis rotacional. Tycho ejemplificó lo anterior al considerar dos balas de cañón exactamente iguales en peso y tamaño hechas de plomo, hierro o piedra, que se disparan desde el mismo lugar sólo que una hacia el este y la otra hacia el oeste. Entonces cada una de las balas se movería siguiendo tres movimientos simultáneos: (1) un movimiento natural hacia el centro de la Tierra, (2) un movimiento natural rotacional siguiendo a la Tierra y (3) un movimiento violento causado por el polvo de la explosión en el cañón. Tycho pensó que si una bala de cañón poseía un movimiento rotacional natural que le transmitía la Tierra al ir rotando, entonces el movimiento circular natural deberá ser afectado por el movimiento violento causado por el polvo de la explosión en el cañón. Entonces, tanto para la bala despedida hacia el este como para la despedida hacia el oeste, el cañón sería llevado hacia el este por el movimiento de rotación de la Tierra, pero a) la bala despedida hacia el este se movería con su movimiento violento hacia el este y por ello avanzaría a poca distancia del cañón, en contraste b) la bala disparada hacia el oeste se movería hacia el oeste con su movimiento violento, el cual va en contra del movimiento circular natural, y debería avanzar muy lejos del cañón.

Quizás debido al prestigio de Tycho y porque su argumento era más complicado que otros sólo fue tomado por los tradicionalistas.¹⁵⁴ Mastrius y Belluto usaron una variante de ese argumento, pero declararon que una bala de cañón disparada hacia el oeste debería tener un mayor impacto que una que es lanzada hacia el este. Así, si la bala de cañón disparada hacia el oeste golpeará una casa, entonces la casa sería llevada hacia el este debido a la rápida rotación de la Tierra y la casa se quedaría al frente de la bala de cañón pues “los ímpetus hacia el

¹⁵³ Ibid., p. 43.

¹⁵⁴ Galileo usó este argumento varias veces. Ibid., p. 43.

oeste se duplicarían”.¹⁵⁵ En el caso de una bala hacia el este la fuerza de impacto es disminuida porque la casa se está alejando de la bala que se aproxima a ella.

Riccioli consideró ejemplos donde las balas de cañón eran lanzadas hacia los puntos cardinales. Uno de ellos contradecía lo que habían propuesto Mastrius y Belluto (y en consecuencia a Tycho):

Si la Tierra se moviera con un movimiento diario o con un movimiento anual, una bala que es empujada hacia adelante con cierta fuerza y cierta distancia hacia un objetivo del este y después con la misma fuerza y a la misma distancia que la primera vez, pero ahora hacia un objetivo del oeste, golpearía al blanco del este con mayor impacto que al blanco del oeste.¹⁵⁶

Riccioli dio un ejemplo donde lo anterior no es perceptible: si una bola de marfil colocada en medio de una mesa de juego fuese golpeada por otra bola de marfil, primero desde el oeste y luego desde el este a la misma distancia y con la misma fuerza sucedería que el impacto en la bola inmóvil sería el mismo a simple vista. Riccioli dio catorce argumentos en contra del movimiento diario de la Tierra basado en el movimiento de los cuerpos elementales hacia los cuatro puntos cardinales del mundo. En uno de ellos, si se supusiera que la Tierra gira, entonces una bala proyectada hacia el este debería ser afectada por el movimiento hacia el este de la Tierra, el cual se añadiría al impulso dado por el cañón o por quien la proyectara. En contraste, una bala proyectada hacia el oeste sería afectada por dos ímpetus dirigidos en sentidos opuestos: el ímpetu que conduce la bala hacia el oeste debería ser disminuido o interferido por el impulso de la bala que sigue la rotación de la Tierra hacia el este. En resumen, para los cañonazos hacia el oeste los dos ímpetus resisten e interfieren entre sí; para los tiros hacia el este se refuerzan entre sí.¹⁵⁷

Riccioli observó que William Gilbert y Kepler estaban en desacuerdo con el análisis de Tycho. Kepler consideró una bala de cañón con un disparo hacia el

¹⁵⁵ Ibid., p. 44.

¹⁵⁶ Ibid.

¹⁵⁷ Riccioli ilustró cómo las fuerzas pueden interferir o reforzarse una a la otra considerando el impacto de una bola de barro de una onza en dos situaciones diferentes. En la primera, una bola de barro se deja caer desde una torre sobre un sitio lodoso a 30 pies de distancia. La penetración de la bola de barro es profunda porque los dos ímpetus se refuerzan mutuamente: el que fue provocado por el motor que la lanzó hacia abajo y el producido por el peso de la bola de barro. Pero si el mismo motor proyectara a la misma bola de barro de una onza hacia arriba también a 30 pies, el ímpetu producido por el peso del cuerpo o la gravedad obstaculizaría el ímpetu impresionado por el motor que la proyectó hacia arriba: la acción del ímpetu anterior tendería a llevar la bola de barro hacia abajo y por lo tanto resistiría el ímpetu impresionado hacia arriba en la misma bola por el motor. Bajo la hipótesis de que la naturaleza de las cosas se preserva, Riccioli creyó que no había una respuesta sólida y persuasiva a ese argumento. Ibid., pp. 44-45.

oeste con fuerza suficiente para atravesar una milla alemana en dos minutos durante los cuales la Tierra rota ocho millas hacia el este¹⁵⁸. Como la bala de cañón posee dos movimientos sería llevada hacia el este aunque se moviera hacia el oeste. Kepler concluyó que su movimiento neto es hacia el este porque la bala de cañón finalmente es llevada siete millas hacia el este pues sólo se movió una milla al oeste del lugar desde el cual fue disparada. Si la bala de cañón fuera disparada y se proyectara una milla hacia el este esa milla debería ser añadida a las ocho millas que atraviesa como una consecuencia de la rotación de la Tierra. Así, la bala de cañón habrá atravesado un total de nueve millas. Sin embargo, la bala de cañón tendrá un movimiento neto de solo una milla al este del lugar desde el que se disparó.

Tycho negó que la distancia de la bala de cañón desde su terminal fuera el resultado neto de una simple resta o suma de las distancias recorridas por cada uno de los movimientos de la bala de cañón tomados individualmente o en sucesión. Según Riccioli, la ubicación final de la bala de cañón sería el resultado de una interacción mutua de las fuerzas motrices en la bala de cañón. Por ello Riccioli aseguró que Kepler estaba equivocado y que Tycho diría que si la Tierra realmente rotara, los dos movimientos contrarios de la bala de cañón deben interferir entre sí causando que la bala de cañón caiga cerca de su destino terminal una milla hacia el oeste y caiga cerca de su destino ocho millas hacia el este. Como una consecuencia de la interacción mutua y de la obstrucción de la acción de las dos fuerzas motrices en la bala de cañón ésta caería aproximadamente una cuarta parte de una milla cerca de su destino terminal hacia el oeste (debido a la rotación diaria contraria hacia el este) y aproximadamente a un cuarto de milla cerca de su objetivo hacia el este (debido al movimiento contrario hacia el oeste de la bala de cañón causado por el ímpetu añadido a la bala por la explosión de la pólvora), que se encuentra a ocho millas al este del punto desde el cual la bala de cañón fue disparada. Pero como tales discrepancias nunca fueron detectadas en la experiencia cotidiana Riccioli apoyó a Tycho negando la rotación diaria de la Tierra.

Otro argumento de Riccioli fue que si la Tierra girara y una bala de cañón se disparara a lo largo del plano de los meridianos hacia el polo norte o hacia el polo sur el movimiento diario causaría una diferencia muy pequeña en la distancia recorrida cuando la bala fuera impulsada ya sea al este o al oeste. Pero, si la bala fuera arrojada cerca de los polos hacia los paralelos, debido a que la rotación de la Tierra sería más lenta que en el caso anterior, sucedería que la distancia atravesada en un tiempo dado sería inferior a la distancia atravesada si la bala

¹⁵⁸ Ibid.

fuera despedida desde los paralelos cerca del ecuador hacia los polos. Como la experiencia muestra que no hay discrepancias Riccioli concluyó, como lo hizo Tycho, que la Tierra no gira.¹⁵⁹

Riccioli argumentó que si la Tierra girara, una bala de cañón disparada al este u oeste no alcanzaría a su objetivo, sino que caería por delante o por detrás del mismo. Y como tales efectos no son observados se concluye que la Tierra no gira.¹⁶⁰ Riccioli resumió el argumento de Galileo al respecto diciendo que si las tangentes se toman hacia los horizontes este y oeste las estrellas en el lado este parecerá que ascienden conforme las partes del este de la Tierra caen por debajo de la tangente, mientras que las estrellas en el oeste parecerá que descienden a medida que las partes del oeste de la Tierra parecen ascender. “De ahí, los disparos que son dirigidos a lo largo de esa tangente hacia un blanco en el este (el cual está bajando mientras la bala está viajando a lo largo de la tangente) deben subir; y aquellos hacia el oeste deben bajar debido al ascenso del blanco mientras la bala va a lo largo de la tangente”.¹⁶¹ Galileo respondió a Riccioli observando que a medida que la Tierra se eleva por encima de la tangente en el oeste el cañón también se elevaría por encima de ésta y las nuevas tangentes estarían tan elevadas que mantendrían la misma relación con el ascenso del blanco.¹⁶² A su vez, Riccioli contestó a Galileo que nadie había probado las afirmaciones de que la bala de cañón se elevaría por encima o por debajo de sus objetivos en el este y en el oeste. Luego, Riccioli decidió repetir los cálculos de Galileo basado en un cañonazo imaginario de 500 codos (o yardas) a lo largo del oeste del ecuador. Galileo mostró que a pesar de la rotación de la Tierra hacia el este, “el error de la bala debido al movimiento diurno de la Tierra no supera 4/100 de un codo (casi una pulgada)”.¹⁶³ Como esas diferencias no eran detectables por algún medio disponible en el siglo XVII, Riccioli estaba de acuerdo con Galileo en que¹⁶⁴ “si la Tierra está en reposo o se mueve no puede demostrarse por ese tipo de

¹⁵⁹ Éste fue su sexto argumento y está basado en las ideas de Tycho. Ibid., p. 46.

¹⁶⁰ Éste fue el séptimo argumento de Riccioli. Ibid., p. 47.

¹⁶¹ Ibid.

¹⁶² Galileo se refiere al horizonte del este declarando que “el blanco del este continuamente se está ajustando debido al movimiento de la Tierra bajo una tangente inmóvil, y por la misma razón es que el cañón continuamente desciende y sigue apuntando al mismo objetivo y por eso los tiros tienen cierta precisión. Drake explica que aquí Galileo aplica erróneamente su teoría de la inercia circular. Ibid.

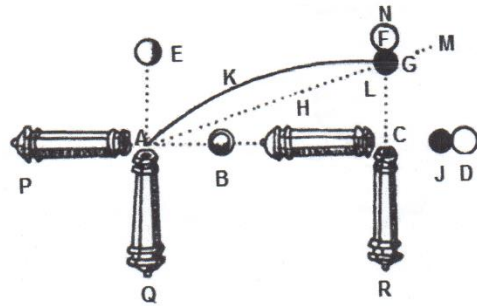
¹⁶³ Ibid.

¹⁶⁴ La única crítica de Riccioli se refiere a un supuesto error en donde Galileo confunde la cuerda con el seno del arco de un minuto para el seno de tales partes que es 29, el radio es 100,000, de modo que la cuerda de tales partes no es 30 sino 58”. Ibid.

experimento". Así, una vez más Riccioli neutralizó otro de sus propios argumentos formulados a favor de la inmovilidad de la Tierra.

Riccioli en uno de sus argumentos en contra de la rotación de la Tierra comparó distancias recorridas que difícilmente eran obvias y en otro consideró el impacto de los cuerpos y el ímpetu que producían tales impactos. Para este último caso explicó el siguiente ejemplo (ver figura 5.1):

Figura 5.1 Balas de cañón al este y al norte según Riccioli. (Grant, "In Defense of the Earth's Centrality...", (1984), p. 48).



Utilizando la misma cantidad de pólvora y el mismo cañón se dispara una bala hacia el este y en otro momento se lanza hacia el norte. Si la Tierra fuera estacionaria una bala de cañón disparada desde el cañón PA alcanzará a su objetivo B a 250 pies de distancia en dos segundos de tiempo. Pero si la Tierra rotara con un movimiento diario al igual que los cuerpos sobre su superficie y cercanos a ella entonces, si el disparo fuera realizado en el ecuador la Tierra se moverá 752 pies en esos dos segundos de tiempo y transportará el cañón al punto C. Durante el mismo tiempo el objetivo B también se habrá movido 752 pies al este y alcanzará al punto D. Luego de dos segundos la bala de cañón habrá alcanzado su objetivo en B a 250 pies de distancia del cañón el cual está entonces en C. Ahora, supóngase que el cañón PA es girado en la dirección AQ, es decir hacia el norte, para disparar al objetivo E. Nuevamente, si la Tierra estuviera en reposo la bala de cañón se movería a E en la trayectoria rectilínea AE que mide lo mismo que AB, es decir 250 pies. Sin embargo, debido al movimiento de la Tierra y al de todos los cuerpos que la rodean, el cañón AQ y el objetivo E serán trasladados 752 pies (entonces AC=752) hacia el este a las posiciones CR y N respectivamente. La bala de cañón despedida mientras el cañón estaba en AQ ahora estará en F donde su distancia desde la boca del cañón, CF, es igual a 250 pies. Pero considerando al mundo entero, la distancia atravesada por la bala de cañón desde la boca del mismo a su objetivo en N será más de 752 pies debido a que no seguirá la trayectoria AC (que es una línea recta), la cual es de 752 pies sino la trayectoria AKF (que es una línea curva) cuya cuerda AHL será de 825 pies. Riccioli obtuvo lo anterior usando las leyes de los triángulos aplicadas al triángulo ACF, donde C es un ángulo recto, AC es igual a 752 pies y CF es 250 pies. Debido a que la bala de cañón sólo viajó 752 pies cuando fue disparada

hacia el este y golpeó al objetivo D, pero viajó 825 pies cuando fue disparada hacia el norte y golpeó el objetivo N, Riccioli concluyó que la bala de cañón golpearía a N con un impacto más débil del que necesitaría para golpear a D, una diferencia que sería observable si el objetivo fuera una pared u otra bala.

Riccioli creyó que había dos causas que debilitan el impulso de una bala disparada hacia el norte a diferencia de una disparada hacia el este u oeste:

a) una bala disparada hacia el norte, al objetivo E, debido a la rotación de la Tierra se ve obligada a ir hacia el este, pero en lugar de seguir una trayectoria rectilínea sobre la línea AE, se moverá en una trayectoria curva sobre AKF hacia F y viajará más lejos (825 pies) que cuando es disparada hacia el este (752 pies). Según Riccioli la trayectoria es una línea curva AKF y no una línea recta AHF “porque en el inicio del movimiento, éste es más rápido y la bala sería llevada más allá de la línea recta AHF, lo cual sucedería si el movimiento fuera uniforme.”¹⁶⁵ Si la Tierra rotara, el impulso de la bala de cañón sería disminuido en un disparo hacia el norte porque la bala de cañón debería atravesar una mayor distancia para alcanzar un objetivo a 250 pies de distancia que para golpear el mismo objetivo a 250 pies al este.

b) para un observador en el punto C parecería que la bala de cañón golpearía el objetivo N en el punto F a lo largo de la línea FN. Pero según Riccioli en realidad la bala de cañón golpearía al objetivo N en el punto F oblicuamente a lo largo de la línea LM pues la rotación diaria de la Tierra desvía la bala de cañón, y por lo tanto, a su impulso de la trayectoria AE y FN a la de AHL, la cual es una sección de la trayectoria curva de la bala de cañón en AKF.¹⁶⁶ Así, sólo si el objetivo fuera movido desde N en el punto F al punto G habría un mayor impulso e impacto.

De lo anterior Riccioli generalizó¹⁶⁷: “si la Tierra se moviera en un movimiento diurno o anual el impacto de la bala de cañón disparada hacia el norte o el sur sería mucho más débil que [el impacto de la bala] desde el oeste al este”, pero como tales diferencias no son observadas, entonces la Tierra no está rotando.

Para los copernicanos una bala de cañón, pese a su trayectoria oblicua, tiene su propio movimiento y llega a su objetivo porque tanto el blanco, el cañón y la bala de cañón están viajando con el movimiento común de la Tierra. Además creían

¹⁶⁵ Ibid.

¹⁶⁶ No es claro porque Riccioli habla de AHL como la trayectoria de la bala de cañón cuando anteriormente explicó que AHL sería la trayectoria sólo si el movimiento fuera uniforme. Como el movimiento no es uniforme su trayectoria debe ser la línea curva AKF. Ibid., p. 50.

¹⁶⁷ Ese fue su octavo argumento. Ibid.

que cada movimiento terrestre estaba compuesto de dos movimientos, el movimiento propio del objeto y el movimiento común que comparte con la Tierra y todos los otros objetos. En cambio, Riccioli estaba convencido de que cada movimiento de un cuerpo suministra una cantidad de impulso a éste y que los dos movimientos propuestos por los copernicanos más bien interferían entre sí pues tal interferencia mutua no se limita a las fuerzas contrarias sino que también ocurre con las fuerzas que son impresas oblicuamente.¹⁶⁸ Así, para Riccioli el impulso que se le suministra a una bala de cañón es el del el polvo que explota en el cañón y el de la rotación de la Tierra.

3. La caída de los cuerpos pesados y de los ligeros

Riccioli dio argumentos en contra de la rotación de la Tierra usando la hipótesis de que los cuerpos caen con un movimiento uniformemente acelerado.¹⁶⁹ Observó que si se aceptaran las hipótesis copernicanas de que la Tierra está rotando con un movimiento diario y también con un movimiento anual, entonces los cuerpos pesados no podrían caer en una línea recta perpendicular al horizonte sino con un movimiento parabólico (Kepler y Gassendi) o circular (Galileo y Bullialdus).¹⁷⁰ Personajes como Bullialdus y Galileo supusieron que la Tierra rotaba y explicaron que al dejar caer un cuerpo desde una torre, aparentemente su trayectoria era rectilínea descendente debido a la combinación de dos movimientos distintos. Para Bullialdus eran dos movimientos circulares uniformes, mientras que para Galileo era un movimiento circular uniforme común y otro movimiento rectilíneo uniformemente acelerado del propio cuerpo. De hecho, Galileo declaró que “el movimiento real y verdadero de la piedra nunca es acelerado del todo, sino que siempre es regular y uniforme a medida que se mueve a lo largo de su trayectoria circunferencial”.¹⁷¹

Riccioli creía que sus experimentos demostraban que “si dos cuerpos de diferentes pesos son arrojados a la vez desde la misma altura el que es más pesado descenderá más rápidamente”.¹⁷² Sin embargo, según Galileo esos cuerpos pesados deben golpear el suelo al mismo tiempo. Además, Riccioli consideró que aún si la explicación de Galileo fuera correcta ésta no “representa la

¹⁶⁸ Ibid., p. 51.

¹⁶⁹ Riccioli fue uno de los primeros en dar una determinación experimental cuidadosa sobre la aceleración. Ibid.

¹⁷⁰ Ibid.

¹⁷¹ Ibid.

¹⁷² Ibid., p. 52.

mayor parte de los movimientos con los cuales los cuerpos pesados descienden naturalmente”.¹⁷³ Riccioli creía que la hipótesis del movimiento circular de Galileo derivada de un ejemplo de una piedra que cae desde la parte superior de una torre solo era aplicable a los cuerpos cayendo directamente sobre el ecuador y lo explicó como sigue: “si ésta [la piedra] estuviera fuera de él, debajo de los polos, el descenso de la piedra sería en una línea recta y, por lo tanto, no en un círculo; si, por otro lado, [fuera] en algún paralelo del ecuador el paralelo descrito por el pie de la torre sería diferente del descrito por su cumbre, y además ninguno de los planos estaría en el plano en cual está el centro de la Tierra sino en uno muy distinto”.¹⁷⁴

Riccioli aplicó al problema de la rotación de la Tierra la distancia de Galileo y el tiempo de formulación para la caída de cuerpos pesados (este es proporcional a t^2), el cual él mismo verificó experimentalmente. Así, declaró que

Los objetos pesados que se dejan caer a través del aire en el plano del ecuador descienden hacia el este con un aumento de la velocidad que es real y notable y no sólo aparente. Pero si la Tierra se moviera en un movimiento diurno, sólo alrededor de su centro, los cuerpos pesados en la situación anterior descenderían hacia el este con un incremento de la velocidad sólo aparente. Por tanto, en cualquier caso, la Tierra no se mueve o no se mueve con un movimiento diurno único.¹⁷⁵

Riccioli arrojó bolas desde diferentes alturas en una torre y se convenció de que no sólo la velocidad de un cuerpo se incrementa de acuerdo al tiempo elevado al cuadrado sino que la fuerza del impacto se incrementa conforme el cuerpo que cae adquiere más y más impulso. Sin embargo, si la Tierra rotara, esas variaciones en el impacto no ocurrirían porque una bola arrojada en el plano del ecuador describiría una trayectoria circular y así “no descendería con una velocidad desigual real o con un incremento en su velocidad”.¹⁷⁶

Riccioli formuló argumentos para el movimiento de los cuerpos pesados y también lo hizo para el movimiento natural hacia arriba de los cuerpos ligeros. En uno de sus argumentos contra la rotación diurna de la Tierra se basó en el incremento de la velocidad de los cuerpos pesados y aseguró que esos argumentos eran aplicables al movimiento de los cuerpos ligeros. Los cuerpos

¹⁷³ Ibid.

¹⁷⁴ Ibid.

¹⁷⁵ Ibid., p. 53.

¹⁷⁶ Riccioli aseguraba que si la Tierra rotaba entonces un cuerpo pesado caería con un movimiento circular uniforme y lo mismo sucedía para los cuerpos pesados que no caen en el ecuador.

ligeros tienen que estar libres de toda naturaleza terrosa y acuosa y ser puramente de aire y fuego. Si un cuerpo como éste existiera y fuera visible más allá de la región de nuestro aire, mientras que asciende perpendicularmente sucedería que:

como no es afín a la Tierra no debe seguir el movimiento diario o anual de la Tierra. Por lo tanto si la Tierra se mueve, éste [es decir el cuerpo puramente de aire o de fuego] seguramente estará detrás [o abandonado] en un espacio de aire y su ascenso no parecerá perpendicular a nosotros pero parecerá oblicuo al oeste. Y por el contrario, si parece perpendicular será un signo de que la Tierra y la parte de ella donde está el observador quedan impasibles.¹⁷⁷

De hecho, si no podemos observar el ascenso de ese cuerpo ligero es probable que los corpúsculos y las exhalaciones se comporten de la forma antes descrita y así la inmovilidad de la Tierra es más probable que su movilidad.

4. Otros argumentos físicos

En el siglo XIV además de los anteriores argumentos físicos hubo muchos otros y algunos de los más significativos se darán a continuación.

- a) Copérnico atribuyó falsamente a Ptolomeo la idea de que si la Tierra rotaba “criaturas vivientes y otros pesos sueltos no permanecerían impasibles”.¹⁷⁸ Clavio incluyó este argumento en los reportes escolásticos en contra de la rotación de la Tierra. De hecho, afirmó que al girar un recipiente con agua sucede que ésta permanece en el recipiente pues “todo el impulso del agua es impreso hacia las partes más bajas del recipiente, no hacia su orificio”.¹⁷⁹ Sin embargo, “como el impulso impreso a las construcciones es hacia las partes más lejanas de la Tierra”¹⁸⁰ la rotación de la Tierra causaría que el impulso se

¹⁷⁷ Quinto argumento de Riccioli. Ibid., pp. 53-54.

¹⁷⁸ Ptolomeo sostuvo tal opinión, pero no fue con respecto a la rotación de la Tierra sino a lo que caía con un movimiento hacia abajo como una piedra o una partícula de tierra. Galileo añadió lo siguiente al supuesto argumento de Ptolomeo: “si la Tierra gira sobre sí misma con gran velocidad, las piedras y los animales necesariamente serían lanzados hacia las estrellas”. Ibid., p. 54.

¹⁷⁹ Clavio no aclaró si el recipiente lleno de agua está rotando sobre su propio eje o si le daba vuelta con un cordón atado a un extremo. Galileo supuso esto último. Amicus añadió una restricción importante al argumento de Clavio: que el recipiente debería estar en una órbita horizontal con su orificio siempre dirigido hacia el centro del recipiente para mantener el agua adentro del mismo. Ibid.

¹⁸⁰ Ibid.

concentrara en su superficie y, quizás como un terremoto, resquebrajaría los cimientos de los edificios.¹⁸¹

- b) Un reclamo fue hecho porque el fuego y el aire se mueven circularmente y además el globo de la Tierra se movía circularmente presuntamente por un ímpetu transmitido desde el cielo a la tierra a través de las esferas de fuego y aire.¹⁸² Mastrius y Belluto negaron la viabilidad física de este reclamo porque un cuerpo fluido como el aire no puede empujar a un cuerpo sólido como la Tierra, ya que ésta es demasiado pesada para rotar por la acción del aire y además está muy distante del cielo como para ser afectada por algún impulso transmitido por el cielo a partir del aire o el fuego. Además, Amicus afirmó que incluso si los edificios pudieran girar al mismo tiempo mientras que la Tierra está rotando, éstos eventualmente se colapsarían como una consecuencia de tal rotación.¹⁸³ Galileo argumentó que quienes defendían la postura anterior implícitamente supusieron que la Tierra en un inicio estaba en reposo durante el tiempo que los edificios fueron construidos y luego, cuando la Tierra empezó a rotar los edificios se colapsarían, lo cual es absurdo.¹⁸⁴
- c) Amicus rechazó cinco presuntas causas de la inmovilidad de la Tierra y apoyó la idea de Aristóteles de que la pesadez de la Tierra causó que esta descansa en el centro por ser el lugar más bajo en el universo.¹⁸⁵

Mastrius y Belluto decían que la Tierra reposa en medio del universo “porque está en el lugar más bajo”.¹⁸⁶ La Tierra permanece inmóvil en el centro del mundo porque cualquier movimiento lejos del centro será ascendente, pues repele a la

¹⁸¹ Por una paridad de razonamiento, el impulso impreso en el agua en la parte inferior del recipiente debería provocar que la parte inferior se colapsara. Ibid.

¹⁸² Ibid., p. 55.

¹⁸³ Riccioli dio un argumento similar al de Amicus y Aversa. Ibid.

¹⁸⁴ Galileo dio este argumento contra la presunta reclamación de Ptolomeo (pues no era un argumento de Ptolomeo) respecto a que los edificios se colapsarían en una Tierra rotando.

¹⁸⁵ Las cinco causas que Amicus rechazó son (1) Aristóteles atribuyó a Colophanus y Zenófanos sostener que la parte de la Tierra opuesta a “nosotros” es de una profundidad infinita; (2) todos los movimientos deberían hacerse en torno a algo inmóvil “y [ya] que los movimientos celestes son realizados alrededor de la Tierra, en consecuencia la Tierra está inmóvil”; (3) Aristóteles afirmó que según Thales, la Tierra está sostenida por el agua para que no se caiga; (4) la Tierra reposa en medio debido a la gran velocidad de los movimientos celestes; y (5) Aristóteles atribuyó a Anaximandro afirmar que la Tierra reposa en el centro porque es equidistante de todo. Ibid.

¹⁸⁶ Ibid., p. 56.

pesadez de la Tierra.¹⁸⁷ Según Amicus las cosas pesadas reposan en el centro del mundo y si una piedra fuera arrojada a un hoyo imaginario que se extendiera desde un lado a otro de la Tierra a lo largo de su diámetro la piedra “no debería moverse, excepto en medio, y naturalmente reposaría ahí y no iría más allá, excepto por la fuerza”.¹⁸⁸

Amicus citó a Alberto Magno diciendo que las cosas que no tienen entendimiento (como los animales) se mueven en sus lugares por la razón o el deseo. “Pero la Tierra no tiene alma ni entendimiento”¹⁸⁹, y por lo tanto, no puede moverse por deseo.

Amicus aseguró que los pequeños movimientos causados por las fuerzas de los cuerpos que incesantemente empujan la Tierra en su superficie no pueden moverla. Hubo quienes preguntaron que si al oprimir un lado de la Tierra no sucedería, como en una balanza, que el otro lado se elevaría y Amicus respondió que la Tierra no es como una balanza sino que la Tierra reposa en el centro del mundo naturalmente y que el equilibrio “natural” no es afectado por la suma de pesos, sino por su gran tamaño en cualquier punto de la superficie de la Tierra. Además, toda la Tierra está en reposo porque resiste la aplicación de toda fuerza motriz en cualquiera de sus partes, al igual que sucede con una enorme rueda de piedra que resiste la aplicación de todas las fuerzas ordinarias y permanece en reposo.

d) En el siglo XIV Aversa argumentó¹⁹⁰ que varias partes de la Tierra sufren alteraciones continuas que provocan que aumente o disminuya su tamaño. Por ello el centro de gravedad de la Tierra y por lo tanto su centro, continuamente se desplazan causando una secuencia incesante de pequeños movimientos

¹⁸⁷ Amicus aseguro que: “la Tierra... para ascender debe retirarse del centro, para descender debe acercarse hacia el centro. El lugar más bajo es el centro del cielo, el lugar más alto es el más cercano al cielo. Por lo tanto, la Tierra ocupa el lugar medio del cielo, debería reposar y permanecer allí absolutamente. Por otra parte, la Tierra posee la mayor gravedad [o pesadez] que debe sostenerla en el medio y mantenerla suspendida en medio del aire. Ibid.

¹⁸⁸ En el siglo XIV Alberto de Sajonia y Nicolás Oresme ya habían rechazado la afirmación de Amicus. Argumentaron que el impulso residual y no corrompido en la caída de la piedra causaría que se dirigiera más allá del centro y ascendiera hacia los cielos, según Alberto “mientras asciende, cuando el impulso se desgaste, por el contrario, descenderá. Y en ese descenso de nuevo adquiriría un pequeño impulso con el cual se movería de nuevo hacia el centro. Cuando ese impulso se gastara descendería de nuevo. Y así se seguiría moviendo, oscilando cerca del centro hasta que ya no hubiera más impulso en ella y hasta quedar en reposo”. Ibid.

¹⁸⁹ Ibid.

¹⁹⁰ Ibid.

rectilíneos de toda la Tierra.¹⁹¹ Aunque tales movimientos ocurren continuamente Aversa los consideró mínimos, imperceptibles a nuestros sentidos, e incluso inexistentes. Así, Aversa aceptó el movimiento y lo negó a la vez dejando sus ideas anti-copernicanas intactas.

A continuación se verá cómo fue que el modelo propuesto por Copérnico logró ser apoyado gracias a la propuesta de Wittenberg, lo cual animó a ciertos personajes a estar a favor del mismo.

5.2 La defensa del sistema copernicano

A partir de la década de 1550 en varias universidades alemanas los estudiantes usaban las tablas planetarias de Copérnico y de Erasmus Reinhold (1511-1553) para su formación profesional. En la universidad de Wittenberg surgió una interpretación que ayudó a que ciertas partes de la obra de Copérnico fuesen familiares y creíbles para muchos de ellos. Mientras que el prefacio de Copérnico al Papa no logró evitar la reacción católica en contra del copernicanismo, la *Narratio Prima* de Rheticus-Copérnico ayudó a que fuese aceptada. Algunos adeptos a esa teoría fueron Diego de Zúñiga (1536-ca. 1537), Thomas Digges (ca. 1546-1595), Christoph Rothmann (ca. 1550- ca. 1600), Giordano Bruno (1548-1600), Michael Maestlin y Kepler.

A continuación se abordarán las reformas de Wittenberg y la influencia que tuvieron respecto al copernicanismo.

i. Las reformas en la universidad de Wittenberg y el copernicanismo

En la universidad alemana de Wittenberg los estudiantes en filosofía natural debían analizar problemas de las áreas de las leyes, medicina y teología. Por otra parte se creía que la medicina, las matemáticas y la astrología estaban interrelacionadas. Además, tanto matemáticos como astrónomos debían estudiar artes y se les enseñaba medicina; para los matemáticos era útil aprender medicina ya que era una profesión mejor pagada que la de matemático. Una de las labores que podían realizar estos últimos era el hacer los calendarios más exactos que los existentes. El aprendizaje de la filosofía natural era la parte teórica del aprendizaje, mientras que la parte práctica era la aplicada por los astrónomos y matemáticos. Aristóteles creía que la física estudia la naturaleza y las causas de

¹⁹¹ Buridan infirió el movimiento de la Tierra y la formación de las montañas como una consecuencia de las alteraciones continuas en la superficie de la Tierra y los desplazamientos concomitantes del centro de gravedad de la Tierra. También aseguró que los leves movimientos rectilíneos de la Tierra son consecuencia de los desplazamientos continuos del centro de gravedad de la misma. Ibid.

los cambios en ella, mientras que las matemáticas eran la abstracción de la misma pues sólo requerían usar círculos, puntos, planos, números, etc. y recurrió a la física y a la lógica para explicar lo que se ve en los cielos a partir de sus causas. Por ello construyó un modelo cosmológico de la Tierra en el centro del cosmos de esferas y elementos rotando. Pero esta idea no funcionó del todo bien para el movimiento de los planetas. Por ello fue necesario que los astrónomos helenistas, en particular Ptolomeo, aplicaran las matemáticas para describir de una forma más exacta los movimientos planetarios. Ptolomeo lo hizo recurriendo a construcciones geométricas como los deferentes y epiciclos, las trayectorias con movimiento circular uniforme propuestas por Aristóteles. El resultado fue una descripción matemática que describía y predecía el movimiento observado en el cielo de una forma hasta cierto grado exacta pero no explicaba la razón de que los cuerpos celestes viajaran de forma extraña. De este modo esa astronomía era meramente observacional y violaba algunos de los principios básicos de la física especulativa de Aristóteles sin dar una explicación física del porqué los planetas se mueven como lo hacen. Los astrónomos se encargaron de proponer modelos que mejoraran al de Ptolomeo, pero eran complejos, poco manejables y no era convincente que en verdad daban una descripción apegada a la del mundo real.

A. La reforma de la filosofía natural en Wittenberg

En 1502 se fundó la universidad de Wittenberg, la cual se convirtió en una de las más importantes universidades alemanas clásicas escolásticas. En su currículo era prioritaria la enseñanza de la *Física*, *Metafísica* y *Lógica* de Aristóteles. Entre 1527 y 1518 el alemán Martín Lutero (1483-1546) fraile y teólogo católico agustino dio argumentos en contra de las propuestas aristotélicas, al grado de provocar que se dejaran de usar los escritos de Aristóteles -salvo los relacionados a la filosofía para así apoyar la retórica, poesía y lógica, excluyendo las notas y comentarios escolásticos- y en su lugar impartir una construcción humanista sobre las Sagradas Escrituras y lenguas. Con ello separó a la filosofía griega de la teología. Pero también llevó al retroceso de la filosofía natural al restringirla al papel que tuvo en la antigüedad de sólo explicar las doctrinas de la creación divina y la providencia.¹⁹²

En 1518 Philip Melanchthon (1497-1560) estudió artes en Wittenberg y trabajó al lado de Lutero a lo largo de la reforma luterana de la teología y la educación. De hecho, en la década de 1520 fue Melanchthon quien principalmente se encargó de ello. Él escribió varios trabajos sobre gramática, filosofía, natural y teología que se

¹⁹² Para más detalles ver Mark Nispel, *Wittenberg Reforms in the University and the Early Reaction to Copernicus*, cultural history of science, (1997), p. 17.

usaron en la enseñanza dentro de las escuelas alemanas durante años. A finales de la década de 1520 Melanchthon propuso que uno no debía dejarse engañar por la filosofía, pero también aseguró que debía seguirle dando la importancia que esta merecía para poder investigar las cosas en la naturaleza. De ese modo difirió de la filosofía natural escolástica medieval respecto al método, el contenido y a limitarse a la teología, es decir, a sólo investigar a la naturaleza dentro del contexto de la doctrina de la creación y providencia divinas. De ese modo surgió la filosofía natural luterana. Esta filosofía tuvo gran influencia en la educación alemana en décadas posteriores y su primera generación de estudiantes en gran medida determinó la reacción a las ideas copernicanas en ese país. Así, en la universidad de Wittenberg en la cátedra de filosofía natural se incluyeron a las matemáticas, a la astronomía y a la astrología que fue entendida como parte de la física y no como una herramienta de la medicina.

A continuación se revisarán las opiniones de Lutero y Melanchthon respecto a los asuntos celestes.

B. La astronomía y la reacción hacia Copérnico

Lutero en sus trabajos casi no incluyó ideas matemáticas quizás porque tenía una mentalidad aristotélica medieval, es decir que consideraba a las matemáticas como una abstracción de la realidad y como una representación que en verdad no es real. La filosofía natural luterana explícitamente excluía a la teología, mientras que la física continuó siendo la descripción causal de los objetos reales y de sus movimientos o cambios, y las matemáticas se mantuvieron como una descripción y uso de los objetos abstractos al servicio de las otras disciplinas. A las matemáticas, mediante la geometría y la aritmética, se les utilizó sobre todo para los estudios de los cielos, por ejemplo, para calcular las posiciones y movimientos de los cuerpos celestes.

En la década de 1530 Rheticus estuvo entre los alumnos de Melanchthon y como estaba muy interesado en la astronomía en 1539 fue a visitar a Copérnico para aprender de sus ideas al respecto. Como ya se mencionó en el capítulo 5, Rheticus se encargó de escribir la *Narratio Prima* y en 1541 ayudó a convencer a Copérnico de publicar su *De Revolutionibus*. Rheticus regresó a Alemania en 1542, pero debido a la actitud crítica de Melanchthon hacia el heliocentrismo tal documento no fue publicado inmediatamente. Así, Rheticus decidió llevarle a Nuremberg el manuscrito a Osiander para que lo publicara. Éste no lo hizo hasta que añadió un prefacio en el que afirmaba que esa obra era una hipótesis matemática útil para el cálculo, más no para la descripción real del cosmos. Tal suceso ayudó a que el *De Revolutionibus* se viese como una abstracción

matemática y no como una descripción de la física y en consecuencia no formó parte de los libros prohibidos.

Gracias a la reforma de la filosofía natural en Wittenberg fue que la teoría copernicana pudo ser enseñada en las universidades alemanas.

Como se observa, la visión del cosmos para Melanchthon fue una combinación de la física aristotélica sometida a la autoridad de la teología luterana. Melanchthon no pudo aceptar a la teoría heliocéntrica como una representación de la realidad debido a que contradecía a la física de Aristóteles y a que no estaba suficientemente apoyada por la evidencia observacional al grado de superar a la filosofía antigua. Pero ello no impidió que Melanchthon apreciara el modelo copernicano pues comparado a los modelos previos a él éste predecía con mayor precisión la posición y movimientos de los planetas, requisito indispensable para los astrólogos y astrónomos. Estudiantes de Melanchthon como Reinhold y Caspar Peucer (1525-1602), quienes junto con todos los demás pupilos de Melanchthon y los académicos que lo rodeaban fueron parte del llamado 'círculo de Melanchthon', ayudaron a dar prestigio al trabajo de Copérnico. Basándose en la teoría copernicana Reinhold en 1551 elaboró unas tablas que explicaban claramente el movimiento de los planetas y Peucer en 1560, siendo rector de la universidad de Wittenberg, dio una mayor difusión a la interpretación de Wittenberg acerca de Copérnico en otras universidades alemanas. Aunque Peucer tampoco estaba de acuerdo en el heliocentrismo propuso que el modelo copernicano podía ser transferido al modelo geocentrista de Ptolomeo si se añadían nueve o diez esferas al primero (aunque no se dedicó a hacerlo), de tal modo que geoméricamente ambos modelos eran equivalentes.¹⁹³

Tycho Brahe también estudió en universidades luteranas, pero no estaba del todo de acuerdo con la propuesta de Copérnico. De hecho desarrolló un modelo geo-heliocéntrico. En cambio, otros luteranos como Kepler y Galileo demostraron la realidad física de las ideas de Copérnico.

Kepler, en el prefacio a su trabajo más famoso el *Misterio Cosmográfico*, elogió a Copérnico y señaló que Copérnico atribuyó el movimiento de la Tierra al Sol a través de argumentos matemáticos, mientras que él lo hizo mediante argumentos físicos o metafísicos.¹⁹⁴ Los astrónomos de esa época estaban dispuestos a abandonar las ideas de Aristóteles, a construir un nuevo modelo del cosmos

¹⁹³ Para más detalles ver "The Melanchthon Circle, Rheticus...", (1975), pp. 180-181.

¹⁹⁴ Mark Nispel, Wittenberg Reforms in the University..., (1997), p. 30.

basado en observaciones y mediciones más precisas y a reconocer la necesidad e importancia de las ideas heliocéntricas copernicanas. Pese a las frecuentes declaraciones de que los reformadores de Wittenberg rechazaban violentamente a Copérnico basándose en las interpretaciones de ciertos pasajes de la Biblia, Lutero y Melanchthon jugaron un papel importante en la primera etapa para la aceptación del trabajo de Copérnico. La nueva formulación de Melanchthon de una filosofía natural con la inclusión de un modelo físico de astrología permitió que las propuestas copernicanas siguieran siendo utilizadas y discutidas pese a que su tesis principal no era aceptada. Sin embargo, ese rechazo al heliocentrismo no se debió en principio a que contradecía a las Sagradas Escrituras sino más bien al conflicto con Aristóteles que planteó Melanchthon quien era una autoridad en cuestiones de física. En ese proceso Lutero jugó un papel más indirecto al excluir a Aristóteles de la teología y a apoyar las reformas humanistas en general despejando así el camino a Melanchthon para construir su filosofía natural en relación a esa teología y enseñar esa filosofía natural en la universidad.

Ahora se verán algunas de las aportaciones hechas a favor del copernicanismo por parte de Rheticus, Giordano Bruno, Michael Maestlin, Kepler y Digges.

ii. Rheticus

Rheticus dio tres argumentos para defender que había una conexión entre los movimientos de la Tierra y otros fenómenos celestes y así ayudó a la aceptación de la teoría copernicana:

Primero: “la indiscutible precesión de los equinoccios y el cambio en la oblicuidad de la eclíptica convencieron a mi maestro para suponer que el movimiento de la Tierra podría provocar la mayor parte de los sucesos observados en los cielos”.¹⁹⁵ Los desacuerdos sobre la longitud del año tropical no se deben a defectos en los instrumentos de medición, como hasta ahora se creía, sino a una “ley completamente auto consistente”. Si el contenido de la esfera estelar está en reposo, entonces ¿qué causa la precesión de los equinoccios? Rheticus contestó que Copérnico descubrió que un movimiento de la Tierra lo explicaba y que tal descubrimiento persuadió a su maestro de asumir el movimiento de la Tierra.

Segundo: “mi maestro dijo que sólo en esa teoría todos los círculos en el universo giraban uniformemente y regularmente respecto a sus propios centros y no cerca de otros centros – una propiedad esencial del movimiento circular”.¹⁹⁶ El

¹⁹⁵ Ibid., ref 92

¹⁹⁶ Ibid., ref 94

que los círculos giren uniformemente depende de asignar un movimiento anual a la Tierra.

Tercero: Rheticus usó la autoridad de Plinio (23 d. C. -79 d. C.) para afirmar que “los planetas tienen los centros de sus deferentes en las cercanías [alrededor] del Sol tomado como el centro del universo”. Además, “Marte muestra sin lugar a dudas un paralaje a veces mayor que la del Sol y, por lo tanto, parece imposible que la Tierra ocupe el centro del universo”. Para Rheticus bastaba señalar que las variaciones en la distancia de Marte “seguramente no pueden ocurrir en la teoría de un epiciclo” y, por lo tanto, “se debe asignar un lugar diferente a la Tierra”.¹⁹⁷

Rheticus retomó una observación de Peurbach para afirmar que los fenómenos celestes están conectados al movimiento medio del Sol: el movimiento del Sol debe formar parte de los modelos planetarios. Copérnico había mostrado la eficiencia del sistema que propuso para determinar los movimientos planetarios y por ello se debían reconstruir del todo los sistemas planetarios propuestos anteriormente a él. Además, el sistema copernicano ayudó a “confirmar la veracidad de las observaciones de siglos anteriores”, así como “todas las predicciones astronómicas futuras de los fenómenos”.¹⁹⁸

Rheticus escribió: “los orbes más grandes [alejados] giran más lentamente, como es lo apropiado, mientras que los orbes que están más cerca del Sol, el cual puede decirse que es la fuente del movimiento y de la luz, giran con mayor rapidez”.¹⁹⁹ Por otra parte consideró la posibilidad de que no sólo hubiera seis planetas (Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno).

Rheticus aseguró que según su maestro los principios para que la astronomía teórica describiera con la mejor precisión posible y diera argumentos para ello debían ser pocos (por simplicidad), y el mundo debía ser de ese modo (por necesidad). Los orbes rotan uniformemente respecto a sus propios centros y son propulsados por “su propia naturaleza”, y no por orbes contiguos, proponiendo así una nueva y ‘simple’ astronomía. Para Copérnico el modelo del ecuante era incompatible con el principio físico de que todos los movimientos celestes son uniformes o son una combinación de movimientos circulares uniformes. Los movimientos oscilatorios y rectilíneos, como las desviaciones en la latitud y los

¹⁹⁷ Ibid.

¹⁹⁸ Westman, *The Copernican Question...*, (2011) p. 125.

¹⁹⁹ Ibid.

cambios lentos en los puntos equinocciales, eran explicados mediante una combinación de dos círculos moviéndose uniformemente.²⁰⁰

Rheticus aseguró que la Tierra, al ser un planeta más, tomó la función de generar el “primer movimiento” que en la hipótesis antigua era llevado a cabo por la esfera exterior y el Sol (las salidas y puestas diarias), además de que también podrían atribuírsele otros movimientos.²⁰¹ Así, mencionó un segundo movimiento hipotético con el cual “el centro de la Tierra, junto con sus elementos adyacentes y la esfera lunar eran llevados uniformemente en el plano de la eclíptica por el gran círculo”.

iii. Giordano Bruno

Giordano Bruno (1548 d. C.-1600 d. C.) fue un monje dominico nacido en Nola, Italia. Leyó el *De revolutionibus* y desde ese momento creyó en el sistema de Copérnico, lo enseñó y lo usó como parte de los argumentos a favor de su propia filosofía. Bruno aborrecía el punto de vista autoritario de Aristóteles y lo reemplazó con el punto de vista más amable de Lucrecio. Abandonó el sacerdocio y se convirtió en humanista. En 1575 adquirió el grado de doctor en la universidad de Toulouse y en 1581 fue profesor asistente en el Colegio de Francia. Dos años después, fue invitado a Londres por el embajador francés Michel de Castelnau. Se dedicó a dar clases en la universidad de Oxford y escribió seis diálogos en italiano en los que elogiaba a la verdad y atacaba a la fe ciega. El más conocido de ellos fue *La Cena de las Cenizas*. El título se debe a que tal escrito surgió de una discusión sobre el copernicanismo durante una cena en el miércoles de cenizas de 1584 en la residencia de Fulke Greville en Whitehall. En ese diálogo Giordano criticó el punto de vista geocéntrico, repudió la dicotomía aristotélica acerca de las diferencias entre lo terrestre y lo celeste y defendió que en la Tierra y en todo el universo, eterno e infinito, se aplican las mismas leyes físicas. Giordano creía que el universo no tiene principio ni fin en el espacio ni en el tiempo y que incluso la vida existía con seres inteligentes e incontables en otros mundos. De este modo defendió al copernicanismo y mostró su oposición a los que sostenían el sistema aristotélico-ptolemaico.²⁰²

Giordano fue acusado de hereje por afirmaciones como las anteriores, y por otras como las halladas en su *De Immenso et Innumerabilibus* (1591), en donde

²⁰⁰ Ibid., ref. 123.

²⁰¹ Ibid., ref. 124.

²⁰² Cía Lamana D., *La Cena de las Cenizas. Giordano Bruno*, serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/brunocia.pdf [consulta: 5 de febrero de 2015].

desmintió a Aristóteles y exaltó a Copérnico, además de que en el *De Monade* aseguró que las estrellas fijas eran soles suspendidos libremente en el espacio ilimitado, todos ellos rodeados de planetas habitados. También aseveró que el Sol sólo era una estrella entre muchas, rotando y que no estaba en el centro del universo pues el centro del universo era donde estaba el observador, enfatizando así un relativismo derivado de una mente conciliadora y abierta a múltiples influencias.

iv. Kepler y Maestlin

Michael Maestlin fue un astrónomo alemán que daba clases en la universidad de Tübingen. Hasta cierta época estuvo de acuerdo con la teoría ptolemaica, pero después de haber estudiado la trayectoria de un cometa en 1577 consideró que la teoría de Copérnico era una mejor opción. Maestlin descubrió que ese cometa (al cual se refería como una luz celeste) tenía un movimiento regular, razón por la cual no estaba en el mundo elemental, y revisando la hipótesis copernicana en *De Revolutionibus* halló que el tamaño y la revolución del cometa coincidían con las de la esfera de Venus.

Tres indicios de la actitud de Maestlin hacia la teoría de Copérnico fueron los siguientes: en primer lugar, Maestlin afirmó que la nueva luz celeste no era una "causa natural" ni se parecía a un cometa pues los cometas, según Aristóteles, no pueden generarse en el orbe estelar, que según Copérnico es el cielo más externo pues está libre de generación y corrupción. Aquí se aparta de la creencia de Copérnico de que existen cometas en "las más altas regiones del aire"; en su lugar mantuvo la posibilidad de que objetos transitorios imperfectos como los cometas, pudieran existir por encima de la Luna en la región celeste. En segundo lugar, Maestlin explicó que no podía medir la magnitud del 'cometa' y su altura desde el centro del mundo debido a la inmensa altura del orbe estelar cuya distancia, de acuerdo con Copérnico, era desconocida. Y, por último, se sabía que Copérnico había 'demostrado' las distancias verdaderas de todas las órbitas planetarias desde el centro del mundo.

El no poder medir el paralaje del cometa contradecía a la teoría de Aristóteles sobre cometas como fenómenos atmosféricos o meteorológicos. Se puso en duda la dicotomía fundamental entre la región celeste perfecta y la esfera sublunar corruptible, mostrando que los cielos no eran inmutables. Y si el cometa se estaba moviendo en el área por encima de la Luna ello implicaba que su trayectoria intersectaría las esferas cristalinas. Entonces, el cometa de 1577 hizo reconsiderar el viejo orden de los planetas, y según Maestlin tal reordenamiento se seguía directamente de sus intentos por calcular la órbita del cometa. Todo ello ayudó a apoyar la teoría copernicana.

En 1591 Kepler se convirtió en discípulo de Maestlin quien le enseñó el sistema heliocéntrico de Copérnico. Kepler se hizo un seguidor de esa teoría y se interesó en encontrar las distancias de cada uno de los seis planetas al Sol. En 1595 pensó que éstos podían acomodarse, como la propuesta de Copérnico lo decía, en esferas concéntricas, unas anidadas dentro de otras, y donde cada una estuviera en el interior de los poliedros perfectos mencionados por Euclides. Se dio cuenta de que había 120 formas posibles de combinarlos, y después de días y noches de trabajo agotador lo logró. Desarrolló su demostración en el *Misterio Cosmográfico*, el cual se publicó en 1597.

En 1600, el astrónomo imperial Tycho Brahe le propuso a Kepler colaborar con él en su observatorio, dado que ya había reunido cientos de datos exactos sobre los planetas, el Sol y la Luna con el objetivo de corregir la teoría planetaria de aquel entonces. En 1601 Tycho murió y Kepler lo sucedió para seguir realizando observaciones astronómicas y además fue nombrado matemático imperial. Luego de muchos intentos tortuosos para adecuar los datos de Tycho a la teoría de Copérnico, Kepler se rindió. No pudo hacer que concordaran los dos principios que habían definido la astronomía planetaria desde Ptolomeo hasta entonces: que las trayectorias aparentes de los planetas estaban compuestas por movimientos circulares y que esos movimientos se realizaran con una velocidad constante. Así que decidió usar elipses en lugar de círculos y en lugar de pensar en un movimiento circular constante usó una regla elaborada y poco clara que involucraba áreas en arcos de elipse. Ambos cambios hoy en día son conocidos como dos de las tres leyes de Kepler. Ellas fueron escondidas en una narración que reportaba una historia militar de lo que Kepler llamó su guerra con Marte. Más adelante fueron publicadas en su *Astronomia Nova* (1609). En 1627 Kepler publicó las tablas de los movimientos planetarios calculados de acuerdo con sus leyes y las llamó *Las tablas rodolfinas*, en honor a su patrón el emperador romano Rodolfo II. Esas tablas eran mucho más exactas que las de Copérnico y se usaron en todo el mundo por más de un siglo.

v. Digges

En el mismo año que Maestlin publicó su *Demostración Astronómica* usando elementos del *De Revolutionibus* de Copérnico para argumentar en qué sitio estaba el cometa que observó, el astrónomo inglés Thomas Digges publicó *A Prognostication Everlasting of Righte Good Effecte* (1576), llamado el almanaque perpetuo el cual se siguió imprimiendo al menos durante quince años. En 1576 decidió añadirle algunos capítulos del libro 1 del *De Revolutionibus* y le cambió el título a *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes according to the most aunciente doctrine of the Pythagoreans, lately reuiued by Copernicus and by*

*Geometricall Demostrations approued.*²⁰³ Digges fue el primero en exponer en su idioma el sistema copernicano, pero descartó la idea de la esfera de las estrellas fijas y en su lugar propuso que había infinidad de estrellas a diferentes distancias.

Digges escribió *Alas o Escaleras (Wings or Ladders)* en donde menciona la existencia de la estrella supernova de 1572 observada por Tycho Brahe. En este trabajo propuso los métodos para encontrar la posición de la misma en los cielos. Los argumentos de Digges para ello pueden formularse de la siguiente forma:

1. No hay alteración alguna en la sustancia de los cielos.
2. Como la nueva estrella es parte de los cielos no puede aumentar o disminuir de tamaño; tales cambios son mera apariencia.
3. La causa de los cambios aparentes del brillo de la estrella es el movimiento anual de la Tierra. De ser así, el brillo de la misma parecerá disminuir cerca del equinoccio de primavera, éste aumentará lentamente a medida que se acerque el solsticio de verano, aumentará a su máximo esplendor en el equinoccio de verano y volverá a disminuir conforme se acerque el solsticio de invierno.

En 1572 el brillo de la estrella disminuyó y Digges consideró que era la oportunidad de confirmar su propuesta. Para ello, según sus cálculos, sólo requería un año de observaciones para detectar visualmente los efectos del movimiento de la Tierra sobre la estrella. Pero en 1574 la estrella, luego de haber sido visible durante dieciséis meses, inesperadamente desapareció. Con ello la premisa de la inmutabilidad celeste quedaba violentada y permitió la posibilidad de una explicación física para la generación y desaparición de la estrella. Una opción para explicar lo sucedido era adaptar la propuesta de Maestlin: la estrella debía estar en la parte más externa, es decir, en la esfera inmóvil copernicana, un sitio tan remoto que no hay forma de medir el paralaje estelar. Digges concluyó que la supernova estaba por encima de la órbita de la Luna²⁰⁴ y siguió considerando el modelo de Copérnico como válido.

²⁰³ Westman, *The Copernican Question...*, (2011) p. 269.

²⁰⁴ Westman, *The Copernican Question...*, (2011), p. 272.

Conclusiones

La defensa escolástica de la centralidad e inmovilidad de la Tierra se basaba más bien en objeciones físicas y escriturales y no en las de tipo astronómico ya que los oponentes al sistema copernicano le concedieron una solidez astronómica al mismo. Aristóteles aseguraba que la Tierra no se mueve pues su pesadez la obliga a descansar en el centro por ser el lugar más bajo en el universo. Teólogos escolásticos aristotélicos como Cesalpino y Tomás White defendían que la Tierra estaba fija y aseguraron que el movimiento de la Tierra propuesto por Copérnico, el cual explicaba los movimientos celestes de precesión y trepidación, se debía a fuerzas externas como al aire. Belluto y Mastrius rechazaron que el aire pudiera mover a la Tierra.

Se tomó a la centralidad de la Tierra como independiente de su inmovilidad. Las discusiones respecto a su centralidad giraban en torno a considerar tres tipos de centro: el geométrico, el de gravedad y el de magnitud. Aversa afirmó que si la Tierra fuera una esfera homogénea, entonces su centro de gravedad es el mismo que su centro de magnitud; pero si fuese una esfera heterogénea ambos centros no coincidirían.

Copérnico consideró al agregado de la tierra y el agua como una sola esfera en la que el centro de gravedad coincide con el de magnitud, pero son distintos al centro del mundo. Bajo esta idea Burgos y Buridan, aunque por diferentes razones, creían que el centro de gravedad del agua era diferente del centro de gravedad de la tierra. Además, Buridan creía que el centro de gravedad de la Tierra coincide con el centro del mundo. Por su parte, Alberto de Sajonia aseguró que el centro geométrico del mundo era diferente del centro de gravedad de la Tierra, pero es igual al centro de todo el agregado de agua y tierra y éste último era el centro del mundo. D'Ailly difirió de esta opinión y afirmó que ni el centro de gravedad ni el centro de magnitud están en el centro del mundo y además el centro de gravedad del agregado de agua y tierra es el centro del mundo. También creyó que los centros de magnitud y gravedad de la tierra son distintos a los centros del agua respectivos.

Aversa, Cornäus, Mastrius y Belluto pensaban que la tierra y el agua son un solo globo, al cual se nombró "el globo terráqueo". Para Amicus la tierra y el agua tenían el mismo centro. Clavio consideró que el centro del universo y el centro de gravedad y el de magnitud terrestres coincidían. En cambio, Aversa y Cornaus creyeron que los centros de magnitud y de gravedad de tierra y agua eran diferentes. Por su parte, d'Ailly afirmaba que el centro de magnitud, el de gravedad y el del universo eran el mismo.

Copérnico afirmó que el movimiento común es un movimiento de caída y subida de los cuerpos en el universo, y es el resultado de una composición de un movimiento recto y otro circular. Tycho, entre otros, estaba en desacuerdo con esto, pues de ser así los cuatro elementos compartirían el movimiento rotacional de la Tierra, lo cual contradice la idea aristotélica de que los cuatro elementos siguen un movimiento rectilíneo. Para defender la inmovilidad de la Tierra, Mastrius, Belluto y Riccioli dieron argumentos respecto al movimiento de objetos en reposo dentro de un barco o arrojados desde el mástil del mismo, mientras que éste no se movía y mientras navegaba. Tales argumentos se basaban en que los cuerpos caen con un movimiento uniformemente acelerado. Riccioli recurrió también a un ejemplo en el que se lanzan balas de cañón hacia los puntos cardinales. En él usó la idea del movimiento común. Tycho calculó el movimiento neto de una bala de cañón, pero Kepler estuvo en desacuerdo con él.

Por otra parte, la postura de Lutero respecto a separar la filosofía griega de la teología y excluir las ideas aristotélicas, despejó el camino para que Melanchthon aportara a la filosofía natural la inclusión de un modelo físico, creando así a la filosofía natural luterana, hecho que permitió una reforma humanista en la educación de la universidad de Wittenberg, la cual se extendió a todas las demás universidades alemanas. Melanchthon no aceptó del todo la propuesta del copernicanismo debido a que contradecía la física de Aristóteles y a que no había suficiente evidencia observacional que la apoyara. Sin embargo reconoció que ésta predecía con mayor precisión el movimiento y la posición de los planetas que las propuestas anteriores a él. Por ello permitió que las ideas copernicanas siguieran siendo utilizadas y discutidas pese a que su tesis principal no era aceptada. De hecho, ese rechazo al heliocentrismo no se debió a que contradecía a las Sagradas Escrituras sino más bien al conflicto con Aristóteles planteado por Melanchthon, considerado una autoridad en cuestiones de física. De este modo algunos de los estudiantes de la universidad de Wittenberg ayudaron a dar prestigio al copernicanismo. Tal fue el caso de Rheticus, Reinhold, Peucer y Kepler. Rheticus, además de haber escrito la *Narratio Prima*, defendió que había una conexión entre los movimientos de la Tierra y los fenómenos celestes.

Digges fue el primero en exponer en inglés el sistema copernicano, pero descartó la idea de la esfera de las estrellas fijas, y en su lugar propuso que había infinidad de estrellas a diferentes distancias. Tanto Maestlin como Digges se basaron en las ideas de Copérnico para analizar la posición del cometa de 1577 y de la nova de 1572 respectivamente a partir del tamaño del universo copernicano o del movimiento de la Tierra. Maestlin estableció que sólo el ordenamiento de Mercurio propuesto por Copérnico se ajustaba a la posición del cometa y que éste debía estar en la parte más externa, es decir, en la esfera inmóvil copernicana, un sitio

tan remoto que no hay forma de medir el paralaje estelar. Digges aplicó ese mismo argumento a la nova e indicó que se situaba por encima de la órbita de la Luna.

Kepler se interesó en encontrar las distancias de cada uno de los seis planetas al Sol y para ello los acomodó, como la propuesta de Copérnico lo decía, en esferas concéntricas, unas anidadas dentro de otras, e hizo un modelo en el que cada una estuviera en el interior de los poliedros perfectos descritos por Euclides.

Pero no todo fue un constante avance en lo que se refiere a la aceptación del copernicanismo en los primeros 70 años de la publicación del *De Revolutionibus*. Como muestra está el caso de Giordano Bruno, quien defendió la propuesta copernicana en Inglaterra, solo para verse rechazado por los intelectuales que en dicha isla no estaban convencidos de la nueva propuesta, y mucho menos quienes escucharon los argumentos de Bruno en su favor debido a la manera tan confusa en que aparentemente éste los presentaba. Para entender esta situación le basta al lector con leer la defensa del copernicanismo que Bruno presenta en la Cena de las Cenizas (1584). Eventualmente Bruno moriría en manos de la Inquisición por, entre otras cosas, defender el copernicanismo.

Conclusiones finales

La gran influencia del aristotelismo y de los dogmas religiosos sobre el desarrollo de la ciencia provocó que los astrónomos tuvieran que apegarse a ambos tipos de propuestas, inclinándose, evidentemente, por la segunda en caso de conflicto. Este curso de desarrollo se reflejó en las limitantes que se impusieron a la evolución del pensamiento astronómico. Afortunadamente, ya desde la antigüedad pensadores como Ptolomeo rompieron los cánones y ofrecieron opciones que enriquecieron y mejoraron los modelos celestes existentes en su época. Llegada la segunda mitad del medioevo los debates entre teólogos y filósofos en torno de las cuestiones de la cosmología escolástica fueron generando la herramienta necesaria para que el geocentrismo dejara de ser la única opción. La construcción de un calendario que pronosticara los fenómenos celestes y a la par concordara con las efemérides requeridas por los teólogos fue un asunto muy complicado de resolver, debido en gran medida a que dependía de la precisión en la toma de datos observacionales que se usarían en los modelos astronómicos, mismos que se podían basar en los movimientos lunares o en los solares, y había que hacerlo sujeto a que se respetara el que la crucifixión de Cristo se festejara en un viernes en que no hubiera Luna llena con el fin de no contradecir las Sagradas Escrituras.

En la búsqueda de un sistema celeste más preciso que el de Ptolomeo Copérnico se vio en la necesidad de cambiar varias hipótesis. Así, vio la conveniencia de descartar el uso de ecuantes, pues si se les mantenía implicaba que un planeta se movía con velocidad uniforme, pero no respecto a su deferente ni a su propio centro, lo cual contradecía la afirmación aristotélica de que los cuerpos celestes debían seguir un movimiento circular uniforme. Por ello, Copérnico sustituyó los ecuantes por epiciclos. Además, explicó el movimiento de traslación de la Tierra, así como sus movimientos de rotación y declinación y colocó a la Luna como su satélite. Los avances de su teoría heliocéntrica pusieron en entredicho la idea aristotélica de movimiento rectilíneo y convocaron el rechazo de astrónomos escolásticos. Tales avances permitieron darle coherencia a investigaciones previas sobre la relación distancia-periodo de los planetas, al fijarlos en relación al Sol, y, al mismo tiempo, demostrar que los periodos de Venus y Mercurio eran menores de un año. Con este nuevo panorama, los tan estudiados movimientos retrógrados de los planetas resultaron obsoletos e inviables. También, se percató de que cuanto mayor era el radio de la órbita de un planeta, más tiempo tardaba en dar una vuelta completa alrededor del Sol. Por ello tuvo que recurrir a colocar al Sol en el centro del universo y a considerar que la Tierra se movía y que sólo era un planeta más.

Con lo anterior Copérnico aportó avances cualitativos al sistema de Ptolomeo porque permitió ubicar a la Tierra en la tercera órbita y otorgarle centralidad al Sol

sin modificar técnicamente el sistema pero tornándolo heliocéntrico. La dimensión del avance copernicano impidió que la misma Iglesia católica lo rechazara en su conjunto, dado que otorgaba continuidad al sistema ptolemaico.

Copérnico postuló la inexistencia de un centro único en el globo celeste, entre las que se encontraba la antigua teoría de Aristarco de Samos, que enunciaba que el centro del universo distaba de encontrarse en nuestro sistema solar. Pero, Copérnico no se arriesgó a distanciarlo mucho del Sol y pretendió su cercanía al mismo.

Ante la propuesta copernicana hubo teólogos aristotélicos que la rechazaron y dieron objeciones físicas y escriturales que atendían cuestiones como las siguientes:

- a) la centralidad de la Tierra analizando los tres tipos de centros que ésta tenía y si coincidían o no entre sí considerando a la Tierra como un globo terráqueo, y
- b) la inmovilidad de la Tierra mediante argumentos físicos basados en el movimiento común y “experimentos” pensados o plausibles como el comportamiento de objetos en un barco y el desplazamiento de balas de cañón según la orientación de las bocas de los cañones.

Sin embargo, también sucedió que gracias a las llamadas reformas de Wittenberg respecto de la filosofía natural hubo varios astrónomos que en lugar de rechazar absolutamente la teoría copernicana utilizaron las partes de ella con las que estaban de acuerdo, lo cual les permitió rescatar la relación entre los problemas de la física con los astronómicos, además de ayudar a que la propuesta de Copérnico fuera más aceptada y estudiada. La mayoría de ellos adoptaron el modelo copernicano para efectuar sus cálculos sin que con ello aceptaran la veracidad o realidad física del modelo. Esta posición, si bien era solo de carácter instrumentalista –pues usaba el modelo de Copérnico como un mero instrumento de cálculo- poco a poco fue derivando en una posición realista, debido tanto a la capacidad de realizar mejores calendarios como a la nueva evidencia que iba generándose a favor del copernicanismo: descubrimiento de las fases de Venus, teoría galileana del movimiento, mejoras en la evidencia observacional producidas por la evolución en la calidad de los telescopios, y finalmente, la instauración de la teoría de movimiento de Newton de cuerpos atraídos por su masa.

Retomando lo asumido en el primer siglo posterior a la publicación del *De Revolutionibus* copernicano se fueron dando cambios relacionados con el copernicanismo que permitieron aumentara su aceptación. Por ejemplo, Digges descartó usar la estrella de las esferas fijas y en su lugar consideró que había

infinidad de estrellas a diferentes distancias, Giordano Bruno creía que se aplican las mismas leyes físicas en la Tierra y en todo el universo, donde este último es eterno e infinito en el espacio y en el tiempo, además de sostener que existía vida con seres inteligentes en otros mundos y de que no existe un sólo centro del universo pues ello depende de donde se halla quien lo observa.

Después, y como prueba definitoria del movimiento de la Tierra alrededor del Sol, Friedrich Wilhelm Bessel encontró que la estrella que hoy se conoce como 61 Cygni tiene un paralaje de 0.314 segundos de arco. Es decir, que aunque muy pequeño, y por ello no detectado previamente, una estrella parecía cambiar de posición respecto del telón de fondo de las estrellas fijas, con lo que se comprobaba que la Tierra cambiaba de posición a lo largo del año.

Así, el sistema copernicano fue siendo cada vez más aceptado y apoyado en Europa. Por ejemplo, en Alemania Kepler lo hizo al comparar los datos observacionales de Tycho Brahe con los modelos de éste y de Copérnico, y tuvo que renunciar a la idea de que las órbitas planetarias eran circulares y encontró que eran elípticas. Además, halló que la variación de la distancia de cada planeta con respecto al Sol conforme éstos avanzan en su trayectoria es la que hace variar su velocidad, de tal forma que los más cercanos al Sol van a una mayor velocidad que los que están más alejados del mismo. En Italia Galileo, usando el telescopio pudo dar argumentos a favor del copernicanismo al observar las montañas de la Luna, similares a las de la Tierra, pudiendo así refutar que ésta era el único cuerpo pesado del universo y por ello estaba inmóvil. También, al ver los satélites de Júpiter pudo probar que hay varios centros de movimiento en el universo. Al observar las manchas solares que se mueven a la par que el Sol y van cambiando evidenció que el universo no es incorruptible. Por otra parte, descartó que las estrellas están fijas al observar las fases de Venus.

A lo largo de esta tesis se presentaron los elementos que permiten entender el largo proceso que debió seguir la humanidad para pasar de una visión geocéntrica del cosmos a una heliocéntrica. Para ello se analizaron las causas que llevaron a una revisión del sistema de Ptolomeo que rigió el pensamiento astronómico desde el siglo II d. C. hasta que el curso propio del estado de la ciencia de las estrellas, la necesidad de establecer un calendario libre de inconsistencias, y el trabajo de una cadena de pensadores convergieron para iniciar lo que se vino a llamar la revolución copernicana. Se presentaron algunos rasgos destacados de la recepción que tuvo el libro de Copérnico entre la comunidad internacional a través de las reacciones y/o innovaciones que la historia ha recogido y que trajeron la fama o la desgracia a sus autores. En las propuestas innovadoras de la teoría copernicana, se observa un espíritu pragmático al innovar y conservar tradiciones para no entrar en un conflicto frontal con los dogmas religiosos y lograr influir en

los astrónomos de su época y de las siguientes generaciones.

Además, el copernicanismo ayudó a que pensadores como Galileo tuvieran una nueva visión de la ciencia, que antes era exclusivamente deductiva, y después pasó a ser una combinación del razonamiento inductivo con la deducción matemática, lo cual es una de las bases más importantes de la llamada ciencia moderna.

Apéndice A

Cosmología escolástica

En este apéndice se analizará la cosmología escolástica²⁰⁵ y las respuestas que ofreció a problemáticas tales como la creación del mundo, si éste es o no eterno, si es infinito o finito, la pluralidad de los mundos, la corruptibilidad de las regiones celestes, la existencia del vacío, las causas del movimiento de los planetas, la existencia y razón de ser del *primum mobile* y las razones que apuntalaron la idea de que la Tierra ocupa el centro del universo. Otros aspectos, como la creación del mundo, o si la materia de que están compuestos los orbes celestes es fluida o compacta, no inciden en la cuestión copernicana y por ello no se incluyen en esta discusión.

A.1 Visión de la cosmología escolástica basada en Aristóteles

En la Edad Media y el Renacimiento hubo una distinción entre el quehacer de los astrónomos y el de los filósofos naturales. Los astrónomos estaban preocupados por la predicción y determinación de las posiciones planetarias y estelares, para lo cual recurrieron a varios mecanismos, algunos reales y otros un tanto imaginados. La geometría y la aritmética fueron sus mayores instrumentos. En contraste, los filósofos naturales, específicamente los cosmólogos, deseaban describir la naturaleza de los cielos y las causas de sus varios movimientos. Esperaban explicar la naturaleza de la sustancia celeste, es decir, determinar si es o no incorruptible e indivisible; si es perfecta por igual en toda su extensión o si es diferente; si sus propiedades son similares a la materia en la región terrestre; qué causaba sus movimientos, etc.

Aristóteles propuso que no existía el vacío en el universo y que había un mundo sublunar (la región terrestre) y otro supralunar claramente diferenciados, y que este último era perfecto. Desde su visión, el cosmos era esférico y finito y en su centro se encontraba la Tierra. A su vez, la Tierra y lo que la rodeaba por debajo de la esfera de la Luna estaba formado por cuatro elementos: tierra, aire, fuego y agua. En su tratado llamado *Física*, Aristóteles indica que cada uno de estos elementos ocupa un lugar determinado por su peso relativo y que además se mueven de forma natural en línea recta (por ejemplo, la tierra hacia abajo y el

²⁰⁵ Los escolásticos explicaban y analizaban textos mediante comentarios sistemáticos y secuenciales o formulando preguntas basándose en un texto específico. Tal método fue aplicado, con algunas variantes, entre los años 1200 y 1700.

fuego hacia arriba) hacia el sitio que les corresponde, para finalmente detenerse ahí, y por ello la Tierra está fija. En cambio, los cielos se mueven de forma natural en trayectorias circulares y sus movimientos son eternos, repitiéndose una y otra vez de manera similar. Además los cuerpos celestes estaban compuestos por un quinto elemento, al cual llamó éter. Al éter lo consideraba superior pues no sufría cambio alguno, salvo el de moverse de lugar debido a su trayectoria circular.

Aristóteles escribió el *De Caelo*, un tratado sobre cosmología que consta de cuatro libros. Los dos primeros libros fueron muy importantes para la cosmología medieval y se refieren a la región celeste, y los últimos dos libros describen el comportamiento de los cuatro elementos en la región terrestre o sublunar.

En el primer libro del *De Caelo* Aristóteles:

- I. Trata sobre el éter celeste y los cinco elementos y sus propiedades, en particular de sus movimientos naturales.
- II. Argumenta que el mundo es finito y es imposible que exista:
 - a) Una pluralidad de mundos. Lo anterior se debía a que si la Tierra es el centro del universo no pueden existir varios centros del universo, y en consecuencia, otros mundos.
 - b) Una región vacía. Según Aristóteles, fuera de la esfera de las estrellas no existe absolutamente nada, ni siquiera el espacio vacío. En el pasado hubo quienes cuestionaban tal idea; por ejemplo, el pitagórico Arquitas (ca. 430 a. C. – ca. 360 a. C.), quien quizás creía que el universo es infinito pero que el cosmos está limitado (pues para Pitágoras lo limitado es positivo y lo ilimitado es negativo) y en consecuencia fuera del cosmos sólo hay un espacio vacío. Arquitas planteó que si pudiera estar en el límite de los cielos, ¿podría estirar su mano o sacar un palo fuera de éste? A ello Aristóteles respondería que no era posible hacerlo pues fuera de los confines del universo no había nada.²⁰⁶
 - c) El tiempo más allá de nuestro mundo.
 - d) Dio argumentos para 'demostrar' que el mundo no tiene principio ni fin, es decir, es ingénito (no se generó), es incorruptible y es indestructible.

En el segundo libro, Aristóteles:

²⁰⁶ Para más detalles ver Schwartzmann, F., *Historia del Universo y Conciencia*, Edit. Lom, (2000), pp. 65-66.

- a) Consideró que la esfera celeste tiene un arriba y un abajo (también un atrás y un adelante), así como lados izquierdo y derecho.
- b) Explicó por qué hay cuerpos que giran más que otros.
- c) Explicó por qué los planetas y estrellas tienen movimientos circulares en el cielo.
- d) Demostró por qué todos los cielos deben ser esféricos y el movimiento de sus partes debe ser circular y uniforme.
- e) Indicó la composición de las estrellas y la causa de los movimientos de cada planeta, donde cada uno es llevado por la esfera en la cual está incrustado.
- f) Desmintió la afirmación de Pitágoras acerca de que el movimiento de los planetas y las estrellas generan algún tipo de música.
- g) Afirmó que los planetas se mueven más lentamente en proporción a su proximidad al exterior de la esfera celeste.
- h) Discutió si las estrellas son esféricas.
- i) Reflexionó sobre si el orden de los planetas se correlaciona con la complejidad de los movimientos planetarios.
- j) Ofreció una discusión sobre la forma de la Tierra, su centralidad, su tamaño y si está fija o se mueve.

Algunos argumentos de Aristóteles sobre la centralidad de la Tierra son que por experiencia común los cuerpos pesados (llamados graves), por ejemplo una piedra, al dejarlos caer lo hacen hacia abajo en línea recta (salvo que fuerzas externas cambien tal trayectoria), mientras que los ligeros lo hacen hacia arriba. Cabe hacer notar que la frase 'un cuerpo pesado (o ligero)' se refería a un nombre dado al mismo y no a un adjetivo de ellos. Refiriéndose a los elementos, la tierra tiende a moverse hacia la Tierra, el fuego lo hace hacia arriba, y en cuanto al aire y al agua lo hacen hacia sitios entre los otros dos elementos. De hecho, como la tierra cae hacia el centro del cosmos esférico, es por ello que permanece inmóvil. La Tierra tiene forma esférica debido a la tendencia natural de los cuerpos pesados a caer tan cerca como puedan hacerlo hacia el centro del cosmos. Además, los seres humanos no podríamos "caer" hacia el exterior de la Tierra debido a que principalmente estamos formados del elemento tierra, el cual tiende a moverse hacia el centro del cosmos.

Por otro lado, el movimiento de los cuerpos celestes no es en línea recta, sino en forma circular, y por ello las estrellas y el Sol se ven de forma repetitiva. Los

movimientos circulares son más perfectos que los rectilíneos pues son periódicos. Debido a que los cuerpos celestes se mueven en forma circular y no rectilínea, como los objetos en la Tierra, los primeros no pueden estar formados por ninguno de los cuatro elementos ni por mezclas de estos, y el causante de ese movimiento circular era un quinto elemento, el éter. Debido a ese movimiento estelar circular el universo es finito y esférico. Además, la distancia de las estrellas a la Tierra no podía ser infinita, pues para que las estrellas se muevan alrededor de la Tierra en un día deberían hacerlo a una velocidad infinita, lo cual es imposible ya que no hay cosa alguna que se mueva con velocidad infinita. No se debía temer a que los cuerpos celestes cayeran sobre los seres humanos pues los primeros no están formados por los cuatro elementos, sino por el éter cuyo movimiento no es rectilíneo, sino circular, y por ello ni se acercan ni se alejan del centro de la Tierra.

Aristóteles pensaba que como el radio de la esfera celeste es mucho mayor que el de la Tierra y el de las esferas en que giran los otros planetas, y debido a que conforme los radios se incrementan la velocidad de giro de las esferas aumenta también de forma proporcional, entonces el cosmos era una esfera inmensa, pero finita, y en cuyo centro estaba la Tierra.

Aristóteles rescató la idea pitagórica de que la finitud es “buena”, mientras que la infinitud es “mala”, lo cual es uno de los puntos débiles en los argumentos que usa para sustentar algunas de sus ideas. Por otro lado, Aristóteles creía que el mundo era finito en el espacio pero infinito en el tiempo, ya que consideraba al mundo como eterno. Es interesante que los atomistas (s. V a. C.) creyeran que los mundos eran infinitos en el espacio pero finitos en el tiempo, pues según su doctrina los mundos se crean y se destruyen una y otra vez. Hay que aclarar que para los atomistas el universo es infinito, y en él hay una cantidad infinita de mundos, donde “un mundo” significa un “cosmos” consistente de un cuerpo central, como la Tierra, junto con otros cuerpos celestes girando alrededor de él. Nuestro cosmos familiar de Tierra, Luna, Sol, planetas y estrellas es un mundo, según los atomistas, pero solo uno más entre una infinidad de mundos.

En los libros tres y cuatro, Aristóteles ofrece lo siguiente:

- a) Indica los elementos terrestres que existen debajo del orbe de la Luna.
- b) Considera el número de elementos, su pesadez o liviandad, sus movimientos. Da la definición de un elemento e indica si los elementos son eternos o se generan.

El *De Caelo* fue muy leído, sobre todo en el siglo XVI, debido a las preguntas y críticas que provocó su contenido, lo cual ayudó posteriormente a las reflexiones y

análisis de astrónomos como Copérnico, Tycho Brahe, Galileo y Kepler en el siglo XVI.

A.2 Otras propuestas a la problemática de la cosmología escolástica

¿El mundo es o no eterno?, ¿el mundo tiene principio o fin?

La ideología cristiana contenida en el primer libro de la *Biblia*, el Génesis, establece que el mundo fue creado por medios divinos, que es único y que eventualmente será destruido. Por otro lado, Aristóteles en el *De Caelo* daba una explicación contradictoria a la anterior: el mundo, es decir, el cosmos completo, no había tenido principio y no tendrá fin, pues el mundo es un todo que no se generó y que no podría destruirse, es único y eterno, sin inicio ni final.

i. ¿El mundo existe gracias a un acto de creación o ha existido con un pasado eterno?

Casi unánimemente los griegos antiguos, incluyendo a Aristóteles, rechazaban la idea de que la materia tuviera un inicio, aunque sí creían que hubo un comienzo del cosmos, en el sentido de un ordenamiento, como tal. Aristóteles en el *De Caelo* aseguró que en la vida diaria se observa que todas las cosas que se generan terminan destruyéndose. Así, este mundo no podría haber sido generado por algún estado anterior a la existencia de la materia, pues de ser así, el estado anterior se hubiera producido y destruido, por lo cual no sería eterno. Además, si se supusiera que nuestro mundo fue generado tendríamos que buscar a su generador y para ello se podría considerar regresar infinitamente generaciones atrás, pero nunca alcanzaríamos el primer comienzo. Además, si el estado previo a la existencia material fuera de duración infinita, entonces no podríamos haber sido alterados al grado de tener un mundo con tantas diferencias.²⁰⁷ Para Aristóteles, la creación a partir de la nada no tenía sentido, al grado de que no la mencionó y mucho menos discutió sobre ella.

Por otra parte, Aristóteles afirmó que cualquier cosa que es generable y destructible, es decir, que está sujeta a ser y no ser, lo es porque posee dos cualidades contrarias, tales como caliente y frío, seco y húmedo, etc. Tales cualidades causarían que esas cosas cambien y se conviertan en otra cosa. Dentro

²⁰⁷ Grant, E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), pp. 63-64.

de nuestro cosmos solo hay una región siempre cambiante, la cual se encuentra debajo de la esfera de la Luna y es la que contiene cualidades contrarias. En cambio, tales cualidades están ausentes en la región celeste, motivo por el cual ella es incorruptible.²⁰⁸ De hecho, el mundo en su conjunto carece de cualidades contrarias que podrían causar que esto pase fuera de la existencia. Unificando estos argumentos, Aristóteles concluyó que el mundo no podría haber tenido un principio, porque no se pudo haber derivado de un estado anterior de la existencia material, y también concluyó que éste no podría tener un fin, ya que el cielo, y de hecho el mundo, no tienen cualidades contrarias que pudieran destruirlos y, así, el mundo es eterno.²⁰⁹

El advenimiento del cristianismo cambió eventualmente las ideas anteriores. Para sus seguidores la materia, y el mundo compuesto de ésta, fueron creados por Dios a partir de la nada *-ex nihilo-* y por ello sí tenía un comienzo.²¹⁰ Por un tiempo los cristianos repudiaron los argumentos acerca de que el mundo no tenía un comienzo. Pero otros autores, entre ellos Juan Filopón, en su *De Aeternitate mundo Contra Proclum* en 529 d. C., en lugar de atacar a los seguidores de esas ideas aristotélicas, defendieron su postura tratando de demostrar que el cosmos debía tener un comienzo, lo cual tuvo un efecto poderoso entre autores cristianos, y posteriormente entre los islámicos.²¹¹

En 1277 sucedió que 219 afirmaciones fueron condenadas por las autoridades parisinas, por plantear situaciones o hechos que ponían en entredicho la doctrina cristiana y en particular la omnipotencia de Dios. Entre las cosas que se condenaban estaba el sostener que el mundo era eterno. Otra prohibición fue respecto al argumento de la igualdad entre el pasado y el futuro, pues si uno era eterno, el otro también debía serlo.

Opiniones como las siguientes fueron condenadas: “la nada es eterna con respecto a su comienzo”²¹², “el mundo es eterno porque tiene una naturaleza por [medio de] la cual podría existir por todo el futuro [ciertamente] teniendo una naturaleza por [medio de la cual] podría haber existido a través de todo el

²⁰⁸ Ibid., p. 64. Para más detalles ver capítulo 10, sección II.1.

²⁰⁹ Ibid., p. 64.

²¹⁰ Para una discusión breve del desarrollo del concepto de la creación a partir de la nada ver Grant, E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), capítulo 5, sección II.

²¹¹ Sorabji, R. *Time, creation and the continuum: theories in antiquity and the early middle ages* (1983), p. 198.

²¹² Grant E., *A Source Book in Medieval Science*, (1974), p. 48.

pasado”.²¹³ Según el filósofo Siger de Brabante (1240-1285), Aristóteles creía que el intelecto o la razón existirán en el alma a través de un futuro eterno y por eso deberían también haber existido a través de un pasado eterno pues “cada cosa será eterna en el futuro y [también] fue eterna en el pasado y a la inversa”.²¹⁴

Otras afirmaciones condenadas (5,31, 72 y 80) suponían que ciertas sustancias creadas inmateriales o separadas, como el intelecto humano o la inteligencia celeste, eran eternas debido a la inmutabilidad del ser que las creó. Por ejemplo, se condenaron opiniones como: “el intelecto humano es eterno pues siempre permanece constante” y “las sustancias están separadas debido a que antes no había materia que las mantuviera potencialmente unidas y a que siempre están en el mismo estado y por ello son eternas”.²¹⁵ Siger aclaró en su tratado llamado *De la eternidad del mundo* que afirmaciones como las anteriores estaban en contra de la fe cristiana y que sólo las mencionó para presentar la verdadera opinión de Aristóteles.

Un ejemplo más de una opinión condenada es: “el tiempo es infinito con respecto a cada extremo [es decir, el pasado y el futuro]. Aunque sería imposible que el infinito hubiera sido recorrido, pues para ello se debió realizar un recorrido [en un tiempo finito], sin embargo es imposible que el infinito pudiera recorrerse sin haberlo recorrido [en un tiempo finito]”. Esto se sigue de algo tan obvio como que una magnitud infinita (en este caso el propio tiempo) debe ser recorrida en un tiempo infinito.²¹⁶

ii. La defensa de Belluto sobre la creación temporal y su rechazo a la creación eterna

Bonaventura Belluto (ca. 1596-1676) estaba en contra de la eternidad y a favor de que hubo un comienzo del mundo. Argumentó que si el mundo no tenía comienzo, entonces un número infinito de revoluciones celestes habrían ocurrido hasta el presente. Pero un número infinito de revoluciones no podrían ser recorridas y por lo tanto la revolución actual no podría haber sido alcanzada. Belluto anticipó las objeciones: si se argumentaba que un número infinito de revoluciones no había sido recorrido dado que no había habido una primera revolución, entonces o una revolución en particular precedió infinitamente a las

²¹³ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 65.

²¹⁴ Ibid.

²¹⁵ Ibid., p. 66.

²¹⁶ Ibid.

revoluciones actuales o no hubo tal revolución. Si no hubo alguna que las precediera infinitamente, entonces todas las revoluciones pasadas, si bien lejanas a las recientes, son un número finito de revoluciones pero, pese al gran número de éstas, el mundo debería tener un comienzo. Pero si se hubiera dado una revolución particular infinitamente distante, Belluto preguntaba “si la revolución inmediatamente siguiente era infinitamente distante. Si no, entonces ninguna era la primera (infinitamente) lejana pues hay una distancia finita entre ambas. Pero, si ésta (es decir, la inmediatamente siguiente) es infinitamente distante, entonces hay que preguntar de una forma similar a la anterior respecto a la tercera, la cuarta y así hasta el infinito. Por lo tanto, una es más distante que la otra desde este presente, una no es antes que la otra y por ello todas son simultáneas”, lo cual es una consecuencia absurda.²¹⁷

Belluto insistió en que si un número infinito de revoluciones ocurriera en el presente – aunque el enunciado resulta por demás ambiguo-, entonces todas las revoluciones adicionales tendrían que ser añadidas a éste. Pero añadir un infinito a otro infinito no puede hacerlo más grande, porque “nada es mayor que el infinito”. Para ilustrar lo absurdo del infinito, Belluto comparó las revoluciones del Sol y de la Luna en un mundo que tenía un pasado infinito. “Si la Luna lleva a cabo doce veces más revoluciones que el Sol, por lo tanto la infinitud de la Luna es mayor que la del Sol, lo cual es imposible”.²¹⁸ Por ello Belluto y muchos agustinos rechazaron la idea de un mundo eterno cuyo tiempo pasado fuese infinito y con distancias por recorrer infinitas.

Una de las respuestas dadas a los argumentos de Belluto es la que se refiere al recorrido de una distancia infinita que asegura que en el inicio del universo no pudo haber un primer día desde el cual se hicieran las mediciones. Y entonces, no podía suponerse que una sucesión infinita de días haya intervenido en el presente y mucho menos que hayan sido añadidos más días indefinidamente. También esto puede hacerse a la inversa. Puede imaginarse que atrás en el tiempo hubo una sucesión infinita de días, pues no hay un primer día para detener la secuencia. La justificación de esta explicación se basa en el concepto de infinito potencial, el cual se describirá más adelante.

Otro ejemplo de contra argumentos hechos a los de Belluto es presentado en 1344 por Gregorio de Rimini en sus cursos sobre las *Sentencias* en París, al mostrar que un infinito podía ser mayor que otro o funcionar como un todo con respecto a otra multitud de infinitos. En sus escritos se puede percibir el concepto

²¹⁷ Ibid., p. 67.

²¹⁸ Ibid., p. 68.

de conjunto infinito y de subconjuntos infinitos, como es el caso de la infinidad de revoluciones de la Luna con respecto a las del Sol.²¹⁹

Otra propuesta de solución fue el argumento de Averroës (1126 d. C.-1198 d. C.) que indica que aunque el Sol llevara a cabo treinta revoluciones anuales por cada una de Saturno, ello no significaba que si el mundo fuera eterno la distancia infinita recorrida por el Sol debería ser treinta veces la distancia infinita recorrida por Saturno. De hecho, no hay relación alguna entre ellas, pues no son una totalidad sino solo infinitos potenciales, es decir, “ellos no tienen principio ni fin”.²²⁰ Tales entidades indefinidas no son comparables, aunque sus partes finitas lo sean.

Algunos escolásticos del siglo XIV, como Nicolás Oresme (ca. 1323-1382) y Alberto de Sajonia (ca. 1316-1390) rechazaron que el infinito pudiera ser comparado usando las nociones de “igual”, “mayor que” o “menor que”. Juan Buridan (ca. 1300 – ca.1358) también negó la comparabilidad de los infinitos. Como una posible respuesta a Belluto, Buridan mencionó el argumento de quienes rechazan la posibilidad de un tiempo infinito pues ello conduce a que un infinito podría ser el doble o más veces mayor que otro. Citó las revoluciones del Sol y Marte sobre un tiempo pasado infinito. Entonces, como el Sol lleva a cabo dos revoluciones por cada una de Marte, en un tiempo pasado infinito el Sol debió haber hecho el doble de revoluciones de las de Marte. En consecuencia, un infinito debía ser el doble o mayor que el otro, lo cual es absurdo.²²¹ Buridan respondió a ese reclamo observando que “no hay más partes en el mundo entero que en una semilla de mijo. Y así, el recorrido de una infinidad de días no excede el recorrido de una infinidad de años; sin embargo, si se toma un gran tiempo finito, los días serán proporcionales a los años y también las revoluciones de la Luna a las del Sol”.²²²

Quienes estaban en desacuerdo con los argumentos de Belluto y creían en la posibilidad de un tiempo pasado infinito o de un movimiento de duración infinita recurrieron a la distinción de Aristóteles entre un “infinito real (el actual)” y un “infinito potencial”. Aristóteles rechazó la existencia de infinitos reales. De hecho no había números o magnitudes infinitos. Pero, el infinito podía existir. Aristóteles declaró: “el infinito tiene su forma de existir: una cosa siempre es tomada de la

²¹⁹ Ibid.

²²⁰ Ibid., p. 69.

²²¹ Ibid.

²²² Ibid.

otra y cada cosa que es tomada siempre es finita pero siempre es diferente”.²²³ Richard Sorabji explicó que Aristóteles criticó a sus predecesores porque “opinaron que el infinito es algo global y no tiene nada en su exterior. Pero la situación es la opuesta: el infinito siempre tiene algo en su exterior”²²⁴.

En la Edad Media el infinito real (llamado infinito categoremático) de Aristóteles fue descrito como una cantidad “tan grande que no podría ser mayor”, mientras que el infinito potencial (llamado infinito sincategoremático) fue descrito como una cantidad “no tan grande que no pudiera ser mayor”.²²⁵ Buridan mostró cómo esos elementos podían permitir un movimiento y tiempo potencialmente eternos.

iii. La reconciliación filosófica y religiosa de la creación y la eternidad

Algunos escolásticos del siglo XIII, como Tomás de Aquino (ca.1224-1274) y Godofredo de Fontaines (ca. 1250-1309), estaban convencidos de que ni la creación ni la eternidad del mundo eran proposiciones demostrables y que cada una era igualmente probable. Tomás dijo “que el mundo tenga un inicio es un acto de fe... no de demostración o ciencia”.²²⁶ Aunque el tiempo, el movimiento y otras entidades pudieran ser eternos, ¿cómo podría esto conciliarse con el dogma cristiano de una creación divina?

Al menos hubo tres ideas que admitían tanto la creación del mundo como la eternidad del mismo:

La primera idea supone la eternidad de la materia de la cual el mundo está constituido, pero permitiendo que en su configuración presente el mundo haya sido “creado” a partir de una configuración previa. Esta idea estaba en contra de la idea cristiana que afirma que los elementos son eternos aunque fueron creados de forma divina en generaciones previas al caos, y por ello fue condenada en dos artículos en 1277.²²⁷

²²³ Ibid., p. 69.

²²⁴ Ibid.

²²⁵ Ibid., p. 70.

²²⁶ Ibid.

²²⁷ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p.71. El artículo 107 dice: “Que los elementos son eternos. Sin embargo, ellos han sido hechos [o creados] nuevamente en la relación que ahora tienen”. El artículo 202 dice: “que los elementos han sido creados en una generación previa al caos pero son eternos”.

Una segunda suposición es que el tiempo empezó cuando Dios creó el primer movimiento, y que la eternidad es equivalente a la duración completa del tiempo. Así, según el teólogo Alejandro de Hales (ca.1185 -1245), “el mundo es eterno en el sentido de que su movimiento es acorde a la duración total del tiempo, el cual tiene un inicio pero no un fin debido a que su existencia es a partir del acto del Creador”.²²⁸ O, como Roger Bacon (ca.1214-1294) expresó, si uno entiende la ‘eternidad’ como la extensión completa del tiempo desde el inicio del movimiento del cielo, el cual pudo haber sido infinito por razones vinculadas con la divinidad, se puede plantear que el mundo es eterno porque no hay un tiempo en el cual no hubiese movimiento, como él [Aristóteles] lo argumentó en su libro 8 de la *Física*.²²⁹ Pero el verdadero problema de la eternidad del mundo se centra en la posibilidad de un comienzo del mundo, no en un mundo en el cual el tiempo empieza con la creación y se supone que existe desde entonces y con un futuro eterno.

Históricamente, la tercera idea fue la más importante. Pese a que no hay prueba demostrativa de un comienzo del mundo, ello no significa que el mundo no haya sido creado. Tomás de Aquino argumentó que Dios pudo haber deseado la existencia de criaturas –por lo tanto del mundo- sin un inicio temporal. Es decir, una cosa puede haber sido creada por Dios y no existir eternamente. Tomás declaró que “algo podía haber sido hecho por Dios, y sin embargo, no haber existido desde antes y ello no conlleva a una contradicción lógica”.²³⁰

“Dios puede hacer esto pues produce instantáneamente el efecto, y por ello puede crear un mundo que exista eternamente”.²³¹ Pero el mundo mutable es totalmente dependiente de un Dios inmutable, y ello garantiza que el primero no sea igual al segundo. Salvo alguna excepción, ningún artículo condenado en 1277 criticó específicamente este punto de vista.²³²

Pese a las críticas planteadas en 1277 a la posibilidad de vivir en un mundo eterno, y como no había una contradicción lógica, durante la Edad Media y el Renacimiento muchos aceptaron que el mundo existía desde siempre y también

²²⁸ Ibid.

²²⁹ Ibid.

²³⁰ Esto lo declaró en su tratado *De la Eternidad del mundo (De Aeternitate Mundi)*. Ver Ibid.

²³¹ Ibid., pp. 71-72.

²³² Ibid., p. 72. La posible excepción aparece en la primera parte del artículo 99 donde se condena el siguiente punto de vista “Que el mundo haya sido hecho de la nada no significa que haya sido hecho nuevamente”. Lo anterior puede suceder sólo si la creación es eterna.

que había sido creado. Tomás creía que aunque la creación de un universo eterno fuese posible, no necesariamente había una causa que precediera su efecto, y tal idea fue aceptada por varios autores escolásticos, incluidos Marsilio de Inghen (1330-1396), y esto se extendió hasta incluir a Galileo (1564-1642),²³³ los jesuitas de la universidad de Coimbra, llamados los conimbricenses, como Francisco de Oviedo (1602-1651) y otros. Los autores escolásticos, además de discutir si el mundo había existido desde la eternidad siguieron planteando preguntas que sugerían la posibilidad de que el mundo fuera eterno. Por ejemplo, si la generación de los humanos y de otras criaturas pudo suceder en un pasado eterno, o si el movimiento, el tiempo y otras cosas sucesivas pudieron haber existido desde la eternidad.

Marsilio de Inghen fue más allá que Tomás, al defender el punto de vista de Aristóteles sobre que el mundo y el movimiento son eternos. Lo hizo mediante ocho argumentos en los que supone que la fuerza motriz, Dios, es absolutamente inmutable. A continuación se resumen solo tres de los ocho argumentos dados por Marsilio para justificar la eternidad:

El primer argumento supone que Dios pudo o no crear el mundo a partir de la eternidad. En el primer caso, si Dios deseó crearlo a partir de la eternidad, por lo tanto no lo creó de nuevo. En el segundo caso, si Dios no deseó crear el mundo a partir de la eternidad, sino que deseó hacerlo después y lo hizo, sucede que Dios cambió de no desear crear el mundo a desear crearlo. Pero ello contradice la hipótesis de que Dios es inmutable. Sin embargo, podría decirse que él no pudo crear el mundo a partir de la eternidad, pero después pudo hacerlo, y por ello Dios sufrió una mutación.²³⁴ Por tal argumento, es más probable que Dios creara el mundo a partir de la eternidad.

En el quinto argumento Marsilio dijo que si el mundo y el movimiento fueron creados, es decir, empezaron de nuevo, entonces es correcto decir que el mundo y el movimiento existen “ahora” pero, no existieron antes. Sin embargo, el término

²³³ Ibid. Galileo fue ambiguo en su tratamiento del problema. Dios quien “ha sido omnipotente desde la eternidad”, pudo haber deseado la existencia de un universo por toda la eternidad, aunque bajo esas circunstancias el mundo pudo no haber poseído la perfección en el mismo sentido de que la eternidad de Dios es una perfección. Ello lleva a que la perfección temporal del mundo “debía... ser siempre dependiente de la duración divina”. Galileo supo de la salida que daba Tomás a este asunto y argumentó que con respecto a las criaturas en sí mismas que sí son “corruptibles o incorruptibles, permanentes o sucesivas, es imposible que el universo pueda existir por una eternidad”. ¿Por qué? Porque Dios, quien creó el mundo de la nada, debió haberlo precedido en su duración. “Dado que hay eternidad en Dios, sin embargo ello implica [una contradicción para hacerlo coeterno con las criaturas]”. Así, Galileo abandonó la idea de que Dios no necesitara temporalmente preceder a algún efecto que él creara.

²³⁴ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 73.

“antes” refleja una diferencia en el tiempo. Por lo tanto antes de este “ahora” el tiempo existió y en consecuencia, el movimiento (quizás porque en términos tanto platónicos como aristotélicos, el tiempo y el movimiento están íntimamente relacionados). Por ello el primer movimiento asociado con la creación del mundo no fue el primer movimiento.

El séptimo argumento apela a la prioridad de algo con respecto a su naturaleza. El mundo pudo existir desde la eternidad debido a que si algo, por su propia naturaleza, es anterior a otra cosa, ello no implica que por lo tanto éste debió existir sin que existiera la otra cosa a la que es anterior en la naturaleza. Pero como se supuso que Dios es eterno y que el mundo había sido creado, es necesario que Dios estuviera antes de la existencia del mundo. Por lo tanto Dios estaba antes del mundo con respecto a la naturaleza y por ello debe ser anterior al tiempo. Pero ello no sucede así, porque el Sol es anterior a su luz con respecto a la naturaleza y ello no implica que el Sol exista sin su luz. Por lo tanto no es tan evidente que Dios deba existir antes de lo que él crea.

Marsilio creyó en argumentos como los anteriores pues los basaba en principios que consideraba naturales, los cuales eran más probables que argumentos sustentados en el comienzo del mundo. Además, estos principios no eran contrarios a la fe cristiana y ello permitía reconciliar a ésta con los argumentos aristotélicos.

Johannes Versor (¿?- ca. 1485) hizo una distinción importante entre filósofos y teólogos. Explicó que ambos grupos aceptaban que Dios creó los cielos por un simple flujo de sí mismo, más que por una serie de movimientos sucesivos. Pero entre ellos difirieron en la cuestión de cómo inició el mundo. Los filósofos, por lo general, defendían que Dios creó los cielos, y por lo tanto el mundo, coeterno consigo mismo, mientras que los teólogos coincidían en que “los cielos fueron producidos en algún inicio determinado del tiempo”.²³⁵ En realidad, Versor malinterpretó a los filósofos que sólo creían como probable el que el mundo fuese coeterno con Dios.

Varios autores buscaban la reconciliación entre los escolásticos que coincidían con la ideología aristotélica en que el mundo es eterno, y que es un ente no creado ni generado, y quienes aceptaban, a través de la fe, la creación sobrenatural (divina) del mundo.

²³⁵ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 74.

Buridan argumentó ²³⁶ que según la fe, los cielos, y por lo tanto el mundo, fueron creados sobrenaturalmente y podían ser destruidos de la misma forma. Pero el análisis lógico de la región celeste indica que los cielos no pudieron haber sido generados por medios naturales no corruptibles. Nicolás Oresme declaró algo similar: “naturalmente hablando” los cielos no pudieron haber sido generados pues “no es obvio porqué los agentes generados pudieran crearse ni de qué materia ni a partir] de qué alteración, ni de qué manera ello podía suceder”.²³⁷ En términos generales el mundo debería ser eterno, pero al ser creado por Dios no hubo entonces un movimiento eterno.

Johannes Versor concluyó que el mundo no fue generado y que era incorruptible. Es no generado porque “Aristóteles entendía por generación a la generación física, la cual presupone que la materia física está sujeta a la privación y a la alteración”.²³⁸ Desde este punto de vista Versor argumenta la noción de que un mundo no generado no está contrapuesto a la fe pues la fe supone una concepción distinta a la concepción de la generación que tuvo Aristóteles. Donde Aristóteles supone una generación a partir de la materia preexistente, la fe decreta la generación o creación de cosas y el mundo en sí mismo a partir de la nada.

iv. ¿El mundo es infinito o finito?

Para Aristóteles no podían existir los cuerpos infinitos y por lo tanto el mundo es finito. Por otro lado, los escolásticos medievales estudiaban el infinito según dos opciones:

- a) Los ‘finitistas’, como Aristóteles, suponían solo un infinito sincategoremático, es decir, un infinito potencial como el de los números, donde para un número entero dado siempre hay otro más grande que él.
- b) Los ‘infinitistas’ creían en la existencia de una magnitud o cantidad infinita mayor que cualquier magnitud finita susceptible de existencia, es decir, un infinito categoremático, el cual no es un concepto contradictorio y por tanto es posible que exista.²³⁹

El problema de la existencia de un infinito real se vincula con la idea de si se apoya o no que el mundo es finito y si tiene un aspecto natural y otro de carácter

²³⁶ Ibid., p. 76.

²³⁷ En su *Quaestiones Super Aristotelis de Caelo et Mundo*. Ver Ibid.

²³⁸ Ibid.

²³⁹ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs*, (1996), p. 81.

teológico. En cuanto al mundo natural, Aristóteles estaba en desacuerdo con que el mundo físico fuera infinito argumentando que un cuerpo infinito no podía existir pues violaría muchos principios físicos. Desde el punto de vista de la teología, para los cristianos, Dios tiene la habilidad de crear un cuerpo o magnitud infinita real pues posee un poder absoluto.

Los únicos infinitos reales aceptados durante la Edad Media fueron la fuerza infinita de Dios y su inmensidad, omnipresente e infinita. Así, los infinitistas no creían que existieran magnitudes o cuerpos reales infinitos independientes de Dios o creados por él. Querían mostrar que Dios podía crear tales infinitos si así lo deseaba y, a la vez, justificar que la existencia de magnitudes o cuerpos reales infinitos, o de una multitud de infinitos, era un concepto de la inteligencia sin contradicción.²⁴⁰ Esto intentaban lograrlo mediante un análisis lógico para exhibir las condiciones bajo las cuales podría existir un infinito real. En tal proceso tuvieron que examinar términos como “mayor”, “menor”, “el todo” y “sus partes”.

En particular, Gregorio de Rimini (ca. 1300 d. C. -1358 d. C.) hizo ver que “una multitud infinita puede ser parte de otra multitud infinita”.²⁴¹ Se hicieron numerosas ilustraciones que trataban de construir infinitos reales imaginarios que frecuentemente se referían a divisibilidades infinitas y conglomerados imaginarios de esas partes. Por ejemplo, Dios podría hacer un cuerpo infinito en una hora creando y conservando un pie de tal cuerpo en cada parte proporcional de esa hora “Y debido a que hay partes proporcionales infinitas en esa hora”²⁴², en consecuencia, al final de ese periodo existirán una infinidad de pies de ese cuerpo, por lo cual un cuerpo infinito habría sido constituido”.²⁴³

Se trató de debilitar la confianza de los argumentos aristotélicos que estuvieran en contra de los infinitos reales, los infinitos en acto, calificándolos de

²⁴⁰ Ibid., p. 107. Duhem explica al respecto que las objeciones contra la posibilidad del infinito categoremático eran comunes en las escuelas. Se deducían conclusiones del siguiente tipo: uno puede añadir algo al infinito; eso puede ser algo más grande que el infinito; un infinito puede ser múltiplo de otro, etc. Si se considera que esas conclusiones son absurdas, entonces la posibilidad de un infinito categoremático es contradictoria.

²⁴¹ Ibid.

²⁴² Ibid. Es decir, que dicho intervalo se puede dividir en un número infinito de partes, adaptando cualquiera de las posibles divisiones proporcionales que uno decida.

²⁴³ Ibid. El ejemplo es de Buridan. Él y Alberto de Sajonia objetaron este argumento porque la última parte proporcional de una hora no podía ser asignada y por lo tanto no podía serlo el último pie del cuerpo. Como Duhem lo explica, “Cuando uno divide al infinito, por medio cualquier proceso, no hay etapas en las que se pueda declarar que son todas las partes de su magnitud”. Por consiguiente, el infinito no puede ser concretado de forma materializable pues no todas las partes pueden ser materializables en el acto. Éste es un infinito sincategoremático.

argumentos “no demostrativos”. Así Marsilio de Inghen mostró el argumento de Aristóteles en que un cuerpo infinito real necesariamente estaba compuesto de elementos o de una mezcla de elementos y que uno de los componentes de los cuerpos, en consecuencia debía ser infinito, y según Aristóteles podían corromperse o destruirse otros elementos o componentes.²⁴⁴ Para contraargumentar a Aristóteles, Marsilio apeló a la ‘experiencia’ y argumentó que si el hierro fuese calentado al rojo vivo y luego apagado en el mar, el hierro no se enfriaría más rápidamente que si se le colocara en el río Sena, pese a que el mar tiene mucha más ‘fuerza’ o materia que el Sena. El mismo argumento se puede aplicar a la esfera de fuego, la cual es diez veces más grande que el total de los otros tres elementos. Si el fuego actúa con toda su fuerza en los otros elementos, éste podría destruirlos, pero vemos que eso no sucede. De ese y otros argumentos Marsilio infiere que los argumentos de Aristóteles sobre el efecto corruptivo inmediato de un infinito real en sus partes componentes son inválidos, y ello da más credibilidad a la idea de un cuerpo infinito real.²⁴⁵

Pese al gran interés en la posibilidad de un infinito real no había argumentos sobre la existencia de un cuerpo infinito en la realidad, seguramente porque ello implicaría abandonar la física y la cosmología aristotélicas. De hecho, hubo muchos que defendieron los argumentos de Aristóteles contra la existencia o idea de un cuerpo infinito real y a favor de que se vive en un mundo finito. Aristóteles indicó los absurdos que habría con respecto al movimiento si el mundo fuera infinito. Por ejemplo “en general, donde no hay centro ni circunferencia [como sucedería en un cuerpo o mundo infinito] y no se puede apuntar a una dirección como arriba o abajo, los cuerpos no tienen un lugar como meta para su movimiento. Y si se carece de él, entonces no puede haber movimiento; el movimiento debe ser natural o antinatural y esos términos están definidos en relación con los lugares, es decir, uno es apropiado y otro es ajeno al cuerpo”.²⁴⁶ Un cuerpo infinito debería tener un peso infinito, lo cual es imposible debido a que ese cuerpo debería moverse instantáneamente. Pero aún si éste se moviera en un tiempo mínimo sucedería que el tiempo de su movimiento debería corresponder a una razón finita respecto del tiempo de movimiento de un cuerpo finito. “Así que el infinito se habría movido la misma distancia en el mismo tiempo que el finito, lo cual es imposible”.²⁴⁷

²⁴⁴ Ibid., pp. 107-108.

²⁴⁵ Ibid, p. 108.

²⁴⁶ Primer libro del *De caelo*, ver Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 108.

²⁴⁷ Ibid. Par ver más argumentos consultar *ibid.*, pp. 108-109.

Pocos defendieron a Aristóteles con tanta vehemencia como Buridan, quien consideró la posibilidad de un cuerpo infinito real en dos de sus escritos, *Preguntas sobre el De caelo* y *Preguntas sobre la Física*. Para apoyar el rechazo de Aristóteles respecto a que un cuerpo que se mueve con un movimiento circular podría ser infinito, Buridan explicó que un cuerpo que se mueve con un movimiento circular debe tener un centro (debido a su movimiento circular), pero si se acepta la hipótesis de la infinitud entonces no tiene un centro (porque un cuerpo infinito no puede tener centro), por lo que resulta contradictorio.²⁴⁸ Otro argumento sería suponer que un cuerpo infinito se mueve con un movimiento circular, por lo que podría dar una vuelta completa en un tiempo finito. La contradicción se da a partir de que un cuerpo infinito atraviesa un espacio o distancia infinita en un tiempo finito.²⁴⁹ Buridan también consideró las consecuencias de un movimiento rectilíneo para un cuerpo infinito y concluyó que tal movimiento es imposible porque un cuerpo infinito debe moverse desde un lugar infinito hasta otro lugar infinito fuera de éste, y entonces requiere la existencia de muchos otros lugares infinitos, lo cual es absurdo.²⁵⁰ Johannes de Magistris añadió otro enfoque, observando que si un cuerpo se movía en forma rectilínea y se suponía que podía ser infinito, también debería serlo una fuente situada en su exterior. En el primer caso podría ser un animal viviente, lo cual es imposible; si es el segundo caso, el movimiento exterior también debe ser infinito y entonces habría dos infinitos, el que se mueve y el que lo mueve.²⁵¹

A finales del siglo XVI, respecto de la pregunta de “si por su poder divino Dios puede producir un infinito real”, los jesuitas de Coimbra declararon que “en esa controversia difícil es preferible aceptar la parte negativa [es decir, que Dios no puede crear un infinito real], porque ello promueve los mejores argumentos y porque los más reconocidos filósofos lo han aceptado”.²⁵² Pero también añadieron una importante restricción a la aseveración de que “Sin embargo, la parte afirmativa [que Dios puede crear un infinito real] también es posible y no es indigna de apoyarse, especialmente porque no hay un [solo] argumento que pueda refutarlo claramente, [por ello] explicamos los argumentos de cada punto

²⁴⁸ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 109.

²⁴⁹ Ibid. En el siglo XV, Johannes Versor parece haber aceptado seis argumentos, lo cuales dice se derivan de Aristóteles, rechazando la idea de que si un cuerpo se mueve en forma circular debe ser necesariamente infinito.

²⁵⁰ Ibid.

²⁵¹ Ibid., p. 110.

²⁵² Ibid., p. 110.

de vista para que cada quién apoye el que desee”.²⁵³ Lo que es un hecho es que desde el siglo XIV hubo apoyos a ambos puntos de vista.²⁵⁴

Buridan indicó que el problema de un infinito real creado divinamente tiene serios problemas teológicos. Explicó que su argumento sobre el movimiento rectilíneo de un cuerpo infinito es relevante sólo para las fuerzas naturales y no para las fuerzas sobrenaturales. En tanto que las condiciones naturales sean las que gobiernan, cada cuerpo que tenga un movimiento rectilíneo debe estar en un lugar, a menos que las fuerzas sobrenaturales dispongan otra cosa. Por otro lado, es contradictorio suponer que un cuerpo infinito puede estar en un lugar, porque la misma noción de lugar presupone que un cuerpo infinito estaría contenido en algún otro cuerpo. Sin un lugar, un cuerpo infinito no podría moverse de un lugar a otro y por lo tanto no podría moverse rectilíneamente. “Pero con respecto al poder divino”, Buridan explicó:²⁵⁵ “está determinado por el obispo de París y la universidad de París que fue un error decir que Dios no podría mover el mundo entero simultáneamente con un movimiento rectilíneo”.²⁵⁶ Buridan admitió que aunque el mundo no es un lugar pues no existe nada más allá de éste que pueda contenerlo, Dios por su fuerza sobrenatural puede hacer que éste se mueva rectilíneamente. La implicación para un cuerpo infinito es obvia, pese a la ausencia de un lugar, Dios puede mover un cuerpo infinito rectilíneamente, de igual manera en la que puede mover nuestro mundo finito.

Respecto a si Dios puede crear un cuerpo o magnitud infinito, Buridan trató la cuestión de “si hay una magnitud infinita”²⁵⁷ de la forma siguiente:

“Es creíble por fe, que más allá de este mundo Dios pudo formar y crear otras esferas y otros mundos y se debe creer absolutamente que creó el número de magnitudes que Él deseó, así que por cada cosa finita creada pudo crear una mayor [o más grande] que fuese el doble de grande o diez veces más grande, o cien veces más grande, etcétera, hasta cierta proporción de una cosa finita a otra”.²⁵⁸

Pero ese razonamiento no puede aplicarse a una magnitud infinita porque, como Buridan explica,

²⁵³ Ibid.

²⁵⁴ En el siglo XIII la habilidad de Dios de crear un infinito real había sido abrumadoramente rechazada.

²⁵⁵ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 110.

²⁵⁶ Artículo 49 de la Condenación de 1277, ver Ibid.

²⁵⁷ Ibid., p. 111

²⁵⁸ Ibid.

“no es necesario creer que Dios pudo crear una magnitud infinita real porque cuando ésta se hubiera creado no se podría crear algo más grande, debido a que es repugnante [o absurdo] que hubiera algo mayor que un infinito real”.²⁵⁹

Buridan creyó ridículo suponer que Dios pudiera hacer algo tan grande que no pudiera hacerlo más grande aún. Tal situación daría lugar a limitar el poder de Dios para hacer algo mayor si él decidía hacerlo. Además, el poder de un infinito real sería igual al poder infinito de Dios. Por ejemplo, si Dios creó un fuego infinito real, el segundo debería ser de una fuerza infinita y por consiguiente no una fuerza menor a la de Dios, lo cual no es posible”.²⁶⁰ Como Buridan solo poseía como grado universitario el de maestro de artes y no tenía un entrenamiento teológico, era vulnerable a la crítica de los teólogos y declaró que accedía a las determinaciones de ellos.

Los infinitistas tenían otro punto de vista. Pedro Hurtado de Mendoza (1578-1641) consideró el argumento de Buridan exagerado: si Dios produjo un infinito real, a partir de ahí su omnipotencia debía ser limitada pues él no podría nunca más producir algo más grande que un infinito real.²⁶¹ Hurtado insistió en que la creación de un infinito real no podía limitar de algún modo la omnipotencia de Dios porque él siempre podría destruir por completo un infinito y recrearlo o crear otro. De hecho, a menos que Dios pudiera crear un infinito real, su omnipotencia siempre estaría limitada a la creación de las criaturas finitas. Así, solo si Dios tuviera el poder para crear un infinito real su omnipotencia podría ser salvada realmente.

John Major (1467-1550) dio argumentos similares para defender la posibilidad de un infinito real. Dios no solo creó un infinito real, sino que éste no era igual en perfección o poder a Dios, y tampoco se oponía a él de alguna forma. Su inferioridad respecto de Dios es evidente por el hecho de que Dios puede corromperlo y destruirlo ya sea instantánea o sucesivamente.²⁶² Por ello este planteamiento no es una amenaza. Pero a diferencia de Hurtado y casi todos los otros infinitistas, Major creyó en un infinito real de mundos. Sin embargo, pocos escolásticos fueron lo suficientemente valientes para seguir la trayectoria de Major y optaron por la no existencia de un infinito real. La mayoría se reservaron

²⁵⁹ Ibid.

²⁶⁰ Ibid.

²⁶¹ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 112.

²⁶² Ibid.

para sí mismos elegir entre la posibilidad o imposibilidad de una magnitud o cuerpo infinito real creado divinamente.

Sin embargo, excepto John Major, Tomás Compton Carleton (1592-1666) y algunos otros, casi todos creían en un mundo finito.²⁶³ Mientras algunos consideraban que un espacio imaginario infinito rodeaba a nuestro mundo finito, ellos no veían al espacio infinito como una creación divina sino como la inmensidad eterna de Dios en sí mismo. Respecto al mundo creado, la mayoría de los filósofos escolásticos, desde la Edad Media hasta el Renacimiento, coincidían con Rafael Aversa (1589-1657) en que “es absolutamente cierto, de acuerdo con Aristóteles y todos los otros filósofos y teólogos, que el mundo y el universo son en verdad finitos y que ningún cuerpo infinito puede ser atribuido [a ellos], pero todas las cosas son de una magnitud absolutamente finita”.²⁶⁴

A.3 La pluralidad de los mundos luego de 1277

Otras dos propuestas que los teólogos consideraron como condenables debido a que limitaban el poder de Dios fueron a) la imposibilidad de la pluralidad de los mundos.²⁶⁵ Los filósofos naturales aristotélicos negaban la posibilidad de otros mundos: “la primera causa [Dios] no pudo hacer varios mundos”²⁶⁶ y eso equivalía a afirmar que Dios no pudo crear otros mundos si él lo hubiera deseado y b) “Dios no pudo mover los cielos [es decir, el mundo] con movimiento rectilíneo, y la razón es que habría un vacío” fue condenada pues negaba a Dios el poder de mover el exterior de los cielos, y por lo tanto, el mundo, pues un vacío quedaría cuando el mundo dejara su posición actual.

En el siglo XIII Michael Scot, Guillermo de Auvergne, Tomás de Aquino, Roger Bacon y muchos otros, aseguraban que por varias razones físicas era imposible que existieran otros mundos. Por lo anterior, se les acusó de querer limitar el poder de Dios para multiplicar los mundos, aunque ellos se esforzaron por defender que su afirmación no implicaba limitar la omnipotencia creativa de Dios.²⁶⁷

²⁶³ Ibid., p. 113.

²⁶⁴ Ibid.

²⁶⁵ Artículo 34 de la prohibición de 1277, ver Ibid., p. 157.

²⁶⁶ Artículo 49, ver Ibid.

²⁶⁷ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 155.

i. Una pluralidad de mundos simultáneos excéntricos y concéntricos

Se consideraron dos tipos de mundos distintos y simultáneos. El primero y menos discutido supone mundos dentro de mundos, concéntricos o excéntricos. Los mundos concéntricos fueron mencionados brevemente y rechazados por Guillermo de Auvergne y Roger Bacon.²⁶⁸ Por su parte, Nicolás Oresme ofreció una discusión escolástica sobre los mundos concéntricos en la que imaginó que los mundos pueden ser concéntricos en el sentido de que un mundo está dentro de otro mundo; específicamente, un mundo está dentro de nuestra Tierra, aunque tales mundos podrían existir también dentro de la Luna o dentro de una estrella. Tales mundos son imaginados como réplicas del nuestro, cada uno consistiendo de una región celeste y una terrestre. Si nuestro mundo fuese hecho entre hoy y mañana, 100 o 1000 veces mayor o menor que el presente, todas sus partes serían aumentadas o disminuidas proporcionalmente, y cada cosa aparecería mañana exactamente como ahora, como si nada hubiera cambiado”.²⁶⁹ Oresme supuso que ello era viable porque un mundo dentro de nuestra Tierra debería tener cada cosa proporcionalmente menor.

Si tal mundo ocupara una zona central dentro de nuestra Tierra éste no podría tener una zona central mayor a la de la Tierra, y en consecuencia, el primero perdería su lugar natural en la zona central de nuestro mundo. Oresme rechazó esto explicando que “para que la Tierra esté en su lugar natural es suficiente que la zona central de su peso esté en el interior del mundo”.²⁷⁰ Entonces, la zona central de un mundo concéntrico dentro de nuestra Tierra también sirve como el interior y el lugar natural de los alrededores de nuestra Tierra.

Aunque la existencia de esos mundos era improbable, Oresme insistió en que los mundos concéntricos no son imposibles porque “lo contrario no puede ser probado por razón ni por evidencia a partir de la experiencia”.²⁷¹ Sin embargo, Oresme no tomaba en serio la versión de la pluralidad de los mundos pues admitió que sus especulaciones sobre los mundos concéntricos solo eran un ejercicio mental para entretenerse.

²⁶⁸ Ibid., p. 156.

²⁶⁹ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 156.

²⁷⁰ Ibid.

²⁷¹ Ibid, pp. 156-157.

ii. Una pluralidad de mundos simultáneos, cada uno separado y formando a otros

Uno de los problemas más populares en las cuestiones cosmológicas fue la pluralidad de mundos esféricos existiendo separada y simultáneamente.

El significado de lo que está unido al mundo (*mundus*) o universo (*universum*)- en la Edad Media los dos términos eran sinónimos- fue problemático. A la pregunta “¿Dios pudo hacer otro mundo, aun existiendo éste?” Tomás de Estrasburgo respondió, distinguiendo entre dos sentidos acerca del término latino de “universo”.²⁷² En el primer sentido, el término *universum*, puede tomarse como una unidad en la cual todas las cosas se encierran dentro de una esfera móvil exterior (el *primum mobile*), la cual gira y se mueve por un solo movimiento original (el *primus motor*). Desde el punto de vista aristotélico, Dios no pudo hacer otros mundos porque la noción anterior de mundo por definición lo excluye. Si Dios hizo otros mundos idénticos al nuestro, cada uno debería de tener su propia esfera móvil exterior y su primer motor. Entonces esos mundos no podrían formar un mundo único unificado pues un mundo se define como una unidad, con una única esfera exterior y un primer motor. Así, como dijo Tomás de Aquino, “se tendría un universo y no se tendría un universo, lo cual implica una contradicción”.²⁷³

La segunda definición considera la noción del mundo con respecto a las cosas que son representadas o expresadas por el término. Según esta definición, el término “otro mundo” es una colección de cosas idénticas o diferentes de las cosas en nuestro mundo. Dios pudo haber hecho otra colección de cosas idénticas a las de nuestro mundo y entonces deberíamos pensar en llamar a esa colección otro mundo; o él pudo crear una colección de cosas distintas y más elevadas, y también debería considerársele mundo. Este segundo sentido fue el que Tomás aceptó y el que quizás la mayoría de los escolásticos apoyaban.

El que otros mundos existieran se basaba en el sentido de la fe: por su poder absoluto Dios hizo lo que deseó, y bien pudo generar simultáneamente muchos mundos, distintos y separados. La mayoría de los filósofos naturales suponían que Dios había hecho tales mundos como una réplica del nuestro, pero hubo quienes reconocían que además de lo anterior, Dios también pudo hacer mundos distintos al nuestro y en todas las formas concebibles posibles.

²⁷² Ibid., p. 158.

²⁷³ Ibid.

A.4 Las razones de la centralidad de la Tierra

i. Los tres centros de la Tierra

Los filósofos escolásticos naturales ubicaban a la Tierra en el centro del cosmos, pero era poco claro qué era el 'centro' al referirse al centro del mundo. Para esclarecerlo clasificaron los centros en tres tipos, los cuales fueron ampliamente aceptados aún hasta el siglo XVII.²⁷⁴ Nicolás Oresme presentó las definiciones de los tres tipos de centros así: "Si la Tierra está naturalmente en reposo en el centro del universo"²⁷⁵, el primero [de los centros] es el centro de todo el mundo o el centro geométrico, "a saber, un punto equidistante de todas las partes de la superficie convexa de todo el mundo"; el segundo es el "centro o magnitud" de la Tierra, donde la cantidad de tierra en un lado del centro (desde una línea trazada a través del centro) es igual a la que hay del otro lado de esa línea;²⁷⁶ finalmente, el tercero es el "centro de gravedad" donde la pesadez en cada lado del centro (de nuevo desde una línea trazada a través del centro) es igual. Juan Buridan se dio a la tarea de resolver la pregunta sobre la centralidad de la Tierra para poder resolver la pregunta siguiente: "¿la Tierra siempre está en reposo en el centro del universo?"²⁷⁷ Que la Tierra estaba en el centro del mundo era evidente si se basaba en el principio aristotélico de la contrariedad, que en ese caso eran los contrarios hacia arriba y hacia abajo. Si se considera absolutamente como cóncava la superficie del orbe lunar, entonces ésta está absolutamente hacia abajo, lo cual es lo contrario a estar absolutamente hacia arriba, y debe ser la distancia máxima desde arriba. Entonces, absolutamente abajo debe ser equivalente al centro del mundo. Pero lo que es absolutamente pesado, es decir la Tierra, debe ser ubicado en el lugar que está absolutamente abajo, es decir, en el centro del mundo. Por lo tanto la Tierra deberá estar localizada en el centro geométrico del mundo.²⁷⁸

²⁷⁴ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 622.

²⁷⁵ Ibid.

²⁷⁶ Ibid. Oresme considera el "centro de magnitud" en dos sentidos. De una manera apropiada, se trata de magnitudes esféricas o circulares donde todas las líneas dibujadas desde el centro de la circunferencia son iguales. En un significado inapropiado el centro de la magnitud es la mitad de la nada, y por ello esa magnitud no tendrá un centro. Cuando John Major definió el "centro de la magnitud" lo hizo en la forma "apropiada" limitándose al centro de la magnitud de una esfera.

²⁷⁷ Ibid., p. 623.

²⁷⁸ Ibid.

Ahora, si la Tierra fuera un cuerpo perfectamente homogéneo su centro debería coincidir con el centro del mundo. De hecho si la Tierra fuera homogénea su centro de magnitud (*medium magnitudinis*) coincidiría con su centro de gravedad (*medium gravitatis*), y ambos coincidirían con el centro del mundo. Pero la Tierra difícilmente es un cuerpo homogéneo. Una región de ella está cubierta con agua y deshabitada, mientras que la otra parte tiene plantas y animales vivos y está relativamente sin agua. Así, el Sol y el aire hacen que la parte no cubierta sea más caliente y más rara y tenue, mientras que la otra parte no es afectada y permanece más densa y más compacta. “Ahora, si un cuerpo en una parte es más ligero y en la parte opuesta más pesado, el centro de gravedad no será el centro de magnitud”.²⁷⁹ Entonces, ¿cuál centro es el centro del mundo?²⁸⁰

Buridan consideró elegir el centro de gravedad pues: a) Los cuerpos pesados siempre se mueven hacia el centro del mundo con sus partes más pesadas desplazando a las partes menos pesadas; b) Si el centro de gravedad fuera el centro real del mundo sucedería que la Tierra no está en el centro con respecto a su magnitud; c) debido a que el Sol calienta de forma desigual a la Tierra y a que la materia y las aguas superficiales no están distribuidas equitativamente a lo largo de toda la Tierra, el centro de magnitud de la Tierra jamás podrá coincidir con el centro geométrico del universo. De hecho, “se deduce que la Tierra está más cerca del cielo en la parte que no está cubierta por las aguas que en la que está cubierta por las mismas”.²⁸¹ Así la Tierra, desde el punto de vista de su magnitud, no está en medio del mundo. No obstante, “comúnmente decimos, sin embargo, que está en el centro del universo porque su centro de gravedad es el centro del universo”.²⁸² Para defender y salvar la centralidad cósmica de la Tierra era necesario que el centro de gravedad de la Tierra se considerara equivalente al centro del mundo.²⁸³

²⁷⁹ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 623.

²⁸⁰ Aristóteles distinguió el centro del mundo del centro de magnitud pero no mencionó un centro de gravedad. En *De Caelo* Aristóteles explicó que “la Tierra y el universo tienen el mismo centro y lo mismo ocurre, pero incidentalmente, para los cuerpos pesados que se mueven hacia el centro de la Tierra porque ésta tiene su centro en el centro del universo”. Aunque Aristóteles era consciente de la forma irregular de la superficie de la Tierra la trató como si fuera una esfera homogénea. Sin embargo, se imaginó cómo podría ser de otra manera cuando, más adelante en el mismo capítulo declaró que “si a la Tierra, estando en el centro y con forma esférica, se le añadiera muchas veces su propio peso en uno de sus hemisferios, entonces el centro del universo ya no coincidiría con el centro de la Tierra”.

²⁸¹ *Ibid.*, pp. 623-624.

²⁸² *Ibid.*, p. 624.

²⁸³ *Ibid.* Para ver la forma en la que la centralidad de la Tierra fue reconciliada con la supuesta excentricidad de la Tierra en la astronomía ptolemaica ver Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, cap. 13, secc. III.4, (1996).

ii. ¿La Tierra se mueve con pequeños movimientos rectilíneos?

Buridan afirmó que el centro de gravedad de la Tierra está cambiando incesantemente debido a los procesos geológicos: los escombros de la tierra llevados desde las montañas desembocan en el mar y se depositan en el fondo del mismo. Mediante ese proceso incesante la parte expuesta de la tierra disminuye y la cubierta por las aguas va aumentando. Pero también, llega un momento en que el centro de gravedad coincide con el centro geométrico del mundo. Como tal proceso continúa incesantemente pues ambos centros están por coincidir, coinciden y nuevamente dejan de estar juntos, sucede que el centro de la Tierra varía y en consecuencia ésta se mueve mediante pequeños movimientos rectilíneos. Alberto de Sajonia y John Major estuvieron de acuerdo con esta propuesta.²⁸⁴ Con menos convicción Oresme concedió la posibilidad de que la Tierra se moviera localmente.²⁸⁵ Pero Pierre d'Ailly (1351 d. C. – 1420 d. C.) rechazó la propuesta de Buridan pues si cada parte de la Tierra se moviera con movimientos rectilíneos, en consecuencia toda la Tierra debería hacerlo.²⁸⁶

Aversa argumentó que la Tierra sufría alteraciones continuas que causaban que su peso se aumentara o disminuyera. Como resultado, el centro de gravedad de la Tierra, el cual es el centro geométrico de la misma, cambia continuamente causando una secuencia incesante de movimientos rectilíneos. “Tales movimientos son imperceptibles a nuestros sentidos... y debería considerarse como si no existieran”. De este modo Aversa aceptó y negó el movimiento al mismo tiempo y dejó su anticopernicanismo intacto.²⁸⁷

Para información sobre algunos argumentos respecto a si son o no inconmensurables los movimientos celestes y los terrestres ver el apéndice C, y para la comparación entre cuerpos celestes y sublunares ver el apéndice D.

²⁸⁴ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, pp. 624.

²⁸⁵ Oresme afirmó: “es posible que toda la Tierra pueda moverse localmente porque si una cantidad suficiente de gravedad fuese añadida a una parte tal que pudiera ser más potente que la resistencia del aire que se opone [al movimiento], entonces la Tierra debería moverse”. Ibid.

²⁸⁶ Para dar un contra-argumento d'Ailly usó como ejemplo una columna formada por diez piedras para mostrar que aunque cada una de ellas se moviera rectilíneamente y cambiara sus posiciones, la columna como un todo permanecería en la misma posición y tendría el mismo centro de gravedad. Para ello tomó la primera piedra de la cima de la columna y la colocó debajo de la piedra de la base de la misma. Luego tomó la segunda piedra de la cima de la columna y la colocó debajo de la piedra de la base de la columna y así sucesivamente. Así, aunque cada piedra estuviera en movimiento la columna completa permanecería en reposo en el mismo lugar, y por ello el centro de gravedad de la misma seguiría siendo el mismo. Ibid., p. 625.

²⁸⁷ Ibid.

De lo anterior se puede observar que la cosmología medieval y renacentista giró en torno de cuestiones filosóficas como si el mundo es eterno, si es finito, si fue creado, si hay más de un mundo, los tipos de centros de la Tierra y si ésta tiene movimientos locales. Así, los teólogos cristianos, un subgrupo de los filósofos escolásticos, refutaron y condenaron los principios aristotélicos que afirmaban que el mundo no tiene principio ni fin, y que es eterno, pues ello iba en contra de las Escrituras, las cuales afirmaban que Dios creó al mundo a partir de la nada y lo destruirá, y por consiguiente, tuvo un principio y tendrá un fin. Un gran defensor de la ideología aristotélica fue Buridan, quien intentó conciliar algunos aspectos sobre la finitud de los cuerpos, dado que Aristóteles concluye que la existencia material y espacial tiene cualidades finitas y, por tanto, medibles. Siglos más tarde, los jesuitas se vieron obligados a debatir sobre las aptitudes de Dios para crear infinitos mundos y dejaron abierta su posibilidad puesto que no tuvieron argumentos para negar el dogma. No obstante, en su momento Buridan tuvo que rectificar su posición.

Además, en el siglo XIII Tomás de Aquino ayudó a la reconciliación entre ambas concepciones cuando afirmó que a falta de pruebas a favor o en contra de la eternidad o de la creación, lo que los creyentes aceptaron era más bien un acto de fe insoslayable. Sin embargo, algunos filósofos persistieron en sus desacuerdos y afirmaron la coeternidad de Dios y el mundo, y pusieron en entredicho el principio creador. Los teólogos, por su parte, afirmaron que sólo la fuerza de Dios es infinita. También, los filósofos escolásticos naturales para debatir sobre la existencia de una pluralidad de mundos y su simultaneidad imaginaron y propusieron que Dios era tan poderoso y omnipotente que pudo haber creado, junto con la Tierra, más mundos, manteniendo a la Tierra en el centro del universo.

Apéndice B

El primum mobile

La mayor parte de los astrónomos medievales plantearon deducciones sobre la uniformidad y regularidad celeste basándose en las observaciones registradas de los movimientos astrales, bajo las hipótesis a que estos condujeron y las definiciones acerca de los movimientos celestes.²⁸⁸ Concluyeron que el movimiento diario de los cielos, considerado como un todo, no es uniforme, pues sus diferentes partes se desplazan a distintas velocidades. Tal es el caso de las partes de los cielos alrededor del ecuador celeste que se mueven más rápidamente que sus partes alrededor de los polos del mundo. Ello sucede porque en tiempos iguales las distancias lineales atravesadas por las partes cercanas a un círculo mayor, como es el ecuador celeste, son mucho mayores que las distancias descritas por las partes cercanas a los polos o a circunferencias más pequeñas,²⁸⁹ siempre y cuando las rectas seguidas sean paralelas a la que corresponde a la gran circunferencia, i. e., el ecuador celeste. Pese a la falta de un movimiento diario uniforme, Amicus en busca de salvar la noción de movimiento uniforme, señaló que el movimiento diario era regular porque todas sus partes describían ángulos iguales, respectivamente, alrededor de los ejes del mundo.²⁹⁰

El movimiento del *primum mobile*, o la esfera móvil exterior, a veces identificada como la esfera de las estrellas fijas, fue caracterizado como regular porque no tiene cambios en su velocidad.²⁹¹ Cada cambio en la velocidad, ya sea un aumento o una disminución, puede ocurrir al inicio de un movimiento (como un movimiento violento), al final de un movimiento (en el caso de un movimiento natural) o en una posición intermedia de un movimiento (como el movimiento de un proyectil o el de los animales, los cuales se mueven de un extremo a otro, por ejemplo los pájaros). Pero en el movimiento circular del *primum mobile* no hay comienzo, punto medio o final, y por lo tanto no puede haber cambio en la

²⁸⁸ Consultar definiciones en Grant E. *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), pp. 488-492.

²⁸⁹ *Ibid.*, p. 492.

²⁹⁰ *Ibid.*

²⁹¹ *Ibid.* Oresme declaró que “El cielo más alto tiene un movimiento regular simple, pero cada cielo debajo de éste primario se mueve con un movimiento compuesto, combinando varios movimientos regulares simples”. En la física post-newtoniana un cuerpo que se mueve con movimiento circular se puede suponer que cambia su dirección, y por lo tanto, su velocidad a cada instante. Sin embargo, para los escolásticos, la velocidad en movimientos rectilíneos o circulares simplemente es equivalente a la velocidad.

velocidad.²⁹² Además, si la irregularidad ocurrió en el *primum mobile*, ésta podría presentarse en el cuerpo del *primum mobile* en sí mismo, o por su movimiento. Por otra parte, como el *primum mobile* no fue generado (aunque sí creado) y es incorruptible, su movimiento no puede cambiar y ser irregular. Ello se debe a que el que mueve es más noble y excelente que aquello a lo que éste mueve; así también el movimiento del *primum mobile*, cualquiera que éste sea, debe ser absolutamente inmutable. Por lo tanto, el *primum mobile* no es susceptible de tener un movimiento irregular.

La definición de un movimiento simple²⁹³ hace obvio que ningún movimiento celeste simple sea irregular o que es muy posible que cada movimiento simple sea regular. Entonces, todo en el cielo se mueve con un movimiento simple, incluyendo a todos los orbes individuales, y además cada uno de ellos se mueve más rápidamente en ciertos momentos que en otros.²⁹⁴

El movimiento de cada planeta es irregular porque la posición de algunos de ellos en cierto tiempo es el resultado de dos o más movimientos simples alrededor de polos diferentes, los cuales producen un movimiento compuesto. Oresme expresó al respecto: “Un movimiento compuesto de muchos movimientos puede ser irregular, lo cual podría demostrarse geoméricamente, así que si algo es movido con dos movimientos que sean regulares y ello toma lugar alrededor de centros o de polos diversos, es necesario que [el movimiento] resultante dé lugar a la irregularidad, como es claro en la teoría del Sol”.²⁹⁵ Los planetas se mueven con más de dos movimientos simples, y el movimiento compuesto resultante provoca que los planetas a veces se muevan más rápidamente y en otras más lentamente. De hecho, a diferencia del Sol, los otros movimientos planetarios a veces son retrógrados, por instantes pueden ser estacionarios, y en otras ocasiones son directos, es decir, van en la misma dirección que el desplazamiento global del planeta en cuestión.

Si los filósofos naturales escolásticos medievales se hubiesen basado exclusivamente en las observaciones astronómicas su conclusión sería que los

²⁹² Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), pp. 492-493. Buridan y Alberto de Sajonia aplican ese razonamiento a todos los planetas y no solo al *primum mobile*.

²⁹³ Un movimiento simple es aquel que describe un movimiento periódico, oscilatorio y vibratorio en ausencia de fricción, producido por la acción de una fuerza recuperadora que es directamente proporcional a la posición pero en sentido opuesto. Tal movimiento queda descrito en función del tiempo por una función senoidal.

²⁹⁴ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 493

²⁹⁵ Ibid.

movimientos celestes son irregulares. Para Buridan y Alberto de Sajonia las irregularidades aparentes eran el resultado de movimientos compuestos. Pero las apariencias difícilmente servirían como fundamentos concluyentes para aceptar un sistema planetario con movimientos irregulares. Los principios metafísicos aristotélicos tradicionales concernientes al mundo estaban basados en ciertas hipótesis sobre realidades subyacentes. El más fundamental de ellos proclama la incorruptibilidad del éter celeste junto con su eternidad hacia el futuro. Esta hipótesis hizo creer a los cosmólogos medievales que había una regularidad celeste subyacente. Con esto en mente supusieron la existencia de una sustancia etérea incorruptible que compone a los planetas y al medio que los rodea, y ésta es la que de algún modo les confiere un movimiento circular uniforme. Ello implicaría un cambio, y por lo tanto llevaría a la corruptibilidad. Por consiguiente, atravesar distancias iguales en tiempos iguales debía suponerse como un fundamento básico. Eso se extiende a los componentes de los orbes del sistema, cada uno de los cuales se supone se mueve con un “movimiento circular simple”, es decir, cada orbe sigue su ruta con regularidad y uniformidad. Las posiciones planetarias observadas, que aparentemente revelan cambios en la velocidad y dirección (pasando de un movimiento progresivo a uno retrógrado), son resultado de la composición de dos o más movimientos simples. Irónicamente, los movimientos compuestos irregulares observados de alguna manera se percibieron como menos reales que los movimientos simples que los producen.

Debido a las apariencias los autores escolásticos creyeron que cada planeta se movía con velocidad uniforme. En consecuencia, se preguntaron si todos los planetas se movían con la misma velocidad uniforme. Todos sabían que los planetas completaban sus revoluciones periódicas respectivas en tiempos distintos.²⁹⁶ Pero, como Buridan lo expresó: “aunque la Luna complete un ciclo más pronto que el Sol, ello no implica que ésta se mueva más rápidamente pues la trayectoria de la esfera del Sol es mucho mayor”.²⁹⁷ A pesar de la disparidad de sus trayectorias circulares el Sol podía moverse, según esto, tan rápidamente como la Luna. Esto “si suponemos que la proporción de la esfera del Sol respecto a la esfera de la Luna en sus magnitudes es como la proporción de un año a un mes; y si la proporción fuera mayor debería moverse más rápidamente [que la Luna]”.²⁹⁸

²⁹⁶ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 494. Sin embargo, se observaba que Mercurio, Venus y el Sol completaban su periodo de revolución más o menos en un mismo tiempo. Los periodos de otros planetas variaban.

²⁹⁷ Ibid.

²⁹⁸ Ibid.

Para explicar la disparidad entre las revoluciones periódicas de planetas superiores e inferiores se decía que las velocidades de un planeta superior y de uno inferior debían ser iguales y entonces sus trayectorias circulares debían ser desiguales; y si las trayectorias circulares fueran iguales, un planeta u orbe debería moverse más rápido que el otro.²⁹⁹ Si éste último fuera el caso, hay dos posibles causas que provocarían la diferencia en las velocidades: la fuerza que mueve a un planeta u orbe es mayor que la que mueve al otro o, si los movimientos tienen una fuerza igual, la resistencia a ellos debería variar de manera que diera lugar a velocidades desiguales. Debido a que Buridan era un seguidor fiel de Aristóteles, rechazó las resistencias celestes y concluyó que “existe una velocidad mayor en los cielos debido a la mayor perfección de un motor o a la pequeñez del móvil”. Además, Buridan se apresuró a añadir que aun en ausencia de una resistencia celeste los cuerpos motores no moverán a un móvil o planeta con una velocidad infinita o ilimitada dado que ellos mismos solo poseen una fuerza finita.

Según Buridan, si “suponemos que el móvil [o planeta] A es 100 veces mayor que B y que los dos se mueven con la misma velocidad, entonces la fuerza (o poder) con que se mueve A debe ser 100 veces más poderosa que la fuerza que mueve a B”.³⁰⁰ Pero si A se mueve al doble de velocidad de B, entonces la fuerza que mueve a A debe ser dos veces mayor que la fuerza que mueve a B. Esta línea de argumentación llevó a que se dijera que era la proporción (*ratio*) entre fuerzas motrices [y sus efectos] lo que determinaba la celeridad de un planeta.

Buridan aseguraba que las esferas inferiores de los planetas se movían más rápidamente que las esferas superiores, pero ni él ni nadie más aportaron argumentos sólidos para sostener o justificar tal afirmación. A pesar del conocimiento observacional de los periodos planetarios, Buridan y sus seguidores escolásticos no pudieron determinar la velocidad real de los orbes planetarios. Solo suponiendo hipótesis arbitrarias sobre el tamaño de las órbitas, velocidad, fuerza motriz y magnitudes podía determinarse si el orbe que arrastra a Marte le dio una velocidad mayor, menor o la misma que la del orbe que arrastra a Venus.

En los siglos XVI y XVII prácticamente se abandonó la terminología básica de movimientos uniformes y regulares y en su lugar usaron términos similares, como fue el caso de los jesuitas de Coimbra. Ellos investigaron si los movimientos

²⁹⁹ Ibid., p. 495.

³⁰⁰ Ibid.

celestes son “uniformes y regulares”, lo cual indicaba que ambos términos eran equivalentes. Aunque no hicieron distinción entre movimiento compuesto y simple, sí diferenciaron entre “distancias iguales” y “tiempos iguales”. El primer concepto estaba ligado con la idea medieval de uniformidad y “diformidad”³⁰¹, el segundo con la regularidad y la irregularidad. Como una ilustración del primero usaban el ejemplo de la irregularidad con respecto a los cielos en su totalidad, donde en el movimiento diario todas las partes cercanas a los polos recorren una distancia menor que las recorridas en el mismo tiempo por las partes más lejanas a ellos. Pero el movimiento global de los cielos es uniforme pues todas las partes completan su movimiento en un mismo tiempo, es decir, en “tiempos iguales”.³⁰²

Respecto a los factores que causan el movimiento en los cielos hubo quienes creían que los orbes o planetas recibían esa cantidad impresionante de fuerza o ímpetu de un ángel asignado a cada uno de ellos. Mastrius y Bellutus dieron otra versión al respecto. Aunque ellos concedieron que Dios pudo crear los cuerpos celestes con un movimiento propio interior, declararon que “los cielos son movidos externamente, pero no internamente”³⁰³ por una inteligencia “incorpórea y espiritual”. Además, supusieron que “los ángeles se mueven por una fuerza formalmente distinta de la que surge del intelecto y de la voluntad”, a la cual ellos describían como “un poder ejecutivo”.³⁰⁴

En el mundo de las esferas planetarias rígidas que formaban la estructura de su cosmología, Mastrius y Bellutus supusieron que la esfera más externa del mundo, el *primum mobile*, era movida por una inteligencia. Desde su punto de vista, esa fue la única inteligencia asociada con los orbes celestes.³⁰⁵ Los entes de esta única inteligencia celeste que mueven su orbe, el *primum mobile*, no fueron sólo por la inteligencia y la voluntad, sino también una tercera entidad, un “poder ejecutivo”, el cual transmite la voluntad del ángel y se conecta en la forma de una fuerza motriz. En su interpretación de Aristóteles, Mastrius y Bellutus vieron el *primum mobile* como una especie de amalgama entre un orbe y una *inteligencia*, donde esta última mueve el orbe en virtud del amor de lo que podría llamarse su

³⁰¹ Término acuñado en el Medievo y que significaba “no uniforme”.

³⁰² Para más detalles ver Grant E. *Planets, Stars, and Orbs*, (1996), p. 496.

³⁰³ *Ibid.*, p. 559.

³⁰⁴ *Ibid.*

³⁰⁵ En su hipótesis de que una inteligencia única o un ángel es la última causa de todos los movimientos celestes, Mastrius y Bellutus, así como previamente a ellos Girolamo Fracastoro, aparentemente rechazaron la regla aristotélica de que cada orbe tenía su propia inteligencia [ángel en el imaginario medieval], y que por ello hay tantas inteligencias celestes como orbes.

motor principal. Así, el motor principal, el cual es propio de todos los movimientos, puede considerarse como la causa final, y la inteligencia como una causa eficiente para producir el movimiento del *primum mobile*, el cual también es “el primero [de todos los movimientos y además], la causa, el regulador y la medida de los otros movimientos”.³⁰⁶

Mastrius y Bellutus negaban que las otras esferas también fuesen movidas por una inteligencia, tal y como Aristóteles y la mayoría de los otros escolásticos lo creían, pues como ya se dijo, hablaban sólo de una inteligencia celeste, la cual asociaban únicamente al *primum mobile*. La siguiente cuestión era si esa única inteligencia movía a todos los orbes de la región celeste.³⁰⁷ Girolamo Fracastoro en 1538 creía que una inteligencia única podía mover todos los orbes celestes. En cambio, los jesuitas de Coimbra adoptaron la postura de Mastrius y Bellutus,³⁰⁸ quienes afirmaban que una sola inteligencia situada en la esfera más exterior no podía simultáneamente producir la variedad de movimientos diferentes y con direcciones opuestas de tantos orbes. Debido a la ausencia de una inteligencia única o de un ángel, la transmisión de su fuerza motriz por medio de su fuerza ejecutiva podría producir desorden y confusión en los orbes inferiores.³⁰⁹

Si la inteligencia única asociada con el *primum mobile* es incapaz de mover todos los orbes, y no hay otras inteligencias, ¿qué podría causar el movimiento de todos los orbes encerrados bajo la esfera del *primum mobile*? A ello, Mastrius y Bellutus, 100 años después de la muerte de Copérnico, contestaron: el mismo *primum mobile*. Y aquí hay que enfatizar un detalle muy sutil, pues podría pensarse que esto era lo mismo expresado en el párrafo anterior y que Mastrius y Bellutus rechazaban: el que el *primum mobile* sea movido por una inteligencia externa no lo excluye de ser el “que mueve”. Además, visualizaron el siguiente proceso: actuando como una causa eficiente, la inteligencia única causa directamente el movimiento primario del *primum mobile*. Como éste último se mueve con un movimiento circular diario de este a oeste, entonces transmite sus impulsos o ímpetus a los orbes celestes sólidos y duros, adyacentes, que están contenidos en él. Como los ímpetus o fuerzas que actúan son transmitidos hacia abajo, desde un orbe a otro, la fuerza se ve debilitada y los orbes no pueden completar un ciclo en veinticuatro horas. En consecuencia, las trayectorias diarias de los planetas no

³⁰⁶ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs*, (1996), p. 560.

³⁰⁷ Ibid.

³⁰⁸ Ibid.

³⁰⁹ Ibid., pp. 560-561. Mastrius y Bellutus sólo mencionan a Aristóteles y no a Fracastoro quizás porque solamente compartían con él la idea de una sola inteligencia que controlaba los orbes celestes.

son círculos perfectos sino arcos incompletos de círculos que forman líneas espirales.³¹⁰

Esas líneas espirales son resultado del movimiento diario de este a oeste y aparentan ser un movimiento periódico o sideral de oeste a este. De hecho, Mastrius y Bellutus argumentaron que los planetas se mueven solo en la dirección de este a oeste y que ninguno lo hacía de oeste a este. Sin embargo, las velocidades de los planetas en su movimiento diario de este a oeste son tales que atraviesan un poco menos que un ciclo completo en veinticuatro horas en el movimiento diario de la esfera de las estrellas fijas. Así, diariamente cada planeta recorre un poco menos que un ciclo completo y su trayectoria en realidad traza una línea espiral imaginaria. Como cada planeta completa su espiral diariamente, es decir, se retrasa un poco menos de lo requerido para cubrir una trayectoria circular completa cada día, sucede que cada planeta aparenta moverse hacia atrás de oeste a este.

Mastrius y Bellutus dieron una explicación causal del movimiento celeste recurriendo a tres componentes: (1) una inteligencia única que mueve la esfera móvil más externa, o *primum mobile*, idea básicamente derivada de Aristóteles, a quien ellos mencionaron, y quizás también de la *Homocentrica* (1538) de Girolamo Fracastoro, a quien no mencionaron; (2) una fuerza motriz o ímpetu que se origina en el movimiento diario del *primum mobile* y que sucesivamente va disminuyendo al ser transmitido desde fuera hacia adentro, de orbe en orbe; este concepto aparece en el *De motibus celorum* de al-Bitrūjī (¿? - ca. 1204 d. C.), traducido por Michael Scott a principios del siglo XIII, y quizás también por Fracastoro; y (3) las trayectorias en espiral de los planetas producidas por las fuerzas actuantes, si bien disminuidas, idea probablemente derivada de al-Bitrūjī. Platón consideró que las trayectorias reales de los planetas eran líneas espirales y esto fue mencionado en la Edad Media en escritos de Averroës, al-Bitrūjī, Alberto Magno, Sacrobosco y Oresme.³¹¹

Mastrius y Bellutus mencionaron las líneas espirales como una consecuencia de la disipación gradual de una fuerza que se transmite de orbe en orbe, viéndola como la consecuencia derivada de los dos movimientos planetarios básicos, este-oeste y oeste-este, y del movimiento único de este a oeste propio del *primum mobile*, un movimiento causado finalmente por la inteligencia única asociada con el *primum mobile*.

³¹⁰ Ibid., p. 561. Fracastoro expresó un juicio similar cuando supuso que un orbe externo puede transmitir movimiento a un orbe interno para lo cual no era necesario asociar una inteligencia o ángel con cada uno de los planetas u orbes.

³¹¹ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs*, (1996), p. 562.

La idea de que la fuerza impresa podía transmitirse “hacia el interior” o “hacia el exterior” desde el *primum mobile* a cada uno de los orbes planetarios inferiores, tal vez se derivó de *De motibus celorum* de al-Bitrūjī, del cual hubo impresiones disponibles a partir de 1531³¹²; o tal vez provino de la *Homocentrica* de Fracastoro, disponible desde 1538, donde su autor Fracastoro reconoce una deuda con al-Bitrūjī (a quien él llama “Alberticus”). Es muy probable que Mastrius y Bellutus se basaran en al-Bitrūjī para indicar lo siguiente acerca del movimiento celeste:

Decimos que la esfera superior siempre se mueve girando alrededor del eje que pasa por dos polos fijos, de este a oeste, y completando una revolución en un día y una noche. Esto es el movimiento del universo y su movimiento es más rápido que todos los movimientos debajo de ella, dado que las esferas interiores, conforme se avanza hacia el centro del universo, pierden algo de su movimiento. La cantidad de esta pérdida varía con su distancia a la esfera superior que causa su movimiento. Cada una de las esferas inferiores desea imitar a la esfera más alta y la sigue de acuerdo con la cantidad de fuerza que retiene de ella, pero su forma es mantenida por su propio movimiento. Así, cada una de ellas se mueve con un movimiento propio alrededor de su eje y retrasándose con respecto al movimiento de la esfera superior con el cual se combina para producir lo que se observa desde la Tierra y uniéndose con éste, imitando a la esfera superior. Las esferas debajo de la esfera superior difieren en la velocidad con la cual siguen a aquella y dicha velocidad varía de acuerdo con su distancia respecto a la esfera superior ya que la “fuerza” de su movimiento depende de la distancia del primer motor, la fuente de toda “fuerza”.³¹³ El movimiento de la esfera superior simple es simple e invariable, manteniendo siempre la misma velocidad. Las esferas más cercanas a la esfera simple se mueven más rápida y poderosamente porque la fuente (de su movimiento) es la esfera superior. Esta declaración – que el movimiento depende de la cantidad de “fuerza”- es una con la cual todos estarán de acuerdo.³¹⁴

La explicación anterior se basaba en evitar asignar movimientos contrarios a un mismo cuerpo celeste. En la discusión típica del Medioevo acerca de los movimientos celestes se suponía que un mismo planeta sufría continuamente movimientos contrarios simultáneos. Pero no solo cada planeta tenía un movimiento diario de este a oeste en veinticuatro horas, sino que al mismo tiempo se movía lentamente en la dirección opuesta de oeste a este para completar un movimiento periódico a través del zodiaco: Saturno en treinta años, Júpiter en

³¹² Ibid.

³¹³ No se precisa en qué consiste esta “fuerza”. Simplemente es la causa del movimiento.

³¹⁴ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), pp. 562-563. Según Dreyer (1953, 298), Fracastoro “supone que una esfera exterior puede transmitir su movimiento a una interior, mientras que una interior no tiene influencia en una exterior, y por eso es capaz de permitir que el *primum mobile* transmita su rotación diaria a todos los planetas para producir la rotación diaria”.

doce, etc. Desde el punto de vista de la teoría física aristotélica, un mismo cuerpo no puede someterse simultáneamente a movimientos contrarios. Para evitar esas dificultades, Aristóteles con sus orbes concéntricos y Ptolomeo con sus orbes concéntricos y excéntricos, y muchos otros astrónomos y cosmólogos, supusieron que cada movimiento astronómico real, como el movimiento diario y el movimiento periódico de cada planeta, son producidos por una esfera única.

Pero, en realidad la posición de un mismo planeta estaba descrita por al menos dos esferas moviéndose en direcciones contrarias y por ello parecía que la cosmología medieval violaba las afirmaciones de Aristóteles en contra de los movimientos contrarios. Según Clavius, los críticos de los movimientos celestes contrarios daban argumentos basándose en la analogía del movimiento rectilíneo en la Tierra hacia arriba y hacia abajo, resaltando que para cierto cuerpo uno de esos movimientos debía ser violento. Pero los movimientos violentos tenían que terminar pues no podían ser perpetuos. De aquí que algunos movimientos celestes podían ser de duración finita, y no perpetua, lo cual era una consecuencia inaceptable. Además, la naturaleza de un movimiento violento se debilitaba con el paso del tiempo, lo cual violaba el consenso general de que los cielos siempre se movían con la misma velocidad uniforme. Finalmente, los movimientos contrarios son superfluos. En consecuencia, era innecesario suponer que había movimientos contrarios si se obtenía el mismo resultado con un movimiento unidireccional único.

La solución de al-Bitrūjī fue negar los movimientos contrarios y suponer que todos los movimientos celestes iban de este a oeste, pero que los planetas se movían con velocidades menores al movimiento diario. Al-Bitrūjī explicó que “las esferas debajo de la esfera superior diferían en la velocidad con la cual seguían a la esfera superior y ésta variaba de acuerdo a su distancia respecto a la esfera superior pues la fuerza de su movimiento dependía de la distancia al primer motor o *primum mobile*, la fuente de todo poder”.

Adoptando una versión de la teoría de al-Bitrūjī acerca de esferas concéntricas con sus movimientos exclusivamente de este a oeste, ciertos autores medievales y de principios de la era moderna eliminaron los movimientos contrarios. Idearon varias explicaciones causales para explicar los movimientos. Como se vio, Mastrius y Bellutus atribuyeron una inteligencia al *primum mobile* y supusieron que los orbes inferiores se movían por medio de fuerzas motrices (impresas) transmitidas sucesivamente. En lugar de una fuerza motriz (impresa), ellos asignaron una inteligencia a cada una de los orbes inferiores, pero no invocaban a las inteligencias innecesariamente.

Clavius defendió la astronomía y cosmología ptolemaica tradicional en lo que se refiere a sus deferentes y a la excéntrica moviéndose entre sí en direcciones opuestas. Además, asumió la opinión tradicional de que el *primum mobile* se mueve de este a oeste para explicar el movimiento diario, y que cada una de las esferas inferiores desde Saturno hasta la Luna tenía su propio movimiento de oeste a este. Como el *primum mobile* se mueve diariamente de este a oeste, éste arrastra a los orbes planetarios inferiores a él, así que ellos también tienen un movimiento diario de este a oeste. Por eso cada orbe planetario tiene su propio movimiento hacia el este y también un movimiento diario simultáneo hacia el oeste. Pero pese a que ambos son movimientos opuestos Clavius rechazó esto. Para Clavius esos dos movimientos simultáneos con direcciones opuestas de los orbes planetarios no eran contrarios según una distinción que él mismo hizo entre movimiento absoluto y movimiento relativo. Su argumento crucial recurre a la analogía de un barco que se mueve a una velocidad máxima de este a oeste (representando al *primum mobile*), mientras su capitán camina a paso lento desde la proa del barco hacia la popa, es decir, de oeste a este (representando al movimiento propio de los planetas):

Bajo este supuesto, no es obvio que el capitán se mueva de este a oeste porque el movimiento del barco es más rápido que el movimiento con el cual él mismo se mueve hacia la dirección contraria, y porque él siempre se aleja más del este y se aproxima al oeste. Sin embargo, ¿acaso él no se movió simultáneamente en relación con el este, es decir, [no se movió] hacia la parte este del barco, pero no absolutamente?³¹⁵ ¿No se ve que si el barco permaneciera impasible el capitán debería moverse absolutamente de oeste a este, ya que éste [el barco] siempre se acerca más al este y se aleja del oeste? Finalmente, ¿no se vería que sucedería lo mismo si el capitán se moviera con un movimiento más rápido que el barco? De este modo, por lo tanto, debería entenderse que los cielos inferiores se mueven de oeste a este bajo el zodiaco del *primum mobile*”.³¹⁶

Esos movimientos no deben calificarse como contrarios porque a cada instante el movimiento propio hacia el este de una esfera planetaria no es igual a su movimiento diario hacia el oeste causado por el efecto de arrastre del *primum mobile*. Tales movimientos serían considerados contrarios sólo si después de referir sus movimientos a un mismo punto fijo, un movimiento de avance se acercara hacia ese punto mientras que el otro movimiento se alejara del mismo. Pero esto no sucede en este caso pues desde algún punto fijo, y para cierto intervalo de tiempo menor a un día, el movimiento diario hacia el oeste de un

³¹⁵ Al mencionar que el capitán del barco se mueve absolutamente quiere decir que desde un marco de referencia instalado en el barco el capitán se mueve hacia el este, pero en un marco fijo fuera del barco, podría ser que se viera que el capitán se desplaza hacia el oeste, según las condiciones.

³¹⁶ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 565.

planeta será mayor que su movimiento propio hacia el este durante el mismo intervalo de tiempo.³¹⁷ Aversa, a diferencia de Clavius, no rechazó los movimientos contrarios. Argumentó que no era necesario un punto fijo para establecer movimientos opuestos, simplemente se podía permitir que dos movimientos opuestos fuesen oblicuos entre sí, moviéndose alrededor de polos diferentes y en trayectorias diferentes. Aunque Aversa aceptaba que con esas condiciones menos estrictas “es imposible que el mismo móvil sea arrastrado con movimientos diferentes en direcciones diferentes”.³¹⁸

Clavius reconoció que esos dos movimientos son llamados comúnmente “movimientos contrarios”, y ello se debe a que son usados los términos opuestos “este” y “oeste”.³¹⁹ Añadió que como en verdad no son contrarios, entonces ninguno era un movimiento violento. Pero, aunque uno de ellos fuese violento, podría perpetuar y preservar su fuerza al mismo nivel porque la causa motriz que produce su movimiento irregular en sí misma es perpetua y capaz de actuar sin pérdida de energía o esfuerzo.³²⁰ La causa motriz, presumiblemente el *primum mobile*, suministrará la energía necesaria requerida para mantener cada movimiento celeste con una velocidad apropiada.

Aversa ofreció una solución más plausible. Solo hay un movimiento para cada orbe o cielo, pero ese movimiento único puede presentarse por causas diversas. Una posible causa podría empujarlo en una dirección y otra causa en otra dirección, incluso en la dirección opuesta. Como resultado de la interacción de esas causas que compiten, una esfera tendería hacia una dirección o hacia otra. Pero se movería en una sola dirección y nunca en direcciones contrarias u opuestas al mismo tiempo.³²¹

³¹⁷ Ibid., p. 566.

³¹⁸ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 566.

³¹⁹ Ibid.

³²⁰ Ibid.

³²¹ Ibid.

Apéndice C

¿Son inconmensurables los movimientos celestes y los terrestres?

Nicolás Oresme estaba en desacuerdo, en particular, con dos declaraciones de Aristóteles acerca de la eternidad del mundo, a) todo lo que tiene comienzo debe tener un final y b) lo que no termina nunca tuvo un comienzo.³²²

Para refutar a Aristóteles, Oresme supuso la eternidad del mundo y argumentó lo siguiente:

Aristóteles trató de probar que todo, tanto sustancia o accidente, o alguna tendencia de cualquier tipo que tuviera un comienzo, tendrá un final... y no puede durar por siempre; y es igualmente imposible que algo que finalmente parece pueda haber estado allí siempre sin tener un comienzo. Como eso no es cierto, y en la primera parte está en contra de la fe, deseo demostrar lo opuesto, de acuerdo con la filosofía natural y con las matemáticas. De este modo será claro que los argumentos de Aristóteles no son concluyentes. En primer lugar, supondré como Aristóteles, aunque ello sea falso, que el mundo y los movimientos de los cielos son eternos por necesidad, sin inicio o fin.³²³

Oresme recurrió a su doctrina de la inconmensurabilidad probable de los movimientos celestes y terrestres, basada en su demostración de que cualesquiera dos proporciones desconocidas son probablemente inconmensurables. Como las proporciones pueden representar magnitudes, Oresme extendió su demostración a dos magnitudes continuas del mismo tipo, como tiempo o celeridad, y supuso que probablemente eran inconmensurables y correspondían por lo tanto a una proporción irracional. Como usaba este concepto para tratar a las celeridades o movimientos celestes, quizás la inconmensurabilidad que menciona se refiere a que los eventos celestes eran esencialmente únicos y no repetitivos. Es decir, dos o más cuerpos celestes no podían tener movimientos tales que hubiera una proporción entre ellos, lo cual haría imposible repetir configuraciones de los dos cuerpos en movimiento. Para contra argumentar a Aristóteles, Oresme imaginó uno o más eventos celestes únicos, cada uno de los cuales terminaba una condición cósmica que había existido por toda la eternidad pasada y los cuales, inmediatamente a partir de ahí,

³²² Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 78.

³²³ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), pp. 78-79. Oresme declara que supone una eternidad del movimiento futuro y lo hace sólo en términos de la filosofía natural e ignorando la fe y la teología.

iniciarían una condición cósmica nueva que permanecería eternamente por todo el futuro.

Lo descrito anteriormente lo ilustró con el movimiento del Sol. El movimiento del Sol en su conjunto fue considerado por los astrónomos como una consecuencia de al menos tres movimientos constituyentes, uno de los cuales era probablemente inconmensurable con los otros. Por ello se dedujo que el centro del Sol, y por lo tanto, la sombra de la Tierra, la cual depende de la posición del Sol, nunca ocuparía o marcaría los mismos lugares dos veces. Por lo tanto, el vértice de la sombra de la Tierra, continua y necesariamente, ocupará un punto tras otro en el que nunca antes había estado y al que nunca regresará. Entonces cada punto que la sombra ocupara en una parte 'iluminada' por la luz solar que llenaba el cielo (la cual ya existía desde toda la eternidad y por ello no tenía un comienzo), se oscurecería y llegaría a su fin. Y en el momento en que el vértice de la sombra de la Tierra se moviera al punto siguiente, la luz solar de nuevo alumbraría el lugar previamente oscurecido, y existiría a partir de entonces por toda la eternidad, de lo cual se sigue que algo que tuvo un comienzo no siempre tiene porqué terminar.³²⁴ Oresme ofreció otro ejemplo, respecto a la suposición universalmente aceptada de que las estrellas y los planetas causan eventos físicos en la región terrestre. Consideró la posibilidad de que un aspecto celeste único, como una conjunción o una oposición, podía provocar la existencia de una especie nueva nunca antes conocida, la cual existiría de ahí en adelante durante un futuro infinito.

Marsilio de Inghen (1330-1396) estaba de acuerdo con las ideas de Oresme pues aseguró que si los movimientos celestes eran inconmensurables, podían generarse especies³²⁵ nuevas que nunca antes existieron y que existirían por toda la eternidad. Oresme estaba convencido de que los movimientos celestes probablemente eran inconmensurables y podían producir nuevos efectos y

³²⁴ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), pp. 79-80. Oresme aplicó un razonamiento similar a los eclipses lunares mostrando que la sombra de la Tierra nunca podía regresar dos veces al mismo punto en la superficie lunar. En la hipótesis de la inconmensurabilidad Oresme concibió un movimiento circular perpetuo el cual no tiene un comienzo ni un fin.

³²⁵ Ibid. Oresme ofreció seis criterios para determinar si las cosas pertenecían o no a la misma especie. En su opinión, los cuerpos celestes que pertenecen a la misma especie deben tener una similitud esencial, ser igualmente nobles, diferir sólo por accidente y ser representados con el mismo nombre, concepto y definición. A lo largo de la presentación de las preguntas de esta cuestión Oresme no tenía una predilección respecto a si los cuerpos celestes pertenecían o no a la misma especie. En cambio, Buridan difería de esto. Pese a mantener una postura neutral parece que creía que los orbes celestes y los planetas no tenían la misma naturaleza ni pertenecían a la misma especie última o irreducible. Aunque aceptó que todos los orbes y las estrellas eran de la misma naturaleza y especie con respecto al *genus* de la sustancia y todos pertenecían al *genus* de los cuerpos simples, también mostró, en cierta medida, diferentes especies dentro del mismo *genus*. Para más detalles ver Grant, E., *Planets, Stars, and Orbs...*, cap. 11.

Marsilio no dio alguna opinión al respecto, salvo que la experiencia no era evidencia suficiente para decidir tal cuestión.

Así los escolásticos empezaron a diferir de Aristóteles y creyeron que un mundo creado, es decir, algo que tenía un comienzo, de verdad podría existir con un futuro eterno. Pero por mucho que el mundo creado pudiera sobrevivir con un futuro infinito, había varios que opinaban que no podía existir por siempre en la forma actual. En el siglo XIII Michael Scot pensó que debido a causas naturales los movimientos celestes nunca cesarían, pero en términos del fin definitivo del mundo, donde se alcanzaría un estado de bienaventuranza (santidad, felicidad) todos los movimientos mundanos cesarían. Tal como está escrito en *Isaías 65*, “Miren, creé cielos nuevos y una Tierra nueva”. Así, el mundo viejo se detendría y uno nuevo sería creado para recibir al bienaventurado y elegido. Con todo, Dios preservaría al mundo actual a través de toda la eternidad.³²⁶ Michael y otros - incluyendo a los jesuitas de Coimbra, Aversa, Amicus y Cornäus- hallaron un apoyo poderoso en las Sagradas Escrituras para suponer que eso no podría ser. Con diferencias menores, la naturaleza de los cambios que tendrían lugar en el Día del Juicio Final, fue algo en lo que casi todos coincidieron.

Los jesuitas de Coimbra creían que en el Día del Juicio Final Dios haría que las inteligencias (o la razón, la mente, el intelecto) detuvieran el movimiento de las esferas celestes. Por lo tanto, el tiempo y el movimiento no existirían más. Animales, plantas y cuerpos combinados, los cuales ahora sostienen la vida humana, dejarían de existir, aunque los elementos antes mencionados seguirían existiendo, pero en un estado más perfecto que antes. Y como Dios declaró en *Isaías 30*, “la luz de la Luna tendrá una brillantez como la del Sol y el Sol tendrá siete veces su brillantez acostumbrada”. “El hombre alcanzará su más grande perfección y será como los ángeles”.³²⁷

Aversa estaba de acuerdo con la mayoría de las opiniones anteriores pero creía que habría una continuidad entre el viejo mundo y el ‘nuevo’ mundo³²⁸. Él estaba de acuerdo con los conimbricenses respecto a que los movimientos celestes cesarían y a que un brillo nuevo alumbraría los cuerpos de los cielos. Además, los cielos y los elementos no serían destruidos, sólo perfeccionados. El cese de los movimientos celestes evitaría las acciones de los elementos y negaría la acción de los contrarios. En consecuencia, no habría creación ni corrupción. Aversa se

³²⁶ Por ejemplo, los jesuitas de Coimbra creían que si Dios lo deseaba, preservaría el estado actual del mundo por siempre.

³²⁷ Grant E., *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), p. 81.

³²⁸ Ibid.

apartó de los conimbricenses afirmando que algunos cuerpos combinados seguirían existiendo por siempre sin sufrir cambios debido a que la estructura del universo sería la misma en el Día del Juicio Final, a pesar de ciertos cambios significativos. Declaró que un cielo nuevo y una Tierra nueva serían creados, considerados como cambios accidentales, más que como cambios sustanciales.

¿Serían adecuadas o se alterarían en el nuevo mundo estrategias de conservación que Dios aplicó al mundo viejo? Amicus³²⁹ pensó que no. Sin un tipo distinto de ayuda divina para preservar y sostener el mundo alterado en el Día del Juicio Final habría caos, pues en la región celeste sin movimiento los rayos del Sol siempre serían fríos. Dios debió tener en cuenta esto y estableció reglas y leyes que permitirían a tal mundo existir por siempre. Amicus parece haber interpretado el grado de diferencia entre los mundos antes y después del Día del Juicio Final suficientemente grande como para garantizar reglas divinas nuevas que perpetuaran la eternidad del mundo alterado. Si lo anterior implicaba que creía que los mundos antes y después del Día del Juicio Final serían diferentes, entonces su pensamiento al respecto difería radicalmente de su contemporáneo Aversa, quien como se dijo, veía diferencias entre esos mundos sólo como un accidente. Amicus y Aversa representaban los dos puntos de vista más defendidos por los escolásticos.

³²⁹ Ibid., p. 82

Apéndice D

Los cuerpos celestes comparados con los cuerpos sublunares animados e inanimados

Los escolásticos medievales y de principios de la época moderna compararon los cuerpos celestes incorruptibles con los cuerpos animados e inanimados corruptibles de la región sublunar para abordar el problema de la perfección de la región celeste. En esta cuestión los autores escolásticos divergieron radicalmente de Aristóteles quien creía que la región celeste era más perfecta que la región terrestre y que la primera estaba viva, de hecho era divina,³³⁰ de lo cual infirieron que era más perfecta que todas las cosas vivientes, incluyendo al hombre.³³¹ De hecho la divinidad de los cielos nunca formó parte de la cosmología medieval porque era considerada incompatible con las ideas de la fe cristiana.

Los escolásticos, luego de negar la divinidad de los cielos, se preguntaron si los cielos estaban vivos. Aunque Tomás de Aquino dudó sobre la animación, no consideró el problema relevante para la fe.³³² Durante la Edad Media la mayoría de los filósofos naturales negaron que la región celeste fuera animada y en los siglos XVI y XVII casi todos los escolásticos rechazaron la idea de que los cuerpos celestes estuvieran vivos. Así, cuando los escolásticos compararon los cielos con la región terrestre, ellos tenían en mente comparar los cielos inanimados con la región sublunar inanimada. Con esa comparación la mayoría aceptó que la región celeste era más perfecta que la región terrestre.³³³

Posteriormente, a través de la discusión entre algunos escolásticos sobre si los cuerpos inanimados eran superiores a las cosas vivientes en la Tierra se llegó a una ruptura con el punto de vista aristotélico respecto a que la región celeste era más perfecta que la terrestre.³³⁴ Se afirmó que no solo el hombre es más perfecto que los cielos, sino que también lo eran los animales e incluso algunas plantas e insectos. La región celeste ya no era la entidad física más relevante en el mundo. Sin embargo, todavía se pensaba que era incomparablemente más perfecta que la

³³⁰ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs...*, (1996), pp. 236-236.

³³¹ Ibid. "Porque hay otras cosas mucho más divinas en su naturaleza, incluso que el hombre, por ejemplo los cuerpos que circundan los cielos".

³³² Ver Litt, (1963), pp. 108-109; también Dales, (1980), pp. 543-544.

³³³ Ibid. Para más detalles ver Grant E. *Planets, Stars, and Orbs. ...*, capítulo 18 ("Sobre los movimientos celestes y sus causas"), (1996).

³³⁴ Para una explicación más amplia ver Grant E. *Planets, Stars, and Orbs. ...*, (1996), pp. 236-239.

Tierra inanimada. Uno de quienes ayudó a descartar ese punto de vista tradicional fue Riccioli (1598-1671) al considerar como un todo a las cosas vivientes en la Tierra junto con la Tierra misma. Para ello Riccioli dio 29 argumentos a favor y en contra de la centralidad cósmica del Sol en su *Nuevo Almagesto* en 1651. Riccioli concluyó su primer argumento afirmando que “la Tierra con sus animales vivientes, y en especial los racionales, es más noble que el Sol”.³³⁵ Para justificar tal afirmación, Riccioli se refirió a que “el centro del universo es el lugar más noble en mundo, ya que tiene la misma distancia hacia todas las partes de sus extremos y mantiene una posición media. Riccioli añadió que el centro del mundo es el lugar más noble sólo en el orden natural de las cosas, y en el orden sobrenatural “el centro de la Tierra es el lugar más bajo y el más miserable”.³³⁶ Pero si en el orden natural el centro del mundo es el lugar más noble, ¿cuál cuerpo lo ocupa, el Sol o la Tierra? Para Riccioli, por supuesto, la Tierra ocupa el centro y lo hace porque:

la Tierra no debe ser considerada simplemente como un elemento puro de tres o cuatro elementos, sino [que debe ser considerada] como uno sólo junto con las plantas y los animales vivientes, pero especialmente con los hombres para quienes todas las estrellas fueron hechas y [por las que] son movidas, como Dios lo atestigua en *Deuteronomio*... Éste es el cuerpo más excelente de todos los cuerpos del mundo si lo juzgamos por la magnitud de la virtud y la dignidad del fin [o meta], como es propio, en lugar de la magnitud de la masa [de los cuerpos].³³⁷

En el pasaje anterior Riccioli, a diferencia de la interpretación escolástica tradicional de la cosmología aristotélica, muestra un énfasis en la importancia del centro del universo. Debido a que éste coincide con el centro de la Tierra, el centro del mundo en la cosmología medieval nunca fue considerado importante excepto como el presunto punto alrededor del cual se mueven los orbes celestes con movimiento circular uniforme.³³⁸

Con el advenimiento del sistema copernicano ocurrió un cambio dramático. El centro del universo fue la parte más importante del cosmos porque solía

³³⁵ Grant E. *Planets, Stars, and Orbs. ...*, (1996), p. 240

³³⁶ Ibid.

³³⁷ Ibid.

³³⁸ Ibid., p. 241. Durante la Edad Media el papel del centro geométrico del mundo estaba más comprometido por la aceptación generalizada de las esferas excéntricas y epicicloides que se movían alrededor de otros centros. Para una discusión más amplia ver Grant E. *Planets, Stars, and Orbs. ...*, cap. 13, secc. III.4-5.

suponerse que éste coincidía con el centro del Sol.³³⁹ Como Nicolás Copérnico explicó,

Inmóvil... en medio de todo está el Sol. Para este templo tan hermoso, ¿quién colocaría esa lámpara en otra o en una mejor posición que esa desde la cual puede iluminar todas las cosas al mismo tiempo? Por eso el Sol es apropiadamente llamado por algunas personas la linterna del universo, su mente por otras, y su gobernante por otras más. [Hermes] el tres veces más grande se califica como el Dios visible y Electra de Sófocles el que todo lo ve. Por lo tanto, como si estuviera sentado en un trono, el Sol gobierna a la familia de los planetas girando a su alrededor.³⁴⁰

La anterior es una gran alabanza al Sol basada en que es el de enmedio o el cuarto planeta de los siete conocidos y no era muy diferente a la que Copérnico consideraba sobre el Sol que ocupaba el centro de un universo esférico alrededor del cual todos los otros planetas se mueven. Hasta el *Nuevo Almagesto* de Riccioli sucedió que Copérnico glorificó el centro del mundo geométrico, pero tuvo poco impacto en la cosmología escolástica. Los escolásticos con la Tierra en el centro de su sistema mundial hallaron pocas razones para ensalzar las virtudes de un centro que fue considerado inconmensurablemente inferior que la nada en la región celeste.

Riccioli cambió todo eso usando argumentos en favor o en contra de la teoría copernicana que envolvían una comparación entre las condiciones de la Tierra con las de otros planetas pero sin involucrar sus movimientos.³⁴¹ Decidió luchar contra los copernicanos en su propio terreno, y lo hizo demostrando que la Tierra era superior al Sol. Para hacer una comparación plausible, Riccioli aceptó al centro del mundo como el lugar más noble en el orden natural y estaba de acuerdo con Copérnico en que el centro del universo es el lugar más perfecto.³⁴²

³³⁹ Ibid. Estrictamente hablando Copérnico no identificó el centro del cosmos con el centro del Sol sino que sólo dijo que “cerca del Sol está el centro del universo”.

³⁴⁰ Ibid.

³⁴¹ Éste es el primero de cuatro argumentos generales que Riccioli distinguió para organizar los argumentos a favor o en contra para quitar a la Tierra del centro del universo. Ellos involucraban una comparación de la Tierra con: “[1] las condiciones de los planetas pero sin involucrar sus movimientos; o [2] el movimiento de los planetas en sí mismos; o [3]... otros movimientos observados en los cielos; o, finalmente [4]... los movimientos o mutaciones observadas en la esfera de los elementos”.

³⁴² Para más detalles ver Grant E. *Planets, Stars and Orbs. ...*, pp. 242-243.

Bibliografía

Los textos citados en esta tesis se han marcado con letras negritas. El resto de los títulos se incluyen para ofrecer al lector una bibliografía más amplia sobre el tema de la tesis.

1. Ariew, R., *Medieval Cosmology. Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*, University of Chicago Press, Chicago (1985).
2. Barker, P., “Copernicus and the Critics of Ptolemy”, *Journal for the History of Astronomy*, vol. 30, no. 101, pp. 343–358 (1999).
3. Barker, P., and Goldstein B R, “The Role of Comets in the Copernican Revolution, *Studies in History and Philosophy of Science*”, *Journal Elsevier, Studies in History and Philosophy of Science Part A*, vol. 19, no. 3, pp. 299-319 (1988).
4. Berggren, J. L., “The Relation of Greek *Spherics* to Early Greek Astronomy”, In Bowen, *Science and Philosophy in Classical Greece (Sources and Studies in the History and Philosophy of Classical Science 2)*, London, pp. 227-248 (1991).
5. Bergman, J., “The establishment of a heliocentric view of the universe”, *Journal of the American Scientific Affiliation*, Bowling Green State University, Bowling Green, Ohio, pp. 225-230 (1981).
6. Brotóns, V. N., “The Reception of Copernicus in Sixteenth-Century Spain: The Case of Diego de Zúñiga”, *Chicago Journals*, vol. 86, no. 1, pp. 517-521 (1995).
7. Brummelen, G. V., *The Mathematics of the Heavens and the Earth: The Early History of Trigonometry*, Princeton University Press, N J (2009).
8. **Bushell W. F., “Calendar Reform”, *The mathematical gazette*, vol. 45, No. 352 (mayo, 1961).**
9. Byrne, P. M., *On the Eternity of the World (De Aeternitate Mundi)*, Markette University Press, Milwaukke (1964).
10. Catesby, R., *The Almagest*, vol. 16 in Robert Maynard Hutchins , *Ptolemy, Copernicus, Kepler: Great Books of the Western World*, Encyclopaedia Britannica (1952).
11. **Cía Lamana D., *La Cena de las Cenizas. Giordano Bruno*, serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/brunocia.pdf [consulta: 5 de febrero de 2015].**
12. Copernicus, Nicholas [1543], *Nicholas Copernicus On the Revolutions*, Jerzy Dobrzycki; tr. and commentary by Edward Rosen, MacMillan, London (1978).
13. Crowe, M. J., *Theories of the World: From Antiquity to the Copernican Revolution*, Dover Courier Publications, NY (1990).
14. Dales, R. C., “The De-animation of the Heavens in the Middle Ages”, *Journal of the History of Ideas*, vol. 41, no. 4, pp. 531-550 (1980).
15. Dee, John, *Mathematicall Preface to the Elements of Geometrie of Euclid of Megara* [1570], Science History Publications, NY (1975).
16. **Dicks, D. R., *Early Greek Astronomy to Aristotle*, Cornell University Press, NY (1970).**
17. Dobrzycki J., Szczucki L., “On the Transmission of Copernicus' *Commentariolus* in the Sixteenth Century”, *Journal for the History of Astronomy*, Polish Academy of Sciences, vol. 20, no. 1, pp. 25-28 (1989).

18. Doland, E. and Maschler, C., *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo*, University of Chicago Press, Chicago (1969). First published in French (1908).
19. Dreyer, J. L. E., *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, rev. Stahl W H, Dover, NY (1953). 1st ed. titled *History of the Planetary Systems from Thales to Kepler* (1906).
20. Eastwood, B. S., "Heraclides and Heliocentrism: Texts, Diagrams, and Interpretations", *Journal for the History of Astronomy*, vol. 23, no. 4, pp. 223-260 (1992).
21. Emmer, M., "Art and Mathematics. The Platonic Solids". *Leonardo*, pp. 277-282 (1982).
22. Fara, P., "Claiming Copernicus", *Clara College-Endeavour, Elsevier*, vol. 29, no. 4, pp. 148-149 (2005).
23. Finocchiaro, M. A., *Defending Copernicus and Galileo: Critical Reasoning in the Two Affairs*, Springer, Boston Studies in the Philosophy and History of Science, University of Nevada, Las Vegas (2010). First Published 1543.
24. Gillispie, Charles C., *The Edge of Objectivity, An Essay in the History of Scientific Ideas*, Princeton University Press, Princeton (1969).
25. Gingerich, O. and J. MacLachlan, *Nicolaus Copernicus: Making the Earth a Planet*, Oxford University Press, Oxford (2005).
26. _____ *The Censorship of Copernicus' De Revolutionibus*, Annali Istituto e Museo di storia della Scienza di Firenze (1981).
27. **Goldstein B. R., "Copernicus and the origin of his Heliocentric System", *Journal for the History of Astronomy*, 33, pp. 219–235 (2002).**
28. Grant, E., "A New Look at Medieval Cosmology, 1200-1687", *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 129 no. 4, pp. 417-432 (1985).
29. _____ ***A Source Book in Medieval Science*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, (1974).**
30. _____ "Celestial Orbs in the Latin Middle Ages", *Isis*, vol. 78, no. 2, pp. 152-173 (1987).
31. _____ "Medieval Explanations and Interpretations of the Dictum that Nature Abhors a Vacuum", *Traditio*, vol. 29, pp. 327-355 (1973).
32. _____ **"In Defense of the Earth's Centrality and Immobility: Scholastic Reaction to Copernicanism in the Seventeenth Century", *Transactions of the American Philosophical Society*, American Philosophical Society, Philadelphia, vol. 74, no. 4 (1984).**
33. _____ *Much Ado About Nothing: Theories of Space and Vacuum from the Middle Ages to the Seventeenth Century*, Cambridge University Press, NY (1981).
34. _____ *Physical Science in the Middle Ages*, Wiley, NY (1971).
35. _____ ***Planets, Stars, and Orbs: The Medieval Cosmos, 1200-1687*, Cambridge University Press, Cambridge (1996).**
36. _____ *Science and Religion, 400 B.C. to A.C. 1550: From Aristotle To Copernicus*, Greenwood Press, Baltimore, Md (2008).
37. **Hanson R. Norwood, Eudoxos and 'Plato's Problem', *Constellations and Conjectures*. Synthese Library, vol. 48, pp. 41-60 (1973).**
38. **Heilbron, J. L., *The Sun in the Church: Cathedrals as Solar Observatories*, Harvard University Press, Harvard (2002).**
39. Henry, J. "Defending Copernicus and Galileo: Critical Reasoning in the Two Affairs", *Intellectual History Review*, Taylor & Francis, vol. 20, no. 4, pp. 527-530 (2010).

40. Howell, K. J., *God's Two Books: Copernican Cosmology and Biblical Interpretation in Early Modern Science*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN (2002).
41. Hyman, A., "A Treatise Concerning the Substance of the Celestial Sphere" (A translation of *De substantia orbis*), In Arthur Hyman and James J Walsh, *Philosophy in the Middle Ages: The Christian, Islamic, and Jewish Traditions*, Hackett, Indianapolis (1973).
42. Jardine, N., "The Significance of the Copernican Orbs", *Journal for the History of Astronomy*, vol. 13, pp. 168-194 (1982).
43. Lerner, Michel-Pierre, "Le Problème de la Matière Cèleste Après 1550: Aspects de la Bataille des Cieux Fluides", *Revue d'histoire des sciences*, vol. 42, no. 42-3, pp. 255-280 (1989).
44. Leveillee, N. P., "Copernicus, Galileo and the Church: Science in a Religious World", *Student Pulse*, vol. 3, no. 5, pp. 1-1 (2011).
45. Lindberg, D. C., "Cosmology", in *Science in the Middle Ages*, University of Chicago Press, Chicago (1978).
46. **Macrobio, *Comentarios al Sueño de Escipión*, Siruela, edición de Jordi Raventós, España (2005).**
47. **Mark Nispe, *Wittenberg Reforms in the University and the Early Reaction to Copernicus, cultural history of science*, (1997), p. 17.**
48. **McKirahan R. D., "Aristotle's Subordinate Sciences", *British Journal for the History Science*, vol.11, no. 03, pp. 223-253 (1978).**
49. McMenomy, Christie, *The Discipline of Astronomy in the Middle Ages*, PhD diss., University of California, L A (1984).
50. Mínguez Pérez, C., *Sobre las Revoluciones (de los Orbes Celestes)*, Colección Clásicos del Pensamiento, Gama Tracia, Madrid (1994).
51. Moss, J. D., *Novelties in the Heavens: Rhetoric and Science in the Copernican Controversy*, University of Chicago Press, Chicago (1993).
52. **Musgrave Alan, *Essays on Realism and Rationalism*, Rodofi, Atlanta, GA. (1999).**
53. Osler, M. J. and Farber, P. L., *Celestial Perfection from the Middle Ages to the Late Seventeenth Century*, Cambridge University Press, NY (1985).
54. **Paciolli Luca, *La divina proporción*, tr. Calatrava Juan, Akal (1991).**
55. **Pedersen, Olaf, *A Survey of the Almagest. With Annotation and New Commentary by Alexander Jones*, Springer, NY (2010).**
56. _____, "In Quest of Sacrobosco", *Journal History Astronomy*, vol. 16, no. 3, pp. 175-220 (1985)
57. Peurbach, G., *Peurbach's Theoricae Novae Planetarum*. A Translation with Commentary by E. J. Aiton, *Osiris*, 2nd ser., 3 (1987). Reprinted Cambridge University Press, NY (1977).
58. Rosen, E., "Calvin's attitude toward Copernicus", *Journal of the History of Ideas*, vol. 21, no. 3, pp. 431-441 (1960).
59. _____ "Was Copernicus' Revolutions Approved by the Pope?", *Journal of the History of Ideas*, vol. 36 no. 3, pp. 531-542 (1975).
60. _____ *Copernicus and his Successors*, Continuum International Publishing Group, Ohio (2003).
61. _____ *Galileo's Misstatements About Copernicus*, Hambledon Press, London (1995).

62. Sarno, R. A., “A Sixteenth-Century War of Ideas: Science Against the Church”, *Annals of Science*, vol. 25, no. 3, pp. 209-227 (1969).
63. **Schwartzmann, F., *Historia del Universo y Conciencia*, Santiago: Arcis-Lom (2000).**
64. Shank, M. H., “Regiomontanus and Homocentric Astronomy”, *Journal for the History of Astronomy*, vol. 29, pp. 157–66 (1998).
65. Shrimplin, V., “Michelangelo and Copernicus: A Note on the Sistine Last Judgement”, *Journal for the History of Astronomy*, pp. 156-160 (2000).
66. _____ “Michelangelo, Copernicus and the Sistine Chapel”, *Journal Cambridge University Press*, Proceedings of the International Astronomical, vol. 5, Symposium S260, pp. 333-339 (2009).
67. Singham, M., “The Copernican Myths”, *Physics Today*, American Institute of Physics, vol. 60, no. 12, pp. 48-56 (2007).
68. **Sorabji, R. *Time, Creation and the Continuum: Theories in Antiquity and the Early Middle Ages*, University of Chicago Press, Chicago (1983).**
69. Stocks, J. L., *On the Heavens*, The University of Adelaide, Australia (2002).
70. Swerdlow, N., “Pseudodoxia Copernicana: or, Enquiries Into Very Many Received Tenets and Commonly Presumed Truths, Mostly Concerning Spheres”, *Archives Internationales d’ Histoire des Sciences*, 26 (1976).
71. _____ “**The Derivation and First Draft of Copernicus’s Planetary Theory: a Traslation of the Commentariolus with Commentary**”, *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 117 no. 6, pp. 423-512 (1973).
72. **Tauber E. Gerard, *Man and the Cosmos*, Greenwich House, N. Y. (1979).**
73. Tommer, G. J., *Ptolemy’s Almagest*, Springer, NY (1984).
74. Weisheipl, J. A., “The Celestial Movers in Medieval Physics”, *Thomist* 24 (1961).
75. Westman, R. S., “Essay Review: The Poetic Structure of the World: Copernicus and Kepler”, by Fernand Hallyn, *Journal for the History of Astronomy*, pp. 142-144 (1993).
76. _____ “**The Melanchthon Circle, Rheticus, and the Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory**”, *Journal the History of Science Society*, vol. 66, no. 2, pp. 164-193 (1975).
77. _____ “The Copernicans and the Churches”. In David C Lindberg and Ronald L. Numbers, *God and Nature: Historical Essays on the Encounter Between Christianity and Science*. University of California Press, Berkeley, LA (1986).
78. _____ *The Copernican Achievement*, University of California Press, Berkeley, LA (1975).
79. _____ *The Copernican Question: Prognostication, Skepticism, and Celestial Order*, the Fletcher Jones Foundation, University of California Press, Berkeley, LA (2011).
80. **<http://www.astro-interest.com/2014/07/how-do-venus-and-mercury-act-as-morning.html> [consulta: junio de 2014].**
81. **<https://conquer-the-world-lol.blogspot.com> [consulta: abril de 2015].**