



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Análisis de las posibles causas (estéticas,
sociales, científicas y técnicas, etc.) de la for-
mulación del modelo heliocéntrico de
Nicolás Copérnico”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
F Í S I C O
P R E S E N T A :
JULIO MARTÍN ARRIAGA ROMERO



DIRECTOR DE TESIS: JOSÉ LUIS ÁLVAREZ GARCÍA

2006

FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM



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.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Arriaga
Romero
Julio Martin
55 29 03 64
Universidad Nacional Autonoma de Mexico
Facultad de ciencias
Fisica
096534027

2. Datos del tutor

M en C
José Luis
Alvarez
García

3. Datos del sinodal 1

Dr
Shahen
Hacyan
Saleryan

4. Datos del sinodal 2

Dr
Juan Manuel
Lozano
Mejía

5. Datos del sinodal 3

Dr
Luis
Estrada
Martínez

4. Datos del sinodal 4

Dr
Marco Antonio
Martínez
Negrete

5. Datos del trabajo escrito

Análisis de las posibles causas (estéticas sociales técnicas etc) de la formulación del modelo heliocéntrico de Copérnico
60 p
2006

DEDICATORIA

A Isabel Romero,
Alejandra Arriaga
y Fabiola Arriaga;
mi Familia:
Por su apoyo y
comprensión.

A Rocío Flores;
mi Maestra de Danza
y mucho más:
Por su dedicación,
sabiduría y paciencia
como maestra
y como persona.

A *Beatriz Beattie,*
Julieta Gómez,
Alma Moreno
y ***Paciencia Ontañón;***
mis Amigas:
Por los momentos
que hemos compartido.

A la UNAM.

AGRADECIMIENTOS

A Isabel R., Alejandra A. y Fabiola A., por el apoyo que me han brindado durante todo este tiempo.

A Beatriz, Julieta, Alma y Paciencia, por compartir conmigo mucho más que la barra y la brea en clase; por darme ánimos; por su entusiasmo, honestidad y amabilidad.

A mi director de tesis, el Maestro José Luis Álvarez, quien durante este año guió mi trabajo de manera atingente.

A Dr. Shahen Hacyan, Dr. Juan Manuel Lozano, Dr. Luis Estrada y Dr. Marco Antonio Martínez, mis cuatro sinodales que con sus comentarios y observaciones pulieron y refinaron este trabajo.

A la Dra. Paciencia Ontañón, del Departamento de Letras Hispánicas de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, quien también pulió y refinó este trabajo de manera incondicional y entusiasta.

Al M. en C. Marco Arturo Moreno del Instituto de Astronomía de la UNAM campus Ensenada y a la Dra. Ma. Paz Ramos del CEIICH UNAM por sus comentarios y observaciones.

Al Dr. José Antonio Bravo, por facilitarme su equipo de cómputo siempre que lo necesité, igualmente gracias a Fabiola Arriaga por su ayuda en el proceso de captura.

Al personal de las bibliotecas del Instituto de Astronomía en CU y del Observatorio Astronómico Nacional en Ensenada, por gestionar de manera ágil el intercambio de materiales bibliográficos.

A los maestros y alumnos de los talleres libres de danza de la UNAM, donde la reunión de formaciones, intereses y diversos puntos de vista nutrió considerablemente de ideas este trabajo; de manera especial gracias a: Rocío Flores, Manuel Ponce, Jania C. Quintero, Hugo Santamaría, Gabriel Reséndiz, Haydar Martínez, Francisco Moreno y Lucero García.

Al Dr. José L. Córdova de la UAM. unidad Iztapalapa, por su vocación magisterial.

A la Fis. Magdalena Vera, al Fis. Jorge Pérez y a Jorge Ceballos del laboratorio de COF del Departamento de Física, por el apoyo que me brindaron y por todo lo que aprendí de ellos.

A todos los Maestros de la Facultad de Ciencias que contribuyeron en mi formación como Físico.

A la UNAM; como dice Tomás Mojarro: Gracias, ¡pero de veras!

Contenido

Índice	1
Prefacio	2
Capítulo 1. Antecedentes	5
Universidades en el Renacimiento.....	9
El humanismo del siglo XVI y la educación en el Renacimiento.....	9
Ciencia, tecnología y sociedad en el Renacimiento.....	11
Capítulo 2. Nicolás Copérnico	13
Orígenes e infancia.....	13
Educación.....	15
Educación preparatoria.....	15
Cracovia.....	15
Bolonia y Roma.....	16
Padua y Ferrara.....	17
Capítulo 3. Estructura de las obras de Copérnico	18
La traducción del epistolario de Teofilacto.....	18
El <i>Comentariolus</i>	19
El <i>De revolutionibus orbium coelestium</i>	21
El prefacio de A. Osiander.....	21
La dedicatoria de Copérnico a Pablo III.....	22
Libros I-VI: Estructura de la exposición.....	25
Capítulo 4. La estética del modelo heliocéntrico	27
La simetría y la armonía del modelo heliocéntrico.....	27
El ecuante y el movimiento circular uniforme.....	33
Dos retablos del Universo: ¿Es el heliocentrismo más sencillo que el geocentrismo?.....	35
Capítulo 5. El heliocentrismo, ¿una nueva filosofía?	41
La filosofía del modelo heliocéntrico.....	41
La física del modelo heliocéntrico.....	43
Capítulo 6. Aspectos técnicos y sociales del heliocentrismo	45
Las observaciones.....	45
Aspectos sociales.....	47
Capítulo 7. Conclusiones	53
Anexo 1 El problema del ecuante	55
Bibliografía	57

Prefacio

El análisis clásico de un proceso revolucionario en ciencia consiste, a grosso modo, en la sustitución de antiguos paradigmas¹ que entran en “crisis” por nuevos paradigmas que funcionen o resuelvan los problemas de manera más eficiente que el canon antecesor (Kuhn, 1962). Considerando como dialéctica de tal proceso la que consiste en tomar una “gran fotografía espacial y temporal” (Ollman, 1998) de las condiciones pasadas o “preexistentes”, donde se pueda encontrar el origen de la crisis de una institución o paradigma, esa “fotografía” proyectarla en el presente para dilucidar cuales de las condiciones del pasado se mantienen o repiten, las cuales podrían ser fuentes potenciales de crisis, o por el contrario decidir si se desean conservar para el futuro por considerarse benéficas; Por último, después de analizarse pasado y presente se comienza a planear el futuro, i.e; la construcción e instauración de nuevos paradigmas o instituciones que superen a sus antecesores.

Los paradigmas instaurados no son comparables a los anteriores (inconmensurabilidad), pero si equivalentes ya que están fundamentados sobre las mismas bases que sus antecesores, en física un ejemplo de esto es la teoría de la relatividad, cuyas nociones de masa, espacio y tiempo son equivalentes pero no homólogas a las nociones de masa, espacio y tiempo de la mecánica newtoniana; es decir, tales nociones “operan en universos distintos” (Kuhn 1962), el de las fuerzas centrales y el de la física de campos, aunque se suele considerar que la mecánica newtoniana es un caso especial de la relativista.

El caso que se conoce como “revolución copernicana” es especial, ya que, según el análisis mencionado arriba no se le podría considerar como una revolución: de entrada el paradigma que fue sustituido (modelo ptolomeico) no se encontraba inmerso en una crisis (Gingerich, 1975), como lo han difundido algunos autores, y el nuevo paradigma (heliocentrismo) además de ser homólogo a su antecesor no resulta a primera vista más eficiente (o más sencillo) como para considerar la sustitución urgente del geocentrismo. Autores como Laudan y Lakatos proponen que en lugar de usar el termino paradigma se utilice el de “*programa de investigación*” que implica una sucesión de teorías. Cada

¹ El concepto de Paradigma se aplica en dos sentidos, uno como realización o forma acertada de resolver un problema; y el otro como conjunto de valores compartidos como son los métodos, las normas y las generalizaciones.

teoría implica una nueva y más detallada articulación de los compromisos compartidos (Beltrán et. all, 1995). Karl Popper considera que las revoluciones científicas tienen una componente científica y otra ideológica, lo cual implica que las revoluciones también serán generadas por procesos extra-científicos

En todos los procesos revolucionarios en ciencia hay factores extra-científicos que van propiciando o frenando, según sea el caso, el advenimiento de los nuevos paradigmas, pero muy probablemente este tipo de factores haya jugado un papel comparable o incluso de mayor importancia que los puramente científicos en la formulación de un “universo heliocéntrico”. ¿Tomó su autor, Nicolás Copérnico, esa “gran fotografía espacial-temporal”? Y de haberlo hecho, ¿qué es lo que más llamó su atención de esta?, ¿Que trataba de innovar Copérnico al escribir su *commentariolus* a principios del siglo XVI y madurar su modelo durante casi treinta años y finalmente publicarlo en 1543 en su libro *Sobre las revoluciones de las esferas celestes*?

Copérnico no fue el primero en proponer tal sistema cosmológico: Aristarco de Samos(310 – 230 a.n.e.) lo hizo en el siglo III a.n.e. (Kuhn, 1981; Alvarez, 2004); sin embargo la idea de que la tierra era el centro del universo se mantuvo sobre todo gracias a la autoridad de Aristóteles, (y esto fue así durante dieciocho siglos). Una tierra que gira alrededor del sol entra en contradicción directa con la física aristotélica (por ejemplo el alcance de los proyectiles no sería el mismo para los que son lanzados hacia el oeste que para los lanzados hacia el este) y con las creencias religiosas de algunos cultos; Plutarco relata que Aristarco de Samos fue acusado de impiedad por haber desplazado la tierra “del corazón del universo” (Álvarez, 2004), a pesar que la obra de este solo se conoce por referencias que hace Arquímedes de ella en su libro *el reloj arena* (o arenario), los Doxógrafos también lo mencionan y a pesar de que no relatan que tan desarrolladas eran sus ideas o sus cálculos respecto al heliocentrismo (Heat, 1958) es casi seguro que la falta de un aparato matemático para calcular el movimiento de los cuerpos celestes también fue un obstáculo para el arraigamiento del heliocentrismo.

El universo aristotélico se desarrolló hasta alcanzar su madurez en el siglo II d.n.e. con Claudio Ptolomeo que con su sistema de epiciclos y deferentes (ingenioso y técnicamente desarrollado) permitía un grado de descripción y predicción aceptable para el movimiento de los cuerpos celestes; este sistema estaba acorde con la física aristotélica, y aunque entraba en contradicción con la creencia católica de que la tierra

tenía la forma de un tabernáculo, fue tolerado ya que estaba de algún modo de acuerdo con algunos pasajes de la biblia, en especial con el pasaje donde Josué ordena al sol detenerse (Kuhn, 1981; Pacholczyk, 1995); así este sistema perduró sin mayores modificaciones durante prácticamente un milenio.

En el siglo XIV el renacimiento europeo cambió el panorama para todo ámbito de la cultura existente en este continente; la invención de la imprenta tipográfica y una clase media cada vez más próspera aumentó la demanda de materiales escritos, con lo que se retomó para su impresión los textos antiguos. Este auge en el intercambio de información cambió las condiciones sociales y de poder en Europa; en Alemania a principios del siglo XVI el surgimiento de una reforma religiosa encabezada por M. Lutero, causó un cisma en el seno de la iglesia católica (la cual tenía una gran influencia sobre la actividad científica de ese entonces). Como consecuencia de la reforma de Lutero, el clero católico (dirigido por el Papa Pablo III) comenzó una “contrarreforma” o reforma católica con aspectos tanto luminosos como oscuros. La parte luminosa de esta reforma católica y la educación humanista que se impartía en las universidades de la época, tal vez le permitieron a Copérnico encontrar las condiciones idóneas para la maduración y la posterior publicación de su obra astronómica.

Capítulo 1. Antecedentes

En el siglo VI a.n.e., el rapsoda Jenófanes de Colofón, harto de los versos homéricos que recitaba de ciudad en ciudad y que atribuían rasgos antropomórficos a los dioses, propuso a los griegos un solo dios, cuya forma era una esfera. Así la esfera apareció como la figura esencial en la construcción de cosmologías, para convertirse en una necesidad mental que guiará al pensamiento religioso, filosófico y científico de Occidente a lo largo de los siglos.

A partir del siglo VI a.n.e. se proponen diversas cosmologías elaboradas de acuerdo con mecanismos que intentan dar cuenta de los movimientos celestes, y en ellas la esfera y el círculo son parte esencial. En la cosmología de Anaximandro (610-547 a.n.e.), los cielos esféricos encierran la atmósfera de una Tierra cilíndrica y existen varias capas de esta envoltura para que ahí se acomoden los otros objetos estelares. El Sol es un cuerpo esférico cristalino lleno de fuego, situado en el borde de un gigantesco anillo que gira alrededor de la Tierra en una trayectoria circular (Koestler, 1963).

Más adelante, Pitágoras (580-¿500? a.n.e.) plantea que la Tierra es una esfera, alrededor de la cual el Sol, la Luna y los planetas giran en círculos concéntricos, fijo cada uno de estos cuerpos a una esfera. En su veloz revolución, estos cuerpos producen individualmente un susurro en el aire que, en conjunto, conforman una música celestial: la armonía de las esferas (Koestler, 1963; Copleston, 1974).

En el siglo V a.n.e., Parménides (504-450 a.n.e.) señala en su “Poema” que el Ser es *uno, eterno, indivisible, inmóvil y sin límites*. En este mismo siglo los discípulos de Pitágoras, sostuvieron, al igual que su maestro, que la Tierra era esférica y que se movía en el espacio. Sin embargo los pitagóricos mezclaban sus deducciones con el misticismo y la numerología. Tenían evidencia de nueve movimientos circulares en el cielo: el de las estrellas, el de los cinco planetas conocidos y los de la Tierra, la Luna y el Sol. Pero como 9 era un número “imperfecto”, agregaron otro cuerpo para tener 10 movimientos e inventaron una contra-Tierra protectora. Así, en la revolucionaria concepción de Filolao (480-400 a.n.e.), la Tierra aparece como una esfera que no ocupa el centro del Universo. En su lugar arde un fuego central que ilumina al Sol. Entre este fuego y la Tierra da vueltas la contra-Tierra, la cual no puede verse desde el hemisferio donde se pensaba que vivía la población terrestre. Los cuerpos celestes, incluidos los otros cinco planetas conocidos, giran en trayectorias circulares dentro de una envoltura de fuego (Koestler, 1963).

Al comenzar el periodo de decadencia de la *polis* griega, Platón (428-347 a.n.e.) utilizó algunos elementos de los pitagóricos para plantear la importancia de la geometría en el estudio de la realidad, en particular la importancia de la esfera. Número y figura fueron los más importantes instrumentos usados por este filósofo, los cuales tenían gran influencia sobre la mente, ejercido por abstracciones, que sin embargo, tienen aplicaciones prácticas. El uso de las figuras y los números, incluso los más triviales dan certeza al hombre de su realidad según Platón; estos se pueden encontrar en cualquier cosa, en lo grande y en lo pequeño, donde los sentidos, que no son una herramienta en sí, se consideran como los pasajes por donde las cosas se proyectan hacia la mente. La astronomía de Platón está basada en dos principios: “el alma” (lo mismo) y “la esencia” (lo otro), los cuales Dios combinó al principio del Mundo y de los cuales están hechas las cosas. Ambas propiedades se difunden del centro a la circunferencia de los cielos; el Universo del *Timeo* es un alma “regida” por la mente y su creación es en realidad la creación del orden, y el primer paso consiste en dividir los cielos en una esfera interior y otra exterior, para la esencia (lo divisible) y el alma (lo indivisible), para los planetas y el Mundo más allá de ellos, respectivamente, moviéndose todos juntos alrededor de la Tierra, la cual es su centro. De esta concepción del Universo, la actividad de observar y describir los cielos se traslapa con el deseo de encontrar perfección matemática en ellos (Platón, 1998).

Para Eudoxo (408-355 a.n.e.), discípulo de Platón, cada planeta se halla situado en la esfera interior de un grupo de dos o más de ellas, interconectadas y concéntricas (fig. 1), cuya rotación simultánea en torno a diferentes ejes, reproduce el movimiento observado del planeta. Aristóteles (384-322 a.n.e.) hace una gran síntesis y remodelación del conocimiento de la época, apareciendo la esfera y el círculo en un lugar prominente. La preponderancia intelectual de Atenas se traslada a Alejandría, donde Aristarco de Samos (310-230 a.n.e.), llamado “el Copérnico de la Antigüedad”, suponía “que las estrellas fijas y el Sol son inmóviles, pero que la Tierra se mueve alrededor del Sol en un círculo” (Arquímedes, “El arenario” citado en: Heat, 1958). Este sistema, no obstante la fama y eminencia de su proponente, tuvo escasa aceptación, debido a que se le consideraba impío, filosóficamente absurdo y contrario a la experiencia cotidiana.

Hiparco (190-120 a.n.e.), considerado por muchos como el más importante astrónomo observacional de la Antigüedad, propuso un sistema consistente en un pequeño círculo, el epiciclo, que giraba en un movimiento uniforme alrededor de un

punto situado sobre la circunferencia de un segundo círculo en rotación, el deferente (fig. 2). El planeta estaba situado sobre el epiciclo y el deferente coincide con el centro de la Tierra. También introdujo los epiciclos menores y la excéntrica, que es un deferente cuyo centro se halla desplazado respecto al de la Tierra. Los epiciclos mayores, de gran tamaño, servían para explicar las grandes variaciones cualitativas de los planetas, mientras que los epiciclos menores eran círculos complementarios para eliminar pequeños desacuerdos cuantitativos entre teoría y observación. Su aceptación se debió a que eliminaba todas las dificultades existentes, agregando epiciclos cuando así se requería (Kuhn, 1981).

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

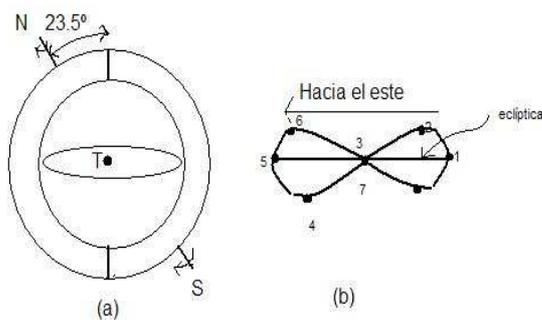


Figura 1. Sistema de esferas de Eudoxo. (a), la esfera exterior produce la rotación diaria y la interior traslada al planeta (el Sol o la Luna) en un movimiento regular hacia el este a lo largo de la eclíptica; para describir el movimiento de los planetas es necesario agregar dos esferas más al interior. (b). Movimiento de los planetas; el planeta recorre la trayectoria de 1 a 8, siendo más rápido de 1 a 5 que de 6 a 1.

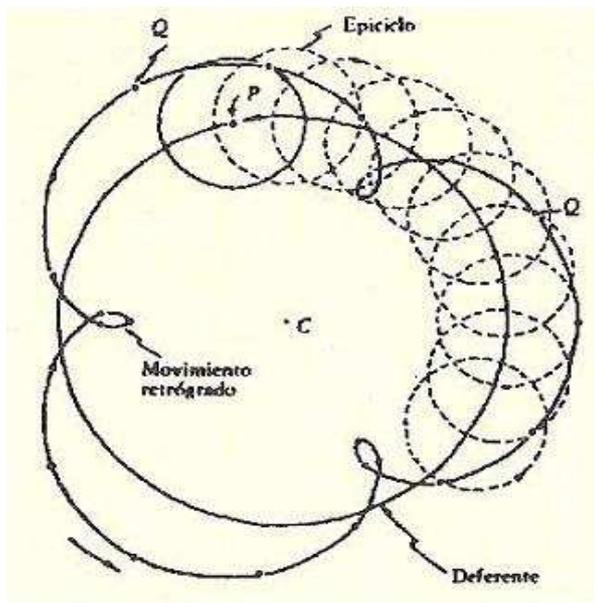


Figura 2. Sistema de Hiparco. C = centro, P = deferente, Q = Planeta.

Durante la Edad Media la astronomía árabe tanto en Oriente como en España aportó una gran cantidad de observaciones y teorías astronómicas. Es en España donde se da la convivencia y colaboración entre musulmanes, judíos y cristianos, teniendo su punto culminante durante el reinado de Alfonso X el Sabio (1221-1284), donde bajo su mecenazgo se publica una compilación de conocimientos sobre astronomía conocida como *Libros del Saber de Astronomía*, en los que destacan trabajos como los de Azarquiel (?-1087), que era el más reconocido constructor de instrumentos de observación astronómica y fue el autor de las *Tablas Toledanas* y su teoría solar fue conocida por Copérnico. En la escuela de traductores de Toledo, principalmente en el siglo XIII, estudiosos cristianos, judíos y musulmanes desarrollaron una importantísima labor científica y cultural; es en este periodo cuando se traducen las *Tablas Toledanas*, el *Almagesto* de Tolomeo y en 1272 se elaboraron las *Tablas Alfonsinas*. Sus trabajos de investigación y traducción permitieron que obras fundamentales de la antigua cultura griega fueran rescatadas del olvido y transmitidas a la Europa medieval a través de España (Torroja, 1980).

Éste es, en términos generales, el estado de la cosmología en la época en que Copérnico introduce su innovación, la cual, como se puede ver, no es de ninguna manera original. Sin embargo, la situación será muy diferente a la que había cuando Aristarco y Filolao plantearon sus ideas de una Tierra en movimiento.

Universidades en el Renacimiento

Muchas escuelas monásticas así como municipales y catedralicias se fundaron durante los primeros siglos de influencia cristiana. La base de conocimientos se centraba en las siete artes liberales que se dividían en el *trivium* (formado por gramática, retórica y dialéctica) y el *quadrivium* (aritmética, geometría, astronomía y música).

Las universidades europeas occidentales evolucionaron a medida que los estudiantes fueron acudiendo a diversos centros donde prestigiosos profesores impartían sus enseñanzas sobre temas de particular interés. El idioma no suponía impedimento alguno, ya que tanto las clases como los debates se desarrollaban en la lengua universal: el latín. Hacia el siglo XII, París se había establecido como núcleo para la instrucción y difusión de la teología y la filosofía, y la Universidad de París se convirtió en modelo para las universidades que más tarde se fundarían en el norte de Europa.

La Universidad de Bolonia, en Italia, constituía el centro para el estudio del derecho, y sirvió de modelo a las universidades italianas y españolas. A partir del siglo XIII se establecieron universidades en Francia, Inglaterra, Escocia, Alemania, Bohemia y Polonia.

Algunas universidades italianas, como fue el caso de la de Ferrara, contribuyeron a transmitir las ideas humanísticas renacentistas a las instituciones del norte de Europa. Bolonia fue el gran centro del siglo XVII para el estudio de la medicina y la biología. La Universidad de Salamanca, fundada en el siglo XIII, marcó durante los siglos XVI y XVII la pauta para el establecimiento de instituciones tanto en España como en Centroamérica y Sudamérica. La Universidad de Wittenberg fue marco del comienzo de la Reforma protestante (1517) promovida por Martín Lutero, que en aquella época impartía clases en este centro. Sus discípulos divulgaron sus enseñanzas por toda Alemania, Escandinavia y Europa del este.

El humanismo del siglo XVI y la educación en el Renacimiento.

El humanismo es un movimiento (Gombrich, 1974; Letts, 1985) que hace hincapié en la dignidad y el valor de la persona. Uno de sus principios básicos es que las personas son seres racionales que poseen en sí mismas capacidad para hallar la verdad y practicar el bien. El término “humanismo” se usa con gran frecuencia para describir el movimiento literario y cultural que se extendió por Europa durante los siglos XIV y XV. Este renacimiento de los estudios griegos y romanos subrayaba el valor que tiene lo clásico por sí mismo. El movimiento humanista comenzó en Italia, donde los escritores de

finales de la Edad Media, Dante, Boccaccio y Francesco de Petrarca, contribuyeron en gran medida a la difusión y la conservación de las obras clásicas. El movimiento avanzó aún más por la influencia de los estudiosos bizantinos llegados a Roma después de la caída de Constantinopla a manos de los turcos en 1453, y por la creación de la Academia platónica en Florencia (1463), donde el profesor Marsilio Ficino (1433-1499) enseñaba las corrientes platónicas y pitagóricas y que se denominó neoplatonismo. Aunque a Ficino no le interesó la astronomía, sí enseñaba el culto al Sol y la filosofía pitagórica del fuego central; en su *Liber de Sole* dice: “Nada revela más la naturaleza del bien [que es Dios] que la luz [del Sol]. En primer lugar la luz es el más claro y brillante de los objetos sensibles. En segundo lugar, nada hay que se difunda con tanta amplitud o rapidez[...]. Quizá la luz es el órgano que permite la visión del espíritu celestial, o el propio acto de la visión actuando a distancia, vinculando todas las cosas al Cielo, aunque sin abandonarlo nunca y sin mezclarse con las cosas externas[...].” Como se verá más adelante, este pasaje es de una correspondencia casi total con los argumentos copernicanos para la idoneidad (Kuhn, 1981) de colocar al Sol en el centro del Universo.

La recopilación y traducción de manuscritos clásicos se generalizó de modo muy significativo entre el alto clero y la nobleza. En Italia el humanismo se desarrolló en campos como el arte y la filosofía. En Europa central fue introducido por los estudiosos alemanes Johannes Reuchlin (1455-1522) y Philip Melanchthon* (1497-1560); el movimiento penetró en ámbitos como la teología y la educación, con lo que se convirtió en una de las principales causas subyacentes de la Reforma.

En el siglo XVI la educación moderna lleva tendencias humanistas, la cual insistía en el cultivo de la “bella forma” (León, 2002) ya sea literaria, artística o vital. La cultura y la educación siguen perteneciendo a la aristocracia, la cual ya no está formada solamente por la burguesía y la nobleza, sino también por los comerciantes, favorecidos por el descubrimiento del Nuevo Mundo. El espíritu de la educación durante el Renacimiento está muy bien ejemplificado en las escuelas establecidas por los educadores italianos Vittorino da Feltre y Guarino Veronese en Mantua (1425); en sus escuelas introdujeron temas como las ciencias, la historia, la geografía, la música y

* Philip Schwarzerd era su verdadero nombre, nació en Bretten y estudió en las universidades de Heidelberg y Tubinga. Al ingresar en el primero de estos dos centros, a los 12 años de edad, su tío, el humanista y hebraísta Johannes Reuchlin, le aconsejó que cambiara su nombre por Melanchthon (que significa en griego “corazón negro”).

la formación física, donde se enseñaba a “bien pensar”, “bien leer” y “bien hablar”. El éxito de estas iniciativas influyó en el trabajo de otros educadores y sirvió como modelo para los educadores durante más de 400 años. Entre otras personalidades del Renacimiento que contribuyeron a la teoría educativa sobresalieron el humanista alemán Erasmo de Rotterdam (1466-1536), el educador alemán Johannes Sturm (1507-1589), el ensayista francés Michel de Montaigne (1533-1592), y el humanista y filósofo español Luis Vives (1492-1540). El canon de belleza ya no radica tanto en la divinidad cuanto en lo natural y lo real, siendo el cuerpo y su desnudo, el exponente más frecuente y para cuya conformación entran en juego las matemáticas en general y la geometría en particular.

Ciencia, tecnología y sociedad en el Renacimiento

En el siglo XVI fueron traducidos algunos de los más avanzados tratados griegos sobre matemáticas. Destacaron, entre muchos otros logros, los tratados sobre la solución de ecuaciones cúbicas. La revolución náutico-cartográfica-cosmológica de los siglos XV y XVI (Cardini, 1991) hizo patente el nuevo impulso que tuvo la astronomía (tanto teórica, como observacional). Este impulso se debió en buena medida a factores como los siguientes:

- 1) La utilización de las traducciones directas del griego de los originales de Ptolomeo y Aristóteles, y no ya las versiones en latín o romance traducidas de sus versiones en árabe.
- 2) Mejoras de las técnicas de navegación y cartografía para adaptar las naves y mapas a las necesidades de la navegación por el Atlántico. La geografía se transformó gracias a los conocimientos empíricos adquiridos a través de las exploraciones que realizaron los portugueses por las costas de África y los descubrimientos de nuevos territorios por parte de Colón (Thuillier, 1990; Crombie, 1987; Alvarez, 2004).
- 3) Los intentos de reforma del calendario juliano, durante el siglo XV, ante la evidente desconexión del mismo con los ciclos de la naturaleza, y que obligaba a nuevos cálculos y comprobaciones con la realidad para determinar un nuevo calendario que sirviera en el futuro. Aquí destacan nombres como los del alemán Johannes Müller (1436-1476) — más conocido como Regiomontano (que fue, incluso, llamado a Roma para dicho fin)— . Las autoridades en geografía eran Pierre de Ailly y Sandro Toscanelli, que con su

Imago Mundi (obra de astronomía, astrología y cartografía, donde se sugiere que se puede llegar a las Indias Orientales navegando a través del Océano Atlántico) y sus mapas, respectivamente, fueron las principales fuentes de inspiración para que Colón se lanzara en búsqueda de nuevas rutas comerciales a Oriente.

Un ingrediente fundamental del modelo heliocéntrico —la Tierra en movimiento— estaba germinando en Italia. Celio Calcagnini, contemporáneo de Copérnico y que estudió en Bolonia también, publica en 1541 su libro *Quod coelum stet, terra moveatur* (el Cielo en reposo, la Tierra en movimiento), donde atribuye movimiento de rotación a la Tierra para formular una teoría sobre las mareas y tratar de resolver el problema del calendario, pero por no ser tan diestro en el conocimiento de las matemáticas esta obra se queda en el ámbito filosófico (Sandrolini, 2004).

Capítulo 2. Nicolás Copérnico

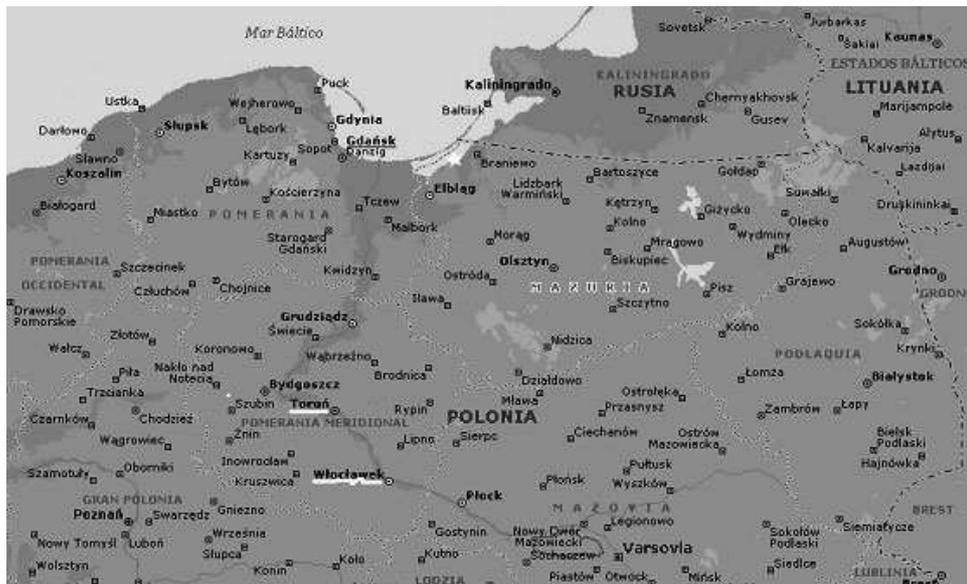
Orígenes e infancia

De los ancestros de Nicolás Copérnico se sabe muy poco; de hecho, Copérnico es la castellanización del nombre en latín Copernicus que el astrónomo adoptó; el origen es difícil saberlo, ya que por aquellos tiempos nadie se preocupaba por escribir correctamente los nombres, el más probable que se podría tomar sería el de Koppernigk, que fue un lugar en la Silesia superior, que abarca la mayor parte de la región que actualmente constituye el suroeste de Polonia (Lukowski, 2002). Este nombre está escrito en varios documentos de distintas formas desde el siglo XII (actualmente existe la localidad de Koperniki en Opolia, Polonia). Ahora bien, considerando que antiguamente las personas solían tomar el nombre de los sitios en que vivían y que para el siglo XIV Koppernigk ya se había convertido en apellido, éste es el que podría ser el más probable para el astrónomo (Armitage, 1952); y es en ese periodo que numerosos silesianos se trasladaron a Polonia, que en otro tiempo había incluido a Silesia en sus fronteras. Como Polonia era un país sin gran desarrollo, le convenía recibir gente de todas las procedencias. Por eso numerosos comerciantes y aventureros de lo que ahora es Alemania iban en masa a Polonia. También iban judíos perseguidos, y más tarde protestantes. Todos ellos contribuyeron a formar una poderosa clase media que llenó la brecha social entre la nobleza y los campesinos polacos. Entre los que emigraron de Silesia a Polonia en el siglo XIV hubo personas llamadas Koppernigk que se establecieron en Cracovia y Torun (Thorn). El primero de la familia del astrónomo que sale a la luz de la historia es Nicolás Koppernigk padre. Se sabe que fue comerciante, que vivió por un tiempo en Cracovia y que a lo sumo en 1458 mudó a Torun, donde murió en 1483; llegó a ser uno de los principales ciudadanos y magistrado de Hansa (Rosen, 1959). Allí se casó con una mujer de la rica familia Waczenrode o Watzelrode, que también era de origen silesiano pero que había vivido por generaciones en Torun. El matrimonio con Bárbara Watzelrode se celebró en fecha no posterior a 1464; el matrimonio tuvo cuatro hijos: Andrés, Bárbara, Catalina y, el menor, Nicolás, quien nació el 19 de febrero de 1473, en una casa situada en la antigua calle de Santa Ana en Torun. Es muy probable que una infancia transcurrida a orillas del río Vístula, por donde navegaban barcos con mercancías de las más diversas procedencias, y en el seno de una familia prominente en su localidad, puso a Nicolás hijo en contacto temprano con artistas, dirigentes y científicos de la época.

A los 10 años de edad Nicolás Copérnico queda huérfano de padre. Los cuatro hijos fueron adoptados entonces por Lucas Watzelrode, tío materno que llegó a ser su segundo padre (para ese entonces no se sabe si Bárbara, la madre del futuro astrónomo, vivía aún). Lucas Watzelrode nació en Torun el 29 de noviembre de 1447 y a los 16 años fue a Cracovia. Más tarde cruzó los Alpes para estudiar en Italia, donde alcanzó grandes honores y, en 1473, se graduó en Bolonia de doctor en derecho canónico. Ejerció el magisterio en su ciudad natal y luego entró al servicio de la Iglesia donde progresó rápidamente. En 1489 fue consagrado Obispo de Ermland (o Warmia). Ermland constituía algo así como un estado pequeño (vasallo de Polonia) y su obispo era jefe del mismo así como del clero; los lugares donde transcurrió mayormente la vida de Copérnico, se muestran en la fig. 3.



Figura 3. (a) La región de Polonia al final del siglo XV y principio del XVI



(b). Polonia en la actualidad. Se subrayan Torún y Wloclawek , Frauenburg se marca con una estrella

Educación

Educación preparatoria

El Obispo Watzelrode parece haber enviado a su sobrino Nicolás a la escuela de San Juan en Torun, donde él mismo había sido maestro. Más tarde el chico asistió a la escuela de la catedral de Wloclawek, situada a cierta distancia de Torun, aguas arriba del Vístula. Los estudios realizados allí tenían carácter de preparatorios para el ingreso a la Universidad de Cracovia. Angus Armitage cuenta (Armitage, 1952) que un maestro de la escuela se llamaba Vodka, pero cambió su nombre poniéndose Abstemius. Era una autoridad para construir relojes de Sol, y según la leyenda fabricó, junto con Copérnico, el reloj de Sol de la pared sur de la catedral de Wloclawek.

Cracovia

A los 18 años Copérnico partió para Cracovia. Así pues, un día de invierno de 1491-92 el nombre de “Nicolás, hijo de Nicolás de Torun” (Armitage, 1952; Koestler, 1963) entraba en los registros de la Universidad de Cracovia que todavía se conservan junto con los de otros 70 estudiantes nuevos. El apellido de Nicolás no aparece, pero se indica que ha pagado íntegramente su cuota de ingreso. Otros cuatro jóvenes de Torun se matricularon al mismo tiempo, entre ellos un “Andrés”, que bien pudiera ser el hermano mayor del astrónomo. Fue en Cracovia donde el joven Nicolás adquirió el dominio del latín que demuestra en todos sus escritos y pudo haber sido en esa época que cambiara su nombre a la forma latina que lo iba a inmortalizar.

Copérnico siguió la práctica común de comenzar los estudios por la Facultad de Artes, cursos que por aquella época contenían muchas cosas que nosotros consideraríamos científicas más que artísticas. Las clases de Cracovia consistían principalmente en lecturas y explicaciones de los clásicos latinos y de los libros que la Universidad consideraba como autoridades en cada tema. Se sabe que el joven Copérnico asistió a media docena de estos cursos.

Entre los hombres más prominentes que se encontraban entonces en Cracovia figuraba el matemático polaco Alberto Brudzewski (1445-1497). Copérnico al parecer no asistió a sus clases, pero le conoció personalmente y el matemático influyó en él de varios modos. Fue en Cracovia donde sentó las bases de su conocimiento en astronomía y aprendió a manejar los aparatos y a hacer observaciones. En esos años empezó a reunir libros de matemáticas y astronomía, entre ellos se cuentan ejemplares de las *Tablas Alfonsinas* y las *Efemérides* de Regiomontano (Gingerich, 1992), los cuales

conservó toda su vida. Los hay que contienen notas y cálculos de su propia mano; una parte de estos cálculos dan la impresión de que había dado los primeros pasos en la construcción de su sistema. No se sabe si Copérnico obtuvo algún título en Cracovia, parece que no, sea como fuere, a comienzos de 1496, antes quizá, se hallaba de vuelta en Torun para hacer su primer intento en la obtención de un nombramiento de canónigo en la catedral de Frauenburg, junto a su tío Lucas; intento que no se concretó.

Bolonia y Roma

Mientras esperaba la próxima vacante en el capítulo de Frauenburg, el Obispo Watzelrode decidió que su sobrino continuara su educación, esta vez en Italia. Si había de ser clérigo, convenía que aprendiera algo de derecho canónico. La escuela más famosa de derecho en Italia era la de Bolonia, por lo tanto, Copérnico marchó a Bolonia en el otoño de 1496.

El derecho canónico fue, pues, la materia oficial de estudio para Copérnico en Bolonia. Pero su interés abarcaba muchas otras ramas del saber, sobre todo matemáticas y astronomía. La influencia más importante que se ejerció sobre él en Bolonia fue la del profesor de astronomía Domingo María de Novara (1464-1514). Es posible que Copérnico se alojara en su casa. En todo caso, Novara y Copérnico observaron juntos. Se sabe que Copérnico observó realmente el cielo en Bolonia, porque la primera observación propia que menciona en el *De revolutionibus* data de ese periodo de su carrera. Es una observación del tiempo exacto en que se vio pasar a la Luna frente a la estrella fija Aldebarán ocultándola a la vista (9 de marzo de 1497).

Después de tres años y medio en Bolonia Copérnico marchó a Roma en el año 1500, a tiempo para las celebraciones de Pascua y actuó allí como representante oficial del capítulo de Ermland. Copérnico permaneció un año entero en esta ciudad, dando clases particulares sobre matemáticas. Del periodo de su estancia en Roma proviene otra de las observaciones que usa en el *De revolutionibus*. Esta vez fue un eclipse de Luna, el 6 de noviembre de 1500.

Padua y Ferrara

En torno a la escuela primitiva de derecho en Padua había surgido una Universidad completa. Se destacaba por sus estudios médicos; y ésta pudo haber sido una razón que atrajera a Copérnico, ya que ahora iba a ser la medicina (que un canónigo y humanista debiera conocer), y que sería uno de los temas principales en su vida, pues en Ermland sería muy recordado por sus servicios médicos.

El abismo entre la astronomía y la medicina no era tan grande como nos puede parecer hoy, pues las ciencias no estaban tan especializadas y cerradas en sí mismas. Por ejemplo, en la Edad Media se suponía una correspondencia entre las constelaciones del zodiaco y las diversas partes del cuerpo.

Copérnico terminó sus estudios en Padua, pero por alguna razón no se graduó allí. Una posible causa pudo ser que no pensaba seriamente en ejercer la medicina o, por otro lado, los gastos tremendamente altos que se generaban por la pintoresca ceremonia acostumbrada en las graduaciones que culminaban con un convite general pagado a expensas del nuevo doctor; tal vez este último hecho lo haya decidido a graduarse en otra Universidad, la de Ferrara.

En fecha incierta, pero no posterior a 1506, Copérnico se hallaba de regreso en Ermland, habiendo concluido para siempre sus años de viaje y estudios en el extranjero.

Capítulo 3. Estructura de las obras de Copérnico

La traducción del epistolario de Teofilacto

Antes de que Copérnico regresara de Italia en 1503, encontró tiempo para traducir del griego al latín un epistolario escrito en el s. VII por el bizantino Teofilacto Simocatta. La traducción está llena de errores, ya que Copérnico aprendió griego casi por sí mismo, por lo que no estaba debidamente preparado para hacerle “justicia” (Rosen, 1992) a Teofilacto, filológicamente hablando. El interés por traducir este epistolario (a pesar que Teofilacto es considerado un autor menor y con serias deficiencias en sus recursos literarios) es en parte porque Copérnico encontró en el estilo de Teofilacto cierto “encanto”*, el cual está cargado de expresiones metafóricas y alegorías. Por otra parte, es probable que estando Copérnico activo en el frente de la astronomía deseara conocer la obra de las autoridades filosóficas y astronómicas en el idioma que fueron publicadas originalmente: el griego.

Por todo esto es probable que Copérnico planeara leer la obra de Ptolomeo en griego y corregirla. El por qué de la publicación de la traducción del epistolario se deba quizá al espíritu (o tendencia) humanista del autor, el cual dice en la carta donde dedica la traducción a su tío, el Obispo de Ermland: “en vista de estas consideraciones, juzgo impropio que estas cartas estuvieran disponibles sólo en griego y no en latín...”

Una de tales consideraciones es que la obra de Teofilacto puede considerarse edificante para el espíritu y por ser más que cartas, reglas y leyes para la vida del hombre; aunque para tener esa calidad “moral” deban ser moderadas,** así lo escribe Copérnico a su tío Lucas en la dedicatoria del epistolario: “como se endulza la dosis de alguna droga (medicamento) para hacerlas más tolerables al paladar del paciente”.

* Copérnico lo escribe en una carta a Codro (Codrus), un profesor en Bolonia (Rosen, 1992).

** Copérnico aplica el término “moderar” en el sentido de la moral católica, donde los temas que sean considerados licenciosos (como los asuntos eróticos y amorosos) se modifiquen de tal manera que estén acordes con dicha moral; y para que tal conocimiento sea asequible para el pueblo debe ser expuesto de manera ligera y divertida, lo cual es una tendencia del humanismo de esa época. Un ejemplo célebre de esta tendencia son las obras de F. Rabelais donde narra las aventuras del gigante Gargantúa y su hijo Pantagruel; las cuales presentan, en tono de broma, una crítica al sistema educativo de la época; aunque este autor no atenúa los temas licenciosos (incluso los exalta); esto se debe a la adhesión al protestantismo de Rabelais; por tanto, la crítica de estos libros va dirigida a los antirreformistas católicos (Pichardo, 1986).

El Comentariolus

Este breve tratado de astronomía apareció a finales de 1513 o principios de 1514 (Rosen, 1992; Koestler, 1963; Koyré, 1993) y apareció con el título de *Nicolai Copernici de hypothesibus motuum coelestium a se constitutis Comentariolus*. Este título puede leerse en español como *Breve esquema de las hipótesis de Nicolás Copérnico sobre los movimientos celestes*.

Este tratado, que es el primer esbozo del sistema heliocéntrico, no contiene desarrollo matemático alguno y comienza con una introducción histórica en la cual Copérnico explica lo insatisfactorio del sistema ptolomeico, ya que no considera la exigencia de los antiguos, según la cual cada planeta se mueve con velocidad uniforme en un círculo perfecto. Los planetas en el sistema de Ptolomeo se mueven en un círculo perfecto pero no con velocidad uniforme. A continuación, y sin más preámbulo, Copérnico expone un sistema que pretende* haber ideado él mismo para resolver el problema de los planetas, para lo cual es necesario aceptar los siguientes siete axiomas (Koestler, 1963):

1. Los cuerpos celestes no se mueven todos alrededor del mismo centro.
2. La Tierra no es el centro del Universo, sino tan solo de la órbita de la Luna y de la gravedad terrestre.
3. El Sol es el centro del sistema planetario, por tanto del Universo.
4. Comparada con la distancia de las estrellas fijas, la distancia entre la Tierra y el Sol es infinitamente pequeña.
5. La aparente revolución diaria del firmamento se debe a la rotación de la Tierra sobre su propio eje.
6. El aparente movimiento anual del Sol obedece al hecho de que la Tierra, lo mismo que los demás planetas, gira alrededor del Sol.
7. Las “detenciones y retrocesos” aparentes de los planetas obedecen a la misma causa.

A continuación describe el orden que ocupan las estrellas fijas y los planetas junto con el Sol, estando las estrellas fijas en la parte exterior del sistema seguidas por los planetas en el orden siguiente: Saturno, Júpiter, Marte, la Tierra con la Luna, Venus, Mercurio y el Sol en el centro.

* La discusión de un sistema heliocéntrico era frecuente en esa época, por tanto —según A. Koestler— Copérnico no fue un pensador con ideas originales pero sí un “cristalizador del pensamiento” (Koestler; 1963).

Respecto a los errores de la teoría lunar ptolomeica dice: “... esta variación [en el tamaño de la excéntrica de la Luna] es causada por una excéntrica que impropriamente trata el movimiento en ese círculo como no uniforme y adicionalmente esto cae en dos errores manifiestos...” (Rosen, 1992). A continuación trata el problema de los “círculos” que son necesarios para describir el movimiento de cada planeta.

Al final del análisis concluye que: “34 círculos bastan para explicar toda la estructura del Universo y toda la danza de los planetas.” (Gingerich, 1995; Koestler, 1963). Esta manera de exponer su sistema daría lugar a confusión, lo que generaría dos mitos erróneos (los cuales se analizarán más adelante en este trabajo). El primero: los planetas se mueven en órbitas circulares (no movidos o arrastrados por el movimiento de esferas); y el segundo: el sistema heliocéntrico es más sencillo que el ptolomeico, ya que Copérnico fijó el número de círculos para este sistema en 80.

Este tratado no circuló más que de manera manuscrita entre los allegados del astrónomo a pedido de ellos mismos, por lo cual, la discusión de un sistema heliocéntrico ya debe haber sido usual para ese entonces; y de ninguna manera mal visto. Es seguro que el sistema heliocéntrico no estaba del todo maduro para cuando Copérnico escribió su breve tratado de astronomía, pero ya lo tenía definido en lo esencial, ya que justifica la ausencia de cálculos matemáticos en esta obra diciendo que guardaba los cálculos para su “obra mayor”.

Con este tratado Copérnico consiguió algo de notoriedad, al grado de ser invitado en 1514 al Concilio de Letrán a discutir las reformas del calendario^{*}; aunque él declinó la invitación aduciendo que el calendario no se podría reformar satisfactoriamente hasta que se conocieran con precisión los movimientos de la Luna y del Sol^{**}

* Pablo de Middelburg escribe en las memorias del Concilio de Letrán (1512-1517) que se consultó a dos astrónomos polacos: Martín Biem y Nicolás Copérnico. El proyecto de Biem fue publicado en primera edición por Ludovicus Birkenmajer con el título: Martín Biem de Ilkusz Nova calendarii Romaní; en 1516 (Starton, 1957).

** En este punto no queda claro si es el movimiento aparente del Sol o se le asignaran otros movimientos independientes.

El De revolutionibus orbium coelestium

El prefacio de A. Osiander

El *De revolutionibus* se comenzó a imprimir en la primavera de 1542, en la ciudad de Nürenberg en el taller del impresor Ptreio, bajo la entusiasta supervisión del único pupilo en sentido estricto de Copérnico: Georg Joachim (1514-1576) (a quien se le llama Rheticus* o Rético y del que se hablará más ampliamente en apartados posteriores de este trabajo). Pero esta labor no pudo ser concluida por él, ya que tuvo que abandonar Nürenberg y partir a Leipzig, tras ser nombrado titular de la importante cátedra de matemáticas en la Universidad de Leipzig. Es probable que Rético se haya sentido obligado a tomar su nuevo cargo, porque Melanchthon había apoyado este nombramiento, dada la necesidad de que Rético fuera expulsado de la Universidad de Wittenberg a causa de rumores referentes a su homosexualidad.

Bajo estas circunstancias Rético dejó la impresión del *De revolutionibus* en manos de un hombre en quien podía confiar: Andreas Osiander, el principal teólogo y predicador en Nürenberg del credo luterano. No obstante lo anterior, Osiander estaba favorablemente dispuesto hacia Copérnico y tenía un interés vivo en su obra heliocéntrica, lo que había dejado como resultado el intercambio de correspondencia entre ambos a lo largo de dos años.

Estando a cargo de la impresión, Osiander rápidamente escribió un prefacio a la obra y lo insertó de manera anónima; tal prefacio pide, a manera de disculpa, se le tenga consideración al sistema ahí expuesto, ya que la labor del astrónomo es “calcular la historia y los movimientos celestes... y además concebir y configurar las causas de estos movimientos, o sus hipótesis, cuando por medio de ningún proceso racional pueden averiguar las verdaderas causas de ello” (Copérnico, 1978). En este punto Osiander tiene razón, pues el heliocentrismo era una hipótesis difícilmente verificable en aquella época (Alvarez, 2004). Lo que resulta más complicado de entender es lo siguiente: “y no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera verosímiles, sino que basta con que muestren un cálculo coincidente con las observaciones, a no ser que

* Que significa oriundo de Rhaetia, de donde Georg Joachim era.

alguien sea tan ignorante de la geometría o de la óptica que tenga por verosímil el epiciclo de Venus...”

Según Koestler y E. Zinner (Koestler, 1963), Copérnico supo de este prefacio a sabiendas de que el autor era Osiander. Por tanto, que el prefacio se publicara tal cual, puede deberse a que Copérnico no puso objeción o a que Osiander se negó a cambiarlo.

A la observación que hace el prefacio, referente a que el sistema es una mera hipótesis no había manera de objetarla; Copérnico, aunque creía que la Tierra se movía, le costaba trabajo creer que los planetas y la Tierra se movían dentro de su sistema de epiciclos y deferentes. Pero el no haber objetado enérgicamente el trato de absurda que se le da a la órbita de Venus trazada por él, tiene dos posibles explicaciones: la primera es que, dado su estado de salud, no pudo hacerlo, ya que el prefacio se escribió en noviembre de 1542 (cinco meses antes de morir Copérnico); la segunda es que el astrónomo ya estaba preparado (o resignado) para ese trato y una presentación solapada, e incluso para algunos rastrea (White, 1972), ya que en una carta fechada el 20 de abril de 1541 Osiander escribe a Copérnico*: “en tal caso, seamos complacientes como lo son los peripatéticos y los teólogos que no entran en polémica alguna...”**

No se puede poner en duda la buena voluntad con que se escribió este prefacio, pero tampoco se puede negar que si éste trataba de ser conciliador, resultó ser muy poco diplomático. Sin embargo está acorde (Koestler, 1963) con el carácter conservador y algo tortuoso de Copérnico.

La dedicatoria de Copérnico a Pablo III

El prefacio que se mencionó anteriormente, por haberse publicado de manera anónima, fue atribuido inicialmente al mismo Copérnico. No fue sino hasta 50 años más tarde que con el libro de Kepler, *Astronomia nova*, se comenzó a revelar públicamente la identidad del autor de este prefacio, la cual Kepler conoció de su maestro Michael Maestlin, ya sea por comentario personal o por tener acceso a su copia del *De revolutionibus*, en la cual Maestlin anotó en un margen: “Ahora estoy seguro que esa carta es de Andreas Osiander...” (Reed, 2003; Gingerich, 1992).

* “sic enim placidoris reddideris peripatheticos et theologos quos contradictorios metius”; la cita aparece en White, 1972; pp. 170 (La traducción es mía).

** Más adelante se analizará un pasaje de *Homocentrica sive de stellis liber* (1538) del peripatético G. Fracastoro, donde presenta — de manera solapada — su sistema de esferas homocéntricas en contraposición a las “monstruosas” excéntricas.

Este prefacio, aunque pudiera ser congruente con la personalidad de Copérnico, se queda corto si se contrasta con la obra; pues hay más en el *De revolutionibus* que sólo hipótesis y artilugios geométrico-matemáticos para astrónomos. Para Kuhn, el *De revolutionibus* es un libro que goza de una doble naturaleza: es antiguo y moderno, conservador y radical; pero también es ambiguo, pues “el concepto revolucionario de una Tierra en movimiento es, en principio, una consecuencia anómala de la tentativa llevada a cabo por un diestro y leal astrónomo celoso de reformar las técnicas empleadas en el cálculo de las posiciones de los planetas.” (Kuhn, 1981).

Estas características se ponen de manifiesto desde el principio de la obra, en la dedicatoria que hace Copérnico al Papa Pablo III, donde expone sus motivos para “lucubrar” y posteriormente publicar el sistema heliocéntrico. El primer motivo que expone es que sus antecesores no pudieron deducir nada claro de las posiciones de los planetas, del Sol y de la Luna, y de la duración del año; “nada de ello correspondería a los fenómenos”. Esto es una crítica directa a la astronomía árabe (los que usan excéntricas) y a los italianos Fracastoro y Amici (los que usan el sistema aristotélico derivado de Eudoxo y Calipo de esferas homocéntricas), lo que conlleva a que tampoco pudieron encontrar “la forma del mundo y la simetría exacta^{*} de sus partes, sino que les sucedió como si alguien tomase de diversos lugares manos, pies, cabeza y otros miembros auténticamente óptimos, pero no representativos en relación a un solo cuerpo, no correspondiéndose entre sí, de modo que con ellos se compondría más un monstruo que un hombre.”

En el párrafo anterior se resume la visión, la filosofía y el lado radical de la obra copernicana, pues “nunca en épocas anteriores la tradición astronómica se había presentado como monstruosa.” (Kuhn. 1981)

Las propuestas que cubren sus necesidades estéticas, filosóficas y técnicas si bien no son del todo novedosas, sí van directamente en contra de la tradición establecida; quizá influido por la crítica a la filosofía aristotélica que comenzaron los escolásticos Jean Buridan y Nicolás de Oresme, y el auge del neoplatonismo del siglo XV. Para llevar a cabo esta transformación, Copérnico sigue la estructura de la tradición, teniendo su libro la misma estructura que el *Almagesto*. Así el heliocentrismo es expuesto libro

* Más adelante se analizará si Copérnico quiso decir “simetría exacta” o “simetría inmutable”. Los pasajes de la dedicatoria citados en este párrafo son tomados de: Copérnico Nicolás, *Las revoluciones de las esferas celestes*; libro primero, Tr. Jorge Fernández; Balsal Editores, 1978.

por libro, capítulo por capítulo y teorema por teorema de la misma manera que Ptolomeo expuso su sistema; siéndole prácticamente imposible no permanecer inserto en algunas de sus consideraciones dentro de la filosofía aristotélica (Schmitt, 1973).

Al decidirse a publicar el *De revolutionibus*, Copérnico daba un paso, que fuera revolucionario o no, no tenía que ser en falso. Al menos eso parece indicar con sus palabras, pues en su dedicatoria se encomienda al Papa diciéndole: “Pero para que tanto los doctores como los ignorantes por igual vieran que yo no evitaba el juicio de nadie, preferí dedicar estas lucubraciones a tu santidad antes que a cualquier otro... de modo que fácilmente con tu autoridad y juicio puedes reprimir las mordeduras de los calumniadores...”

La inseguridad que siente el autor del *De revolutionibus* se puede entrever con la justificación que hace de la publicación aduciendo la simpatía con que contaba su obra por parte de terceros y que dicha publicación se debió a la insistencia de sus amigos. Entre los simpatizantes que menciona están: Nicolás Schönberg (Cardenal de Capua), Tiedemann Giese (Obispo de Culm) y Pablo de Middelburg (Obispo de Fossombrone); menciona que si no ha sido por ellos, él se queda con sus ideas para sí mismo, y a lo más llegaría a comentarlas sólo con sus allegados siguiendo el ejemplo de los pitagóricos.

En la bien conocida carta de Schönberg a Copérnico, el primero exhorta al segundo para que le envíe todo lo concerniente a sus investigaciones, inclusive nombra a alguien en particular para que haga el copiado del trabajo y termina diciéndole: “pues si eres condescendiente conmigo en este asunto, comprenderás que lo has hecho con un hombre admirador de tu nombre y que desea corresponder a tu gran talento. Adiós.”

Hasta aquí no había visos de censura y persecución para Copérnico, pero ¿qué lo motivó a guardar su sistema durante casi “cuatro veces nueve años” y no sólo nueve como aconsejan los pitagóricos? ¿Porqué asumió la oscurantista postura de no verter el agua pura de la verdad en las fangosas charcas del alma humana, en virtud de que el agua perdería su pureza y sólo se agitarían las charcas?* Tal vez Copérnico no temía tanto al tormento como al escarnio, siendo ésa la inseguridad que sentía, y su imagen de las charcas fangosas que no hay que remover son la racionalización de su miedo a ser enlodado. Esto es comprensible, pues años antes había sido objeto de groseros comentarios por parte de Lutero y de burla en una farsa carnavalesca en un pueblo

* Como reza la carta apócrifa de Lysis a Hiparco que cita Copérnico en la dedicatoria a Pablo III.

alemán; para un hombre de familia acomodada que ha sido huérfano desde los 10 años, le debe resultar difícil de tolerar la burla hacia su persona y dignidad.

También se destaca el hecho de que los personajes que Copérnico menciona, los cuales simpatizan con su trabajo, son todos católicos. Pero dejó de mencionar a otros que también simpatizaban con su trabajo, como a Osiander y Rético. El primero de ellos, con quien sostuvo correspondencia, se encargó de la parte final de la impresión del *De revolutionibus*, y el segundo fue el motor principal de la publicación; coincidentemente ambos de filiación protestante. No se sabe cuáles fueron los motivos de esta omisión (sobre todo en el caso de Rético), pero dado el hecho de que su relación con estos personajes no era un secreto, la omisión tal vez se deba a un acto vengativo en contra de los protestantes que alguna vez osaron manchar su nombre. Sea como haya sido, esto es una muestra más de la doble naturaleza del *De revolutionibus orbium coelestium*, en este caso, la actitud conservadora y recelosa.

Libros I-VI: estructura de la exposición

Siguiendo con la naturaleza dual del *De Revolutionibus*, I. Bernard Cohen nos dice:

“J. Dijksterhuis resume claramente la diferencia al señalar que el libro está formado por dos partes, muy diferentes entre sí en cuanto a sus objetivos, carácter e importancia.

La primera parte comprende exclusivamente el primero de los seis libros... Brinda una explicación lúcida y extremadamente simplificada del nuevo sistema del mundo. La segunda parte, que comprende los libros II a VI expone... en forma rigurosamente científica... los detalles altamente complejos del sistema y constituye, así, un texto del mismo grado de dificultad que el *Almagesto*.” (Cohen, 1985) La segunda parte de este libro sigue siendo asequible solamente para lectores altamente capacitados en técnicas astronómicas. Por esta razón y por la baja frecuencia de reediciones, es que Koestler llama al *De revolutionibus* “el libro que nadie leía”. Durante el desarrollo de la obra hay ajustes que Copérnico tiene que hacer para que sus cálculos coincidan con las observaciones; quizá el más curioso de estos ajustes sea cuando tuvo que sacar al Sol del centro del Universo (Rosen, 1992; Koestler, 1963) de modo que los planetas giraban alrededor del centro de la órbita de la Tierra; así el sistema se convertía en vacuocéntrico. Con este ajuste se conservaba la elegancia pretendida al tratar de explicar las retrogradaciones de los planetas, aunque ya no tanto la simetría del mundo.

Este detalle (y algunos más) no fue percibido en primera instancia por los lectores de la época, sin embargo esto no minó la importancia del libro, ya que su valor radica más en lo que hizo decir a otros que en lo que dice en sí mismo.

La parte más sencilla (y por tanto más leída) es la que cobró importancia de inmediato. En el libro primero se exponen los argumentos a favor del movimiento de la Tierra, los cuales parecen estar influidos por la teoría del *impetus* de Jean Buridan para salvar el hecho de porqué las cosas no se quedan retrasadas respecto de la Tierra si ésta girara, y la relatividad óptica de Nicolás de Oresme (Kuhn, 1981), según la cual no nos es posible percibir si la Tierra o el Sol son los que se mueven pues “no se percibe movimiento entre movimientos iguales entre sí, me refiero a entre lo visto y el que ve” (Copérnico, 1978).

Acerca de la forma de los movimientos: debe ser regular y circular, perpetuo o compuesto por movimientos circulares (argumento platónico). Pues la movilidad de la esfera es girar en círculo, expresando mediante el mismo acto su forma (se analizará más adelante si esto está en contradicción directa con el hecho de dejar fija a la esfera de las estrellas).

El tamaño del Mundo debe verse modificado: así el Cielo tiene una magnitud inmensa respecto a la magnitud de la Tierra, esto para explicar la ausencia de paralaje, el cual debería observarse si la Tierra se moviera; aquí hay que notar el hecho de que aunque el Universo se agranda éste sigue siendo cerrado (o aristotélico).

Finalmente el orden de las órbitas* celestes: siguen el mismo orden que el fijado en el *Comentariolus*, pero ya da argumentos para fijar el Sol en el centro, los cuales son enteramente pitagóricos: “y en medio de todo permanece el Sol. Pues, ¿quién no pondría esta lámpara en otro lugar mejor, desde el que pudiera iluminarlo todo? Y no sin razón unos le llaman lámpara del mundo, otros mente, otros rector. (nótese el parecido de estos argumentos con los expuestos por Ficino que aparecen en la pagina 6 de este trabajo.) [...] Tampoco la Tierra es privada en manera alguna de los servicios de la Luna, pero, como dice Aristóteles en *De Animalibus*, la Luna tiene con la Tierra un gran parentesco. A su vez la Tierra concibe del Sol, y se embaraza en un parto anual.” El resultado de este sistema es “... una admirable simetría del mundo y un nexos seguro de armonía entre el movimiento y la longitud de las órbitas.”(Copérnico, 1543; Copérnico, 1978)

* Según Gingerich y Cohen no se debe traducir la palabra “orbium” por “órbita”, sino por “esfera”.

Capítulo 4. La estética del modelo heliocéntrico

La simetría y la armonía del modelo heliocéntrico.

En su dedicatoria al Papa Pablo III, Copérnico presenta a la tradición astronómica como monstruosa por considerar que ésta se ha compuesto con elementos ajenos o con falta de éstos—en el *Comentariolus* menciona cuál es el elemento sobrante, el ecuante, pero esto se analizará más adelante—. Copérnico no fue el único que presentó a la tradición astronómica como monstruosa. En su libro *Homocéntrica*, de 1538, Girolamo Fracastoro (1478?-1553) dice: “si se apela a las [esferas] homocéntricas, no se da cuenta de los fenómenos, con las excéntricas parecen explicarse mejor, pero sólo a costa de concebir estos cuerpos divinos (los cuerpos celestes) de forma injusta y aun impía, toda vez que se les atribuyen posiciones y figuras que en absoluto pueden convenirles. [...] Pues no ha habido hasta la fecha ningún filósofo capaz de sostener la existencia de estas esferas monstruosas entre estos cuerpos divinos y perfectísimos” (Elena, 1985).*

De las opiniones de Copérnico y Fracastoro es evidente que una reestructuración de la teoría astronómica era una idea vigente en el siglo XVI (incluso la manera de presentar estas reformas, pues el libro *Homocéntrica* está dedicado al Papa Pablo III de una manera muy similar al *De revolutionibus*). Los antecedentes de esta reestructuración se verán más adelante, ahora nos ocupara ver cuál es el ideal de sistema cosmológico para Copérnico.

El sentimiento de monstruosidad del sistema cosmológico que Copérnico tiene, significa que el Universo no forma un todo con sus partes (Granada, 2005). El ideal de sistema cosmológico para Copérnico es: planetas en movimiento alrededor de un centro dentro de un cuerpo esférico, en relación unos con otros en proporciones tales que este sistema ya podría considerarse una obra de Dios, tal y como está descrito en el libro I al final del capítulo X del *De revolutionibus* (Copérnico, 1543; Copérnico, 1978) (ver fig. 4).

En su dedicatoria, antes de presentar a la construcción del Universo como monstruosa, Copérnico critica a sus colegas antecesores diciendo que han fallado en el discernimiento o deducción de la principal cuestión: “ésta es encontrar la forma del

* Para Alberto Elena la crisis no se presentó por la inoperancia del sistema de Ptolomeo sino en la astronomía misma como disciplina científica (la astronomía computacional (sic) contra la astronomía física) y cita un pasaje en *Sobre la incertidumbre y la vanidad de las ciencias y de las artes* de Cornelio Agrippa: “todas estas cosas no son obra de Dios ni de la naturaleza, sino monstruos de los matemáticos”(Alberto Elena, *Las quimeras de los cielos, aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*; p. 107)

Universo y la simetría exacta de sus partes” (Copérnico, 1978). Esta “simetría exacta” hace referencia a que en el sistema ptolomeico los tamaños de los epiciclos pueden ser escalados independientemente para cada planeta.

Owen Gingerich sugiere que una lectura alternativa para “*cetram symmetriam*”^{*} sea “simetría fija”, más que exacta o inmutable, la cual conviene más al contexto del sistema, ya que los tamaños relativos de las órbitas planetarias en el sistema copernicano están fijas entre sí y no pueden ser escaladas independientemente (Gingerich, 1975).

La simetría y el equilibrio fue el ideal estético en el Renacimiento italiano (Letts, 1985). Pero, ¿cómo podría influir en la obra de astrónomos? Consideremos un círculo que contiene un disco en su interior como se muestra en la fig. 5 (Nótese la semejanza con las esferas de movimientos planetarios de Peurbach; fig. 6). Podemos afirmar que el círculo está descentrado, ¿pero cómo se ve eso? ¿el ojo se comporta como una cinta métrica, comparando la distancia entre los centros del círculo y el disco? No, esto no es así. Lo normal es que veamos esas características como propias del campo visual total. Y las diversas cualidades de las imágenes producidas por el sentido de la vista no son estáticas. El disco de la fig. 5 no está simplemente desplazado respecto del centro del círculo. Hay algo de desasosiego en él, parece como si hubiera estado en el centro y quisiera volver, o como si quisiera alejarse más; la experiencia visual es dinámica y el disco descentrado de la figura no está estático, su excentricidad parecerá inducida por un foco virtual de fuerzas y su posición nos parecerá más estable cuando los centros del disco y del círculo coincidan. Esta experiencia visual es lo que los artistas plásticos (y los psicólogos) llaman fuerzas preceptuales (Arnheim, 1997).

El párrafo anterior dice de manera algo literaria que los psicólogos consideran que una sensación es diferente a una percepción, desde el punto de vista psicológico. Así, aunque en el lenguaje cotidiano decimos: sentí un temblor en mis piernas, o percibí como me temblaban las piernas, como dos expresiones que significan lo mismo, los psicólogos distinguen entre ambas palabras. Las principales diferencias establecidas son (Romo, 2003):

^{*} Escrito en el folio iii, 3v del *De Revolutionibus* (Copérnico, 1541).

a) Se considera sensación exclusivamente la excitación de algún receptor corporal (sentido) al recibir una estimulación, mientras que percibir consiste en identificar en qué consistió esa estimulación y cómo es que se produjo.

b) La sensación requiere de un proceso meramente mecánico o químico, en el cual el organismo reacciona de acuerdo con las características “naturales” del sistema nervioso, mientras que en la percepción intervienen la experiencia y el aprendizaje previos.

c) En la sensación simplemente se captan los estímulos, mientras que en la percepción éstos son interpretados.

Todo el proceso sensorial se continúa en nuestra mente, de tal forma que lo que captamos por medio de nuestros sentidos es interpretado de alguna manera, dando lugar a la percepción. La percepción es entonces un proceso íntimamente ligado a las sensaciones y a la capacidad del organismo de darse cuenta de la existencia de las mismas, dándoles algún tipo de interpretación. Nuestros Sentidos proporcionan información sin elaborar sobre el mundo exterior y es el cerebro el que interpreta el flujo (complejo) de la información procedente de los sentidos, usándola como materia prima, el cerebro crea experiencias perceptuales que van más allá de lo que se percibe mediante los sentidos.

De hecho, algunos psicólogos afirman que nuestros ojos captan solamente ciertos colores (López y Cantora, 2006) y que gracias a la percepción es que somos capaces de identificar una figura específica (cuadros, círculos, etc.) que nos permiten interpretar esos colores como una pintura de Miguel Ángel, por ejemplo. Nuestra experiencia perceptual es más que una sencilla copia de la información sensorial disponible. Utilizamos información sensorial para crear percepciones que son más que la suma de sus partes. Tendemos a completar la información faltante, a agrupar objetos, a ver objetos completos y oír sonidos con significado, más que fragmentos sin sentido de información sensorial sin procesar.

La percepción es un proceso influido por el aprendizaje y la memoria, y relacionado con el pensamiento. Existen innumerables estudios acerca de la forma como interpretamos las sensaciones, en los que se ha podido identificar que la experiencias previas de las personas influyen de manera determinante sobre la forma como perciben estímulos de su entorno.

Para que podamos interpretar las sensaciones captadas por nuestros sentidos, intervienen tres procesos complementarios:

a) Evocación: mediante la influencia de nuestra memoria, percibimos aquello que esperamos percibir.

b) Rectificación: mediante ella las sensaciones que llegan hasta nuestra mente también son modificadas, de tal forma que somos capaces de completar, integrar o eliminar elementos que nos dificulten interpretar un estímulo determinado. Por ejemplo, si observamos el dibujo lateral de un trailer y contamos 5 llantas, seguramente percibiremos que el trailer tiene 10 llantas, a pesar de que solo vemos 5, ya que presumiremos que del otro lado deben existir otras 5.

c) Organización (Constancias perceptuales): a menudo seguimos teniendo la misma experiencia perceptual aunque cambien los datos de los sentidos. La constancia perceptual denota la tendencia a percibir los objetos como relativamente estables e invariables pese a los cambios de la información. Sin esta capacidad, el mundo nos parecería confuso en extremo. Una vez que nos hemos formado una percepción estable de un objeto, lo reconocemos en cualquier posición, prácticamente a cualquier distancia y en condiciones distintas de iluminación (Romo, 2003).

Entonces, por la manera en que percibimos las imágenes, un Universo como el esquematizado en la fig. 3, nos parecerá más ordenado, duradero y comprensible; sin embargo es irreal, pues a ese conjunto de círculos concéntricos del esquema se le debe agregar (de entrada) uno extra, que es el de la Luna circundando la Tierra, sin mencionar los círculos de epiciclos y epicicletos, ver fig.7 (Cohen, 1989).

El Sol colocado en el centro también parece responder a un ideal estético del siglo XVI. En una de las más logradas obras de Miguel Ángel (1475-1564), El Juicio Final (1541), fresco que pintó en el muro del altar de la Capilla Sixtina, donde los gestos y los movimientos rotatorios de ascenso y descenso de las almas que son elegidas y rechazadas por Cristo (flanqueado por María la Virgen) apenas se distinguen unos de otros*. En este mural la humanidad es representada como una sola, necesitada de consuelo; la desnudez de las figuras no deja ver diferencias de clase, condición y muy levemente se distingue género. El gesto de angustia está tanto en los justos (elegidos de Dios), como en los impíos (condenados a al Infierno). Y en el centro de la obra, la

* Copérnico, en los capítulos V y VI del libro I del *De revolutionibus*, al asignarle movimiento de traslación a la Tierra hace notar que con esa atribución, esta pasa a ser un planeta como los demás y el Sol es ahora el que tiene un lugar privilegiado.

figura más luminosa (literalmente hablando) formada por Cristo y María Virgen (Fig. 8).

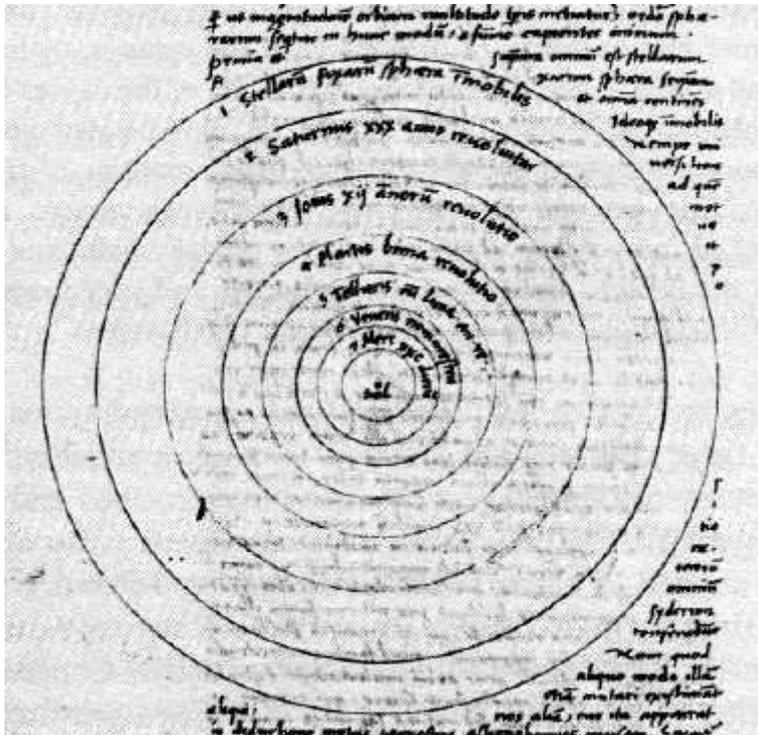


Figura 4. Esquema del sistema heliocéntrico de Copérnico como aparece en el manuscrito del *De Revolutionibus* Figura disponible en: http://www.bj.uj.edu.pl/bjmanus/revol/plist_e.html; página electrónica de la Biblioteca Jagelonica.

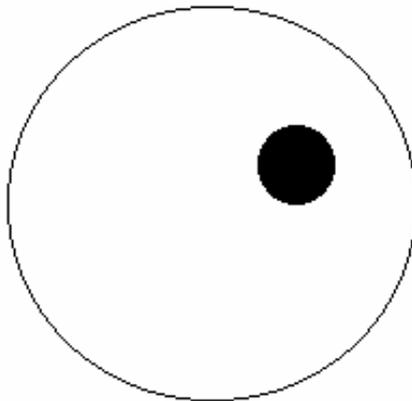


Figura 5. Sistema círculo-disco donde se observa que al estar el centro del disco fuera del centro del círculo, el sistema se percibe fuera de equilibrio.



Figura 6. Esferas para la órbita del Sol según Peurbach en el Libro *Theoricae novae planetarum*. Disponible en: <http://hsci.cas.ou.edu/>

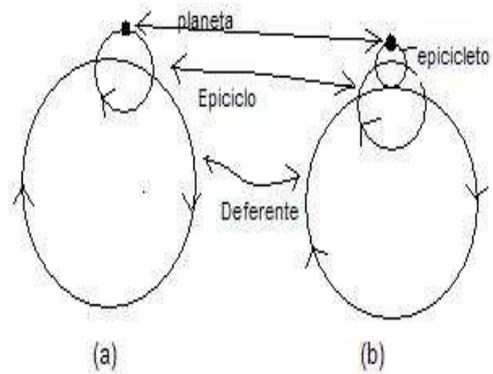


Figura 7. Esquema de: (a) epiciclos y (b) epicicletos. Copérnico no menciona en su esquema (fig. 4) estos círculos, que sí utiliza, al describir su sistema planetario.



Figura 8. "El Juicio final" de Miguel Ángel (1541) en el muro del altar de la Capilla Sixtina.

El ecuante y el movimiento uniforme

El ecuante es, en verdad, un artificio que Ptolomeo ideó para explicar las irregularidades de los planetas y así encuadrarlos en el principio de movimiento circular uniforme (Rosen, 1992). Un planeta no cubre iguales distancias (angulares) en tiempos iguales cuando se le observa desde el centro de su círculo deferente, sino que “parece” hacerlo así cuando se le observa desde un punto diferente, especialmente elegido para tal fin. Este punto se llama ecuante.

Este “artificio”—junto con todo el sistema ptolomeico—trabajó de manera bastante aceptable, aunque a lo largo de los siglos hubo intentos de reformas o cambios propiciados ya sea por el ánimo de mejoras en la observación o por motivos estéticos y/o filosóficos. Así tenemos que la astronomía árabe fue la que produjo la mayor cantidad y las más importantes de estas variedades (Dreyer, 1953).

Al-Satir (siglo V) rechazó la utilización del ecuante por parecerle que no encuadra del todo dentro del dogma de movimiento circular uniforme e introduce el uso de epicicletos (epiciclo que gira alrededor de un epiciclo) para los planetas que ahora conocemos interiores (Mercurio y Venus) (Koestler, 1963).

Igualmente Copérnico asignó un gran peso a un concepto filosófico, el concepto platónico-pitagórico del movimiento circular uniforme. En el *Comentariolus* el astrónomo escribió acerca de los movimientos planetarios: “eventualmente se me reveló cómo este muy difícil problema puede ser resuelto con pocas y muy sencillas instrucciones en lugar de las que hemos usado anteriormente, esto si se supone las consideraciones hechas por mí” (Gingerich, 1974).

Copérnico consideró que la eliminación del ecuante y la restauración del movimiento circular uniforme era su mayor logro (más que haber colocado al Sol en el centro del sistema); al adaptar los modelos de Ptolomeo a una disposición heliocéntrica, situó el centro de las esferas planetarias en un punto vacío del espacio, en lugar de centrar el Universo planetario en el Sol en sí. De ahí que en realidad, la doctrina expuesta en *De revolutionibus* no es, como generalmente se sostiene, heliocéntrica, sino apenas heliostática (Cohen, 1989).

Los contemporáneos de Copérnico consideraron el epicicleteo como una simplificación algo más que estética, ya que cumplía con el principio de movimiento uniforme, el cual era considerado como un axioma de la astronomía; así lo dice Reinhold autor de las *Tablas Prutenicas* (1551), quien escribió en latín en la portada de su ejemplar de *De revolutionibus*: “El axioma de la astronomía: el movimiento celeste

es circular y uniforme o está constituido por partes circulares y uniformes” (Gingerich, 1979; Cohen,1989).

Copérnico desechó el ecuante con el sentimiento de que Ptolomeo había hecho alguna clase de trampa al introducirlo^{*}. En épocas actuales algunos autores consideran que Copérnico también hizo alguna clase de trampa (Cohen, 1989) al postular en los primeros capítulos del *De revolutionibus* que los cuerpos esféricos deben girar en un movimiento circular uniforme “expresando en ese acto su forma” y después dejar fija a la esfera exterior de las estrellas aduciendo “que se contiene a sí misma y a todas las cosas, y por ello es inmóvil”, funcionando sólo como referencial para describir el movimiento de las demás esferas celestes y no aclara si también funciona como causa primera del movimiento (*Primum Mobile*), como en el trabajo de sus antecesores que consideraban la existencia de una novena y décima esfera por encima de la esfera de las estrellas y a los cuales criticó al final del capítulo XI del libro primero.

La fig. 9 muestra cómo Copérnico reemplazó el ecuante con un círculo excéntrico y un pequeño epiciclo. En el *Comentariolus* él prefirió usar un círculo concéntrico con un epicicleteo, el cual es precisamente el mismo mecanismo que usó antes al-Satir en Damasco. Si Copérnico conoció la obra de este astrónomo sigue siendo debatible, aunque en el libro III cap.IV del *De revolutionibus* aparece una figura y un teorema que explica la composición de un movimiento rectilíneo a partir de movimientos circulares, el cual aparece de manera casi idéntica en el libro *Memorial de astronomía* de al-Tusi (Elena,1985; Ragep, 2001).

* Aquí debe hacerse notar que el grado de dificultad para calcular la posición del ecuante utilizando solamente geometría, es alto (Lozano, 2006). Este problema no tiene una solución (al menos no una sencilla) aún planteándolo en termonos de conceptos y notación modernos de física y matemáticas; ver Anexo 1.

Después que Copérnico—tras la lectura de los trabajos de Al-Satir—tuviera conocimiento del movimiento de la línea de los ápsides* planetarios, encontró más conveniente usar una excéntrica y un epiciclete; el uso de este mecanismo constituyó el grueso de su trabajo en el *De revolutionibus*.

Hoy día el epiciclete puede parecer un elemento irreal, pero tiene un significado profundo si consideramos la simplicidad estética y filosófica (no así con los cálculos y la concordancia con las observaciones) que aportó al sistema heliocéntrico.

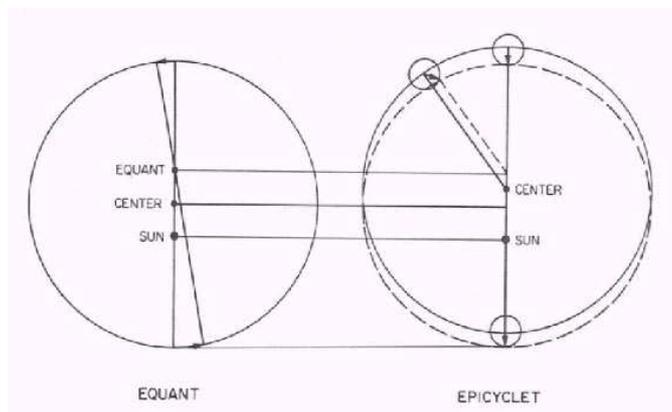


Figura 9.- El reemplazo del ecuante por un par de movimientos circulares uniformes (epiciclete) que Copérnico hace. (Figura tomada de: *The Astronomy and Cosmology of Copernicus* de O. Gingerich. P.74 Disponible en: <http://www.as.utexas.edu/astronomy/education/spring05/bromm/readings/copernicus.pdf>)

Dos retablos del Universo: ¿Es el heliocentrismo más sencillo que el geocentrismo?

Preguntarse si el heliocentrismo es más sencillo que el geocentrismo lleva implícito el hecho que ambos sistemas pueden compararse entre sí. Esta conmensurabilidad pone a ambos sistemas, según el análisis de Kuhn en su libro *Estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn, 1962), no como paradigmas distintos y sí como objetos de la misma clase, entonces, estos objetos podrán compararse en más de un nivel: el estético, el filosófico y el operacional o pragmático. El tema filosófico será tratado más adelante, ahora el análisis será solamente a nivel estético y pragmático.

Para George David Birkhoff la experiencia estética se da a través de una serie de tres procesos psicológicos:

* Cada uno de los dos extremos del eje mayor de la órbita trazada por un astro, sin un cuerpo estelar como centro (Oliver, 1998).

1. Un esfuerzo de atención, provocado por impulsos provenientes de un objeto estético; tal esfuerzo es llamado complejidad (C).
2. El sentimiento de valor o “medida estética” (M); en esta fase se produce la tensión provocada por la complejidad y su posible distensión.
3. En la última fase, después de la distensión, viene la comprensión que hacemos del objeto, que se traduce en el sentimiento de estabilidad o simetría. Esta sensación es lo que llamamos orden (O).

La forma de relacionar estas tres fases* es: $M = O/C$ (Birkhoff, 1931). Dos objetos estéticos pueden ser comparados obteniendo los coeficientes M para cada uno, donde las cantidades C y O se obtienen de considerar la suma del total de veces que aparecen los elementos que nos provocan esfuerzos de atención y de los que nos proporcionan la sensación de orden, respectivamente (con lo cual el máximo valor que puede tener M es uno). Un requisito obvio es que los objetos a comparar sean de la misma clase, esto es, que tengan el mismo medio de expresión (no se puede comparar la belleza de una vasija de cerámica y la de una pintura al óleo entre sí). Y aun teniendo el mismo medio de expresión la comparación no resulta fácil, pues depende de cada persona y del tiempo**.

Si bien es cierto que no se puede estar de acuerdo en el significado que pueda tener el “medir la belleza” de un objeto, el hecho de mencionar que obtener los respectivos coeficientes M para los sistemas ptolomeico y copernicano para su comparación, es posible ya que son objetos de la misma clase—inclusive, para algunos autores el sistema copernicano es una reformulación o reinterpretación del modelo ptolomeico (Cohen, 1989; Moreno, 2006)—, de manera que sólo se hará un análisis cualitativo de los principales elementos que los componen, lo cual cobra importancia si se considera que los factores estéticos tuvieron un papel relevante en la aceptación que tuvo en su época el sistema de Copérnico; se tratará de ver si esa relación de elementos significa monstruoso para el sistema ptolomeico y majestuoso para el copernicano (como aseguró Copérnico mismo).

Los elementos que inclinan la balanza a favor del heliocentrismo—según el propio Copérnico—tanto para su formulación como para su aceptación son:

* Para José Luis Córdoba en la serie de artículos titulado *Taller de estupidez* menciona que el coeficiente $M = O/C$ se puede ver como una fórmula de eficiencia termodinámica y hace notar que sistemas más simples pero que nos requieren menor esfuerzo de atención nos pueden dar el mismo placer estético ($M = 4/3 = 8/6 = 48/36$) y lo relaciona con las etapas del humor y la creatividad de Martín Gardner las cuales son: ¿Ah?, ¡Ajá! y ¡Já! (Córdoba, 1994).

** Hoy día nos resulta más comprensible un modelo de sistema solar regido por fuerzas gravitacionales, que uno compuesto por excéntricas y epiciclos, aunque sea heliocéntrico; ambos modelos tienen un medio de expresión semejante y algunos elementos en común, sin embargo no son fácilmente comparables.

a) El número de círculos empleados para describir las “órbitas” planetarias: Copérnico en el *Comentariolus* fijó el número de círculos en 34; esto dio pie a una confusión en el siglo XIX, algunos autores fijaron el total de círculos en 80 para el sistema ptolomeico y 34 para el copernicano. Esto es lo que Robert Plater ha llamado “síndrome 80-34” (Koestler, 1963; Plater, 1970; Gingerich, 1975).

Sin embargo esto es relativo (además de falso), pues para algunos mecanismos el número de círculos usados es 13 para el ptolomeico y 15 para el copernicano. El conteo global de círculos para cada sistema hecho por Koestler y Gingerich deja al sistema heliocéntrico en ligera desventaja.

b) Mecanismos usados para predecir posiciones planetarias: Las diferencias más marcadas se dan en los mecanismos para Mercurio y Venus, la Tierra y la Luna; permaneciendo prácticamente iguales para los planetas exteriores, entre ambos sistemas.

No obstante, en el sistema de Copérnico el cálculo de las longitudes de los planetas interiores es natural y simple en comparación con el sistema ptolomeico. En el segundo sistema es necesario restringir arbitrariamente el ángulo entre las líneas Sol-Tierra y Tierra-Planeta, relacionando la excéntrica del Sol con la de los planetas para explicar porqué Venus y Mercurio no aparecen demasiado alejados del Sol. En cambio, al hacer Copérnico las órbitas de estos planetas más pequeñas que la de la Tierra, sus posiciones aparecen automáticamente cercanas al Sol (Kuhn, 1981).

Un deferente, un epiciclo y un ecuante son los elementos con los que Ptolomeo calcula las posiciones planetarias; a este sistema se le ha achacado (erróneamente) el uso de epiciclos sobre epiciclos, pues un truco matemático utilizado por Ptolomeo consistía en encontrar cuáles dos de las cinco columnas de sus tablas astronómicas eran las adecuadas para multiplicarlas por un factor numérico y así escalar el tamaño del deferente o el epiciclo según convenga. El uso de un simple epiciclo extra haría que se necesitaran más de cinco columnas en las tablas astronómicas y las dos columnas a usar en la corrección aumentarían, por lo que el cálculo resultaría prácticamente imposible para la época (Gingerich, 1985).

Copérnico usa el epicicleteo en su teoría lunar, y para describir la trayectoria de la Tierra usa una excéntrica que se mueve alrededor de un punto, el cual gira alrededor de un epiciclo que se mueve alrededor del Sol(!) (ver fig.10). Adicionalmente introduce mecanismos (complejos) que consideran la precesión y la nutación (precesión y trepidación). Los mecanismos usados por Copérnico y la nula mejoría en el cálculo de las posiciones dejan al sistema heliocéntrico en desventaja nuevamente.

c) La simetría y la armonía: Ya se mencionó que uno de los trucos utilizados por Ptolomeo era escalar los tamaños de las órbitas según conviniera; pero un problema que tenía era que se le asignaba un periodo de un año al Sol, a Venus y a Mercurio, esto redundaba en errores de cálculo para la duración del año y las fechas de los equinoccios.

Copérnico, al asignarle movimiento a la Tierra alrededor del Sol y fijar el periodo de revolución (considerando los periodos de retrogradación) de Mercurio y Venus en 88 y 225 días, respectivamente, situando a éstos como planetas al interior de la esfera terrestre con el argumento de que a mayor periodo de revolución mayor distancia de recorrido (aunque esto es un supuesto arbitrario). Más adelante se verá si esto ayudó en la reforma del calendario juliano, pero sin lugar a dudas la simetría y la armonía fueron un motor en la formulación y aceptación del modelo heliocéntrico, sin importar qué tan artificiales o arbitrarios sean sus supuestos. Con el sistema heliocéntrico cualquier cambio en el tamaño o posición de la esfera de un planeta afecta a todo el sistema, a diferencia del ptolomeico donde se podían escalar los deferentes y los epiciclos independientemente unos de otros.

Se ha examinado la ventaja estética del modelo de Copérnico, esto es, su capacidad para explicar los principales rasgos cualitativos del movimiento planetario sin recurrir a ecuantes, en particular, el movimiento retrógrado (figs.11 y 12) se convierte en una consecuencia natural e inmediata de la geometría heliocéntrica. Pero sólo los astrónomos que adjudicaban a la simplicidad cualitativa una importancia mayor que a la precisión cuantitativa (entre ellos Kepler y Galileo) podían considerar que tal argumento era convincente ante el complejo sistema de epiciclos y excéntricas elaborado en el *De revolutionibus*.

La búsqueda de simplicidad y armonía es un motivo fuerte en la elaboración de un nuevo sistema cosmológico para Copérnico, pero sin lugar a dudas esta armonía fue el factor que convenció a unos cuantos estudiosos para adoptar el modelo heliocéntrico (los cuales, a la postre, resolverían el problema del movimiento planetario). En palabras de Kuhn esto es: “Para los astrónomos la elección inicial entre el sistema de Copérnico y el de Ptolomeo podía ser simplemente una cuestión de gusto, y tales materias son las más difíciles de definir o discutir. No obstante, tal como muestra la historia de la propia revolución copernicana, las cuestiones de gusto no son algo despreciable. El oído (sic) preparado para discernir la armonía geométrica era capaz de detectar una simplicidad y coherencia nuevas en la astronomía heliocéntrica de Copérnico que, de no ser percibidas, no habrían dado nacimiento a una revolución.” (Kuhn, 1981)

Aun cuando el sistema heliocéntrico no aventaja al ptolomeico en lo pragmático, sí lo supera como objeto estético (en principio). Pues su simetría (o geometría) fija puede aparecer al gusto como algo más sólido, comprensible y duradero.

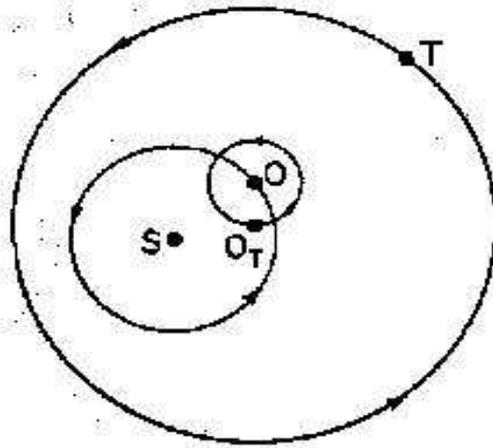


Figura 10. Descripción copernicana del movimiento de la Tierra. El sol está situado en S y la Tierra, T, se mueve sobre un círculo cuyo centro, O_T , gira lentamente alrededor del punto O, que a su vez se traslada a lo largo de un círculo centrado en el Sol.

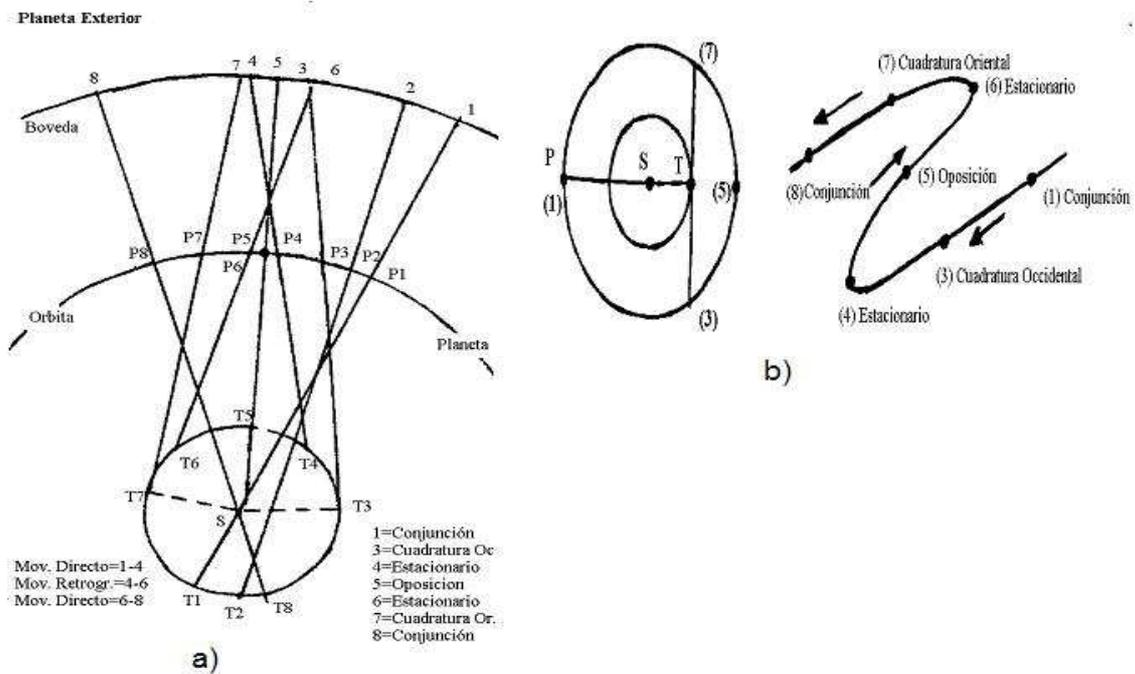


Figura 11. Explicación copernicana de los movimientos de retrogradación de los planetas exteriores (Marte, Júpiter y Saturno). (a). La Tierra se traslada de T_1 a T_8 en movimiento uniforme, mientras el planeta se traslada de P_1 a P_8 también de manera uniforme. La posición aparente del planeta se proyecta sobre la bóveda de las estrellas deslizándose de 1 a 8 en dirección este. (b). Trayectoria aparente del planeta.

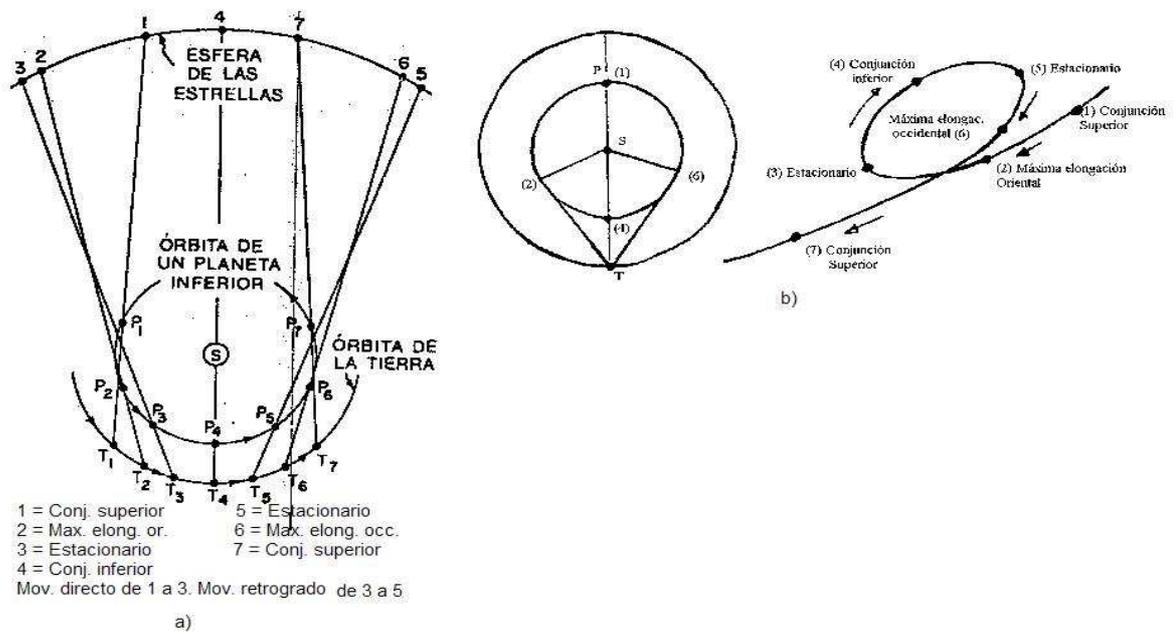


Figura 12. Explicación copernicana del movimiento de retrogradación de los planetas interiores (Mercurio y Venus). (a). Al igual que en la figura 11 la Tierra se mueve de T_1 a T_7 y el planeta de P_1 a P_7 , y el movimiento aparente se proyecta sobre la bóveda de las estrellas. (b). Trayectoria aparente del planeta.

Capítulo 5. El heliocentrismo, ¿una nueva filosofía?

Immanuel Kant declaró en la introducción de su libro *Critica de la razón pura* (1787) que el nuevo método de pensamiento que usa en ese libro procede de las líneas de pensamiento de Copérnico. Él escribe acerca del astrónomo polaco: “Éste, viendo que no conseguía explicar los movimientos celestes si aceptaba que todo el ejército de estrellas giraba alrededor del espectador, probó si no obtendría mejores resultados, haciendo girar al espectador y dejando a las estrellas en reposo” (Kant, 1787).

Kant se compara con Copérnico (Roush, 2003) y le atribuye un carácter innovador que es trascendental para la historia de la ciencia cuando dice que: “la gravedad de Newton nunca habría sido descubierta si Copérnico no se hubiera atrevido, en una forma contradictoria a los sentidos, aunque verdadera, para encontrar los movimientos observados, no en los cuerpos celestes, sino en el observador mismo” (Kant, 1787).

El punto de vista kantiano refleja la tendencia a atribuirle a Copérnico el haber destronado a la humanidad de un lugar privilegiado en el Universo, tendencia que prevalece hasta nuestros días y fue difundida ampliamente—Carl Sagan es un ejemplo de ello—(Danielson, 2001). De acuerdo con Karl R. Popper, una revolución en la ciencia tiene dos componentes: la componente científica y la componente ideológica. La primera componente es el proceso de reemplazar una teoría bien establecida con una nueva y la segunda abarca la suma de todos aquellos procesos de “aceptación social” o ideologías, incluyendo aquellas ideologías que conllevan algunos resultados científicos. (Popper, 1976).

En este trabajo a la componente ideológica del modelo heliocéntrico se le llamará simplemente la filosofía del modelo heliocéntrico y a la componente científica, la física heliocéntrica.

La filosofía del modelo heliocéntrico

Una Tierra que gira alrededor del Sol entra en contradicción directa con la física aristotélica (por ejemplo, el alcance de los proyectiles no sería el mismo para los que son lanzados hacia el oeste que para los lanzados hacia el este) y su esfericidad con las creencias religiosas de algunos cultos, en especial con las creencias del orador y apologista cristiano Lactancio (hacia 250 – 330), del Obispo Gabala (pr. siglo IV d.n.e.) y del monje de Alejandría, Cosmas (fnl. siglo VI d.n.e.) alias “Indicopleustes”*, de que

* Que significa, navegante indio.

la Tierra tenía la forma de un tabernáculo. El modelo geocéntrico de Ptolomeo fue tolerado, ya que estaba de algún modo de acuerdo con algunos pasajes de la Biblia, en especial con el pasaje donde Josué ordena al Sol detenerse (Kuhn, 1981; Pacholczyk, 1995).

Podría pensarse que de esa tolerancia de las creencias católicas con el modelo de Ptolomeo surge la idea errónea que la humanidad ocupaba un lugar privilegiado en el Universo. En el modelo geocéntrico—regido por la filosofía y la física aristotélica—el lugar privilegiado no era el centro geométrico del Universo, sino la periferia de éste.

Para Aristóteles, la esfera de las estrellas por ser la más cercana al poder de Dios era el centro vivo del Universo, y en consecuencia, es el *Primum Mobile*, el que transmite el poder de Dios al interior del Universo; además considera el hecho de que la Tierra y el centro geométrico del Universo coincidan, como una mera casualidad, ya que al estar aquélla formada por elementos pesados (con algo de agua en su superficie), se dirige al centro del Universo, el cual es el lugar más apartado de la potencia de Dios, por tanto el lugar de las cosas con menos gracia divina.

Copérnico reemplazó el Universo aristotélico con el Universo simétricamente esférico de los pitagóricos y Platón, en el cual el centro geométrico es un lugar de privilegio y colocando en ese lugar un cuerpo privilegiado como lo es el Sol, haciendo del centro geométrico del Universo el centro vivo de éste. Con esta nuevo acomodo de la divinidad (ahora residiendo en el Sol), Copérnico asigna a la esfera de las estrellas fijas la cualidad de contenerlo todo, incluso a sí misma, de modo que esta esfera es un cuerpo parte del Universo y el envase que lo contiene (Granada, 2004).

La relación de los planetas con la divinidad aristotélica está en función directa de la cercanía de éstos con la esfera de las estrellas. Copérnico, al reintroducir el movimiento circular uniforme en su modelo, considera que el tamaño de las esferas dependerá sólo del periodo de revolución alrededor del Sol. Así, una esfera de radio mayor corresponderá a un planeta con periodo de revolución mayor (excepto la Luna que gira alrededor de la Tierra), y la cercanía de un planeta con el Sol no le brinda ninguna característica especial respecto de los demás planetas (ontológicamente hablando). Y la cercanía con la esfera de las estrellas fijas es irrelevante, pues esta última al ser inmensa en comparación con la esfera y el tamaño de la Tierra, quedará alejada aun del planeta más alejado del Sol, que es Saturno. Esta distancia inmensa fue lo que llevo a Giordano Bruno a considerar un Universo infinito en extensión; sin embargo, Copérnico extiende el radio de la esfera de las estrellas como un artillugio

técnico para salvar el movimiento aparente y la ausencia de paralaje de las constelaciones; pero el Universo copernicano es en principio cerrado como el aristotélico (Koyré, 1993). Si alguna exaltación hay de la humanidad en los modelos cosmológicos del siglo XVI, proviene de Copérnico mismo. En su dedicatoria al Papa Pablo III dice acerca de la “Máquina del Mundo”: “...construida para nosotros por el mejor y más regular artífice de todos.” (Copérnico, 1978).

La física del modelo heliocéntrico

El orden, desde el punto de vista copernicano, es lo antagónico al caos (o al desorden) y este último se define desde el orden de lo ya establecido, que no de la realidad cotidiana; esta visión es la misma que la de Platón, quien en el *Timeo* establece que la creación del Universo es en realidad la creación de orden y sólo la mente (a través de los sentidos) podrá develar el orden intrínseco que hay en todas las cosas (Munné, 1994; Platón, 1998). Para Charles Schmitt (Schmitt, 1973) una de las más devastadoras y originales críticas al sistema aristotélico fue la de Copérnico; sin embargo, por mucho que lo hubiera deseado, tuvo dificultades para “escapar del predicamento aristotélico.” No obstante, el trabajo que desarrolló Copérnico en su *De revolutionibus*, da la impresión que más que no poder escapar, parece desear permanecer totalmente inserto en un Universo aristotélico, el cual representa el orden de lo ya establecido. Algunos puntos que indican esto son los siguientes:

i) Las referencias a los filósofos Filolao y Aristarco, quienes creían en la movilidad de la Tierra, no aparecen en las primeras cuatro ediciones del *De revolutionibus* (1543, 1566, 1617, 1854), por ser tachadas del manuscrito del libro por el propio Copérnico. Fue hasta que se recuperó este manuscrito que las referencias se insertaron en la edición de 1873 (Copérnico, 1543; Rosen, 1992; Gingerich, 1983), aunque siendo tan evidente su filiación pitagórica es posible que esta omisión se deba a que considero irrelevantes estas referencias.

ii) Las incongruencias y lagunas en la manera de justificar el movimiento de la Tierra y de los demás planetas; la combinación de argumentos platónicos, aristotélicos y escolásticos, hacen que el movimiento de la Tierra no esté plenamente justificado, aun cuando, desde los capítulos V hasta el IX del libro I del *De revolutionibus* están dedicados a esto. (Kuhn, 1981).

Al asignarle Copérnico movimiento a la Tierra, trasladar el Sol al centro del Universo y dejar fija la esfera de las estrellas, el sistema heliocéntrico carece de *Primum*

Mobile como causante del movimiento de las esferas; aunque los planetas son arrastrados por su respectiva esfera, estas no transmiten su movimiento a la esfera inmediata inferior o superior, como sucede en el sistema ptolomeico; la descripción del movimiento es puramente cinemática y aunque el sistema de Ptolomeo es cinemático también, encaja de manera más natural en la concepción de Universo aristotélico. En el caso del sistema heliocéntrico hay que hacerlo encajar en la correspondiente concepción de Universo, utilizando los conceptos (aristotélicos en extremo) de movimiento natural y movimiento violento. Pero aun en el uso de esos conceptos, las inconsistencias seguían presentándose. Por ejemplo, Copérnico asevera que el reposo es lo que más conviene para la esfera de las estrellas, ya que siendo tan inmensa su extensión, el movimiento sería violento y terminaría desintegrándose, contradiciendo lo que anteriormente había postulado para los cuerpos esféricos diciendo que en el movimiento circular expresan su forma y esto les da cohesión, tendiendo así a la perfección (Copérnico, 1543, 1978).

Copérnico intentó evitar el tener que tratar el problema físico, pero no le fue posible al momento de adjudicarle movimiento a la Tierra, y la configuración planetaria propuesta por él rebasó su propia capacidad de análisis para justificarla en el marco de la filosofía y la física aristotélicas. Esto no le resta mérito a Copérnico, pues a decir de T. S. Kuhn: “Su concepción o aceptación del movimiento de la Tierra jamás fue deducida de razones físicas.” (Kuhn, 1981).

Aquí es importante señalar que para la aceptación total del modelo heliocéntrico, fue necesario construir una física acorde con él. Dicha tarea correspondió a los copernicanos (Kepler y Galileo, principalmente).

Capítulo 6. Aspectos técnicos y sociales del heliocentrismo

Las observaciones

Al final de su ejemplar de las *Tablas Alfonsinas* Copérnico anotó cuidadosamente tablas y notas misceláneas (sobre todo de recetas médicas). Debajo de las anotaciones a las observaciones del cielo hechas en Bolonia en 1500, aparece una anotación de manera casi críptica en latín: “Marte excede los números en más de dos grados/ Saturno es excedido por los números en un grado y medio”. Un análisis de las posiciones planetarias hecho por Brian Tuckerman en 1964 muestra que ese patrón entre posición y tablas corresponde a la conjunción Júpiter-Saturno entre marzo y abril de 1504 (Gingerich, 1974), habiendo un error de dos semanas entre la fecha de predicción y la de ocurrencia del suceso. En 1566, tres años después de la conjunción Júpiter-Saturno de 1563, Tycho Brahe queda atónito y algo ofendido al descubrir que incluso las efemérides hechas con las *Tablas Prusianas*, predijeron el suceso en una fecha equivocada. De hecho todas las efemérides realizadas con el modelo heliocéntrico tienen el mismo error (o al menos del mismo orden) que las realizadas por los antecesores inmediatos de Copérnico (J. Stoeffler* el principal de ellos) (Gingerich, 1975).

Para A. Koestler el hecho de que Copérnico tuviera sólo un par de instrumentos para hacer observaciones (un báculo de Jacob y una ballesta; fig. 13), a pesar de contar con recursos económicos (provenientes de las canonjías otorgadas por el clero), es un síntoma de que al astrónomo polaco no le interesaban demasiado las observaciones. Notable es también el hecho de que conociendo Copérnico los errores entre predicción y observación (según las notas realizadas en sus tablas astronómicas) no las denunciara ni lo presentara como causa de la formulación de su modelo, cuando hasta los navegantes (mediante cartas donde reseñaban sus expediciones) hacían notar el hecho de que nuevos métodos eran necesarios para aumentar la exactitud en el cálculo de las longitudes (Varela, 1992).

El interés de Copérnico por las observaciones fue mucho menor que el interés por acatar o estar de acuerdo con la autoridad establecida, al grado que se puede decir

* Johannes Stoeffler (1452 – 1530) Profesor de matemáticas en Tübingen, fue prácticamente el único que preparaba efemérides en esa región (Gingerich, 1975).

(como lo hizo Kepler) que: “Copérnico trató de interpretar a Ptolomeo antes que a la naturaleza”.^{*} Esto se hace explícito en la respuesta que Copérnico tiene ante la publicación del libro de J. Werner *Sobre el movimiento de la octava esfera*, en 1524, la cual es: “Nos corresponde seguir estrictamente los métodos de los antiguos y atenernos a sus observaciones que nos legaron como un testamento. Y para quien piense que esos métodos y observaciones no son dignas de toda confianza, seguramente permanecerán cerradas las puertas de nuestra ciencia” (Koestler, 1963; Rosen, 1992).

En descargo de Copérnico se puede decir que él realmente fue heredero de un conjunto de observaciones, de las cuales sólo una parte provenía de Ptolomeo mismo, y el resto provenía ya sea de malos observadores o de algunas buenas observaciones pero mal interpretadas o con corrupciones debidas a las sucesivas transcripciones; y sin un procedimiento para manipular errores, él se vio obligado a suponer que estas observaciones eran las adecuadas ^{**} (Gingerich, 1974; Kuhn, 1981). Años después Copérnico se daría cuenta del error que estaba cometiendo al aceptar incondicionalmente estas observaciones.

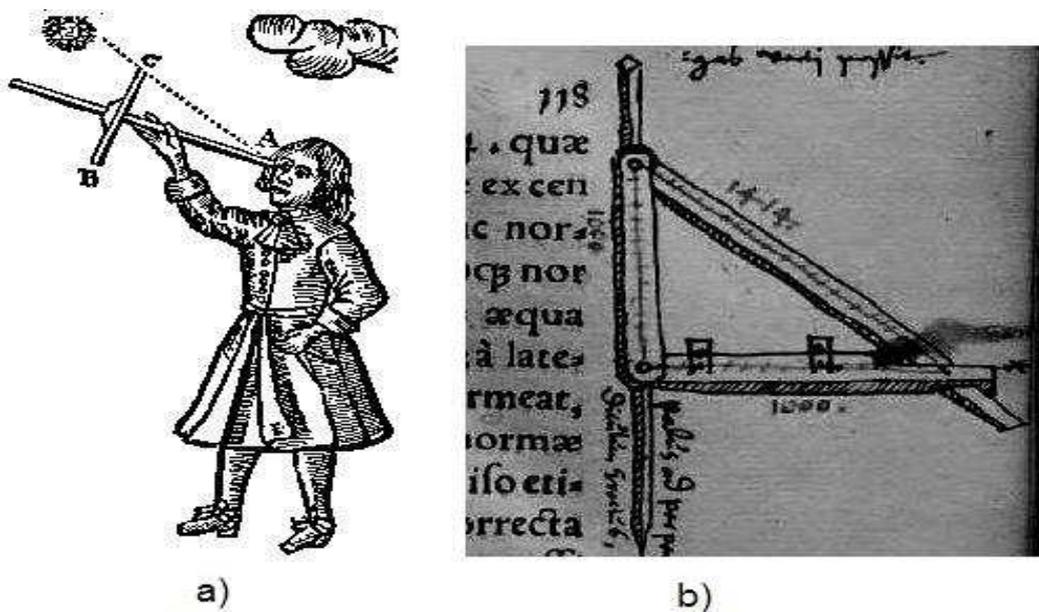


Figura 13. Instrumentos con los que contaba Copérnico para hacer observaciones. a). báculo de Jacob. b). ballesta o “triquetrum”. Ambos permitían determinar el ángulo de un astro respecto del horizonte.

^{*} Koestler, 1963; pp. 198-199

^{**} En ausencia de observaciones sistemáticas nadie sabía en realidad qué tan buena o mala era una tabla astronómica cualquiera; esto fue posible hasta que Tycho Brahe estableció su serie de observaciones sistemáticas.

Aspectos sociales

Durante el siglo XV Europa conoció la cúspide del redescubrimiento de los maestros clásicos y un despertar intelectual de una gran fuerza que Koestler describe así: “como si la humanidad hubiera salido de un estado de somnolencia y entrara en un estado de lujuria exacerbada (sic) y gran ansia de saber...” (Koestler, 1963).

El humanismo no era un movimiento científico en principio, a menudo los humanistas se opusieron encarnizadamente a Aristóteles, a los escolásticos y a toda la tradición del saber cultivado en las universidades. En ciencia, en astronomía particularmente, la oposición a la tradición antigua fue creciendo gradualmente. Por ejemplo, Peurbach trabajó sobre traducciones de segunda mano del *Almagesto* recogidas del Islam. A partir de esas traducciones logró reconstruir una exposición del sistema ptolomeico más adecuada y completa que las conocidas en aquel entonces. Sin embargo, este trabajo sirvió para convencerle que una astronomía auténtica debería ser extraída de los originales griegos. La muerte de Peurbach sobrevino antes que éste lograra completar su obra; su sucesor en esta tarea fue Johannes Müller (Regiomontano, quien fue llamado para la reforma del calendario), quien, cuando tuvo acceso a los originales griegos existentes en Italia, descubrió que incluso la formulación original de Ptolomeo era inadecuada, al grado de decir: “Es necesario observar tenazmente los astros y librar a la posteridad de la tradición antigua...” (Kuhn, 1981; Elena, 1985).

También los descubrimientos hechos en las grandes exploraciones portuguesas y españolas hicieron necesario corregir la geografía (que también desarrolló Ptolomeo) desde la astronomía, con mejores técnicas de cálculo, lo que incluía al calendario.

En el campo de la tecnología, la invención de la imprenta en el siglo XV revolucionó la difusión de los conocimientos, ésta incrementó rápidamente el número de ejemplares, ofreciendo a los eruditos textos idénticos para su trabajo. Una consecuencia adicional de tal invención, fue la rápida difusión de las ideas, lo cual fue aprovechado por los movimientos ideológicos y sociales, como en el caso de la Reforma que Martín Lutero culminó en Alemania, y que se sirvió de la imprenta para promover sus postulados e incluso para opinar sobre acontecimientos tales como la concepción de un nuevo modelo cosmológico como el heliocéntrico, al cual condenaba.

Otro aspecto muy importante es el de la Iglesia católica y el poder. Los errores acumulativos del calendario juliano habían sido reconocidos antes del siglo XIII. No obstante, tales proyectos no se pusieron en marcha sino hasta el siglo XVI, cuando las crecientes dimensiones de las entidades políticas y económicas dieron importancia a la

necesidad de computar de manera eficaz y uniforme las fechas. La reforma del calendario se convirtió entonces en un proyecto oficial de la Iglesia, con repercusiones importantes para la astronomía.

León X, vástago de los Medici, tomó posesión de su cargo en un gran desfile, que imitaba una procesión del Santísimo, y fue una gran ostentación del Papa y de su corte. En un gran cartel se leía: “Antaño imperó Venus (bajo Alejandro VI), luego Marte (Julio II); ahora empuña el cetro Palas Atenea.” Los humanistas y artistas celebraban así a su protector y mecenas, pero anunciaban también la frivolidad y ligera negligencia que caracterizaron al pontificado de León X, el pontificado en que Lutero inicia la reforma protestante (Jedin, 1972). Esta actitud hacia las ciencias (y estos excesos) persistirían a lo largo de los papados de Clemente VII y Pablo III. Así la reforma calendárica se daría entre dos cismas; uno en el seno de la Iglesia católica con el surgimiento del protestantismo y el otro en la propia astronomía, con la necesidad de romper la tradición antigua. En este contexto es que los trabajos de Ficino, Fracastoro y Werner se dieron; todos tendientes a la reforma del calendario. Copérnico tuvo conocimiento de estos trabajos en mayor o menor grado.

Ficino, en una carta a Paul de Middelburg, propone un calendario que supone una armonía entre los tamaños de las esferas de los planetas en razón de números enteros, de manera que transcurrido un número determinado de años se tendría una distribución de planetas idéntica a la del momento en que Dios creó al mundo, esto es conocido como año platónico^{*}; basado en argumentos numerológicos y astrológicos da las relaciones en el tamaño de las esferas, pero no menciona cuál es ese periodo entre años platónicos ni cual es la duración del año trópico (Allen, 1994).

Los trabajos de Fracastoro y Werner no dan cuenta tampoco de las observaciones, pero se gana en simetría (aunque no fija) al considerar esferas concéntricas, las cuales son objetos dignos de estar entre los cuerpos divinos.

El modelo heliocéntrico es—según Copérnico—un sistema simétrico y armónico, sin embargo este sistema no está específicamente formulado para la reforma calendárica (Granada, 2005), aunque su autor lo consigna como una de las causas de su formulación en la dedicatoria al Papa Pablo III, cuando acusa a los astrónomos de no ponerse de acuerdo en lo principal, esto es, “la duración del año y la forma del Universo” (Copérnico, 1978).

^{*} Kepler en su libro *Mysterium Cosmographicorum* en el capítulo XXIII demostraría la irracionalidad de los periodos de los planetas, con lo cual dicho año no existiría. (Rada, 1983)

Como ya se vio en apartados anteriores de este trabajo, la dedicatoria al Papa Pablo III sólo tenía la finalidad de poner a buen resguardo* al *De revolutionibus* y la honra misma de Copérnico de la amenaza (no del todo infundada) del protestantismo, poniendo al heliocentrismo al servicio de los católicos. Lo que finalmente ocurrió, ya que en 1582 la reforma calendárica se hizo considerando las *Tablas Prusianas* hechas con base en el sistema de Copérnico. Esto acrecentó la fama y la reputación del astrónomo polaco, aunque para desgracia del calendario, cuando la reforma se concretó el catolicismo estaba severamente dividido por la reforma protestante, y su aceptación se convirtió en un asunto de contenido religioso y político.

Como ya se mencionó la reforma calendárica bien hubiera podido llevarse a cabo en 1517, ocupando las *Tablas Alfonsinas* para ello (Gingerich, 1977). Sin embargo esto no fue así, debido principalmente a dos circunstancias: la primera es el ánimo casi general de los astrónomos de la época para implementar cambios radicales en el sistema cosmológico y en las técnicas de cálculo; y por otro lado, la reforma religiosa que se estaba gestando y que culminaría Lutero en 1520 con sus 95 tesis.

En los documentos del V Concilio de Letrán se consigna lo siguiente: “Como quiera, pues, que en nuestros días con dolor lo confesamos el sembrador de cizaña, aquel antiguo enemigo del género humano, se haya atrevido a sembrar y fomentar por encima del campo del Señor algunos perniciosísimos errores, que fueron siempre desaprobados por los fieles, señaladamente acerca de la naturaleza del alma racional, a saber: que sea mortal o única en todos los hombres... y con todo rigor prohibimos que sea lícito dogmatizar en otro sentido; y decretamos que todos los que se adhieren a los asertos de tal error, ya que se dedican a sembrar por todas partes las más reprobadas herejías, como detestables y abominables herejes o infieles que tratan de arruinar la fe, deben ser evitados y castigados”. (*Enciclopedia católica*, 2006; “Carta contra los neoaristotélicos”).

Estos que, de manera errónea, el clero católico llamó neoaristotélicos son los protestantes, encabezados por Lutero; manifestaban repudio de la metafísica, interpretándola como una ciencia basada en conceptos universales y en signos abstractos, que quizá son adecuados en el plano de la especulación lógico-formal, pero

* Como lo fue la traducción del epistolario de Simocatta, que por tratarse de un texto griego, su traducción era meritoria a los ojos de los humanistas. Por ser un texto de un monje bizantino del siglo VII escrito con prosaísmo y una piedad tales, que ni siquiera un monje fanático podía formular objeciones contra él.

que (según ellos) no son válidos para el conocimiento significativo de las realidades concretas y de las conductas humanas, especialmente a las referidas en el plano de la salvación. Esta persistente actitud de sospecha y rechazo de la razón, la presentarán a menudo, como enemiga de la fe, tildándola de “prostituta”, por sus negativas consecuencias en la investigación teológica y por considerar que fomentaba la soberbia humana (Pifarré, 2005). La “nueva” doctrina astronómica de Copérnico no se salvó de tales sospechas; en el libelo conocido como “Charlas de sobremesa” Lutero lo critica: “Este necio desea revolucionar toda la ciencia astronómica, pero las sagradas escrituras nos dicen que Josué ordenó al Sol que se detuviera, no a la Tierra.”

Philip Melanchthon (1497-1560), principal lugarteniente de Lutero en Wittenberg también condenó a Copérnico. En su trabajo *Tratado sobre los elementos de la física*, publicado seis años después de la muerte del astrónomo polaco, dice: “Nuestros ojos son testigos de que los cielos giran en el espacio cada veinticuatro horas; pero ciertos hombres, bien por afán de novelería, bien por hacer despliegue de ingenio, han llegado a la conclusión de que es la Tierra la que se mueve y que ninguna de las ocho esferas o el Sol dan vueltas...” (White, 1972). Los ideólogos del protestantismo estaban totalmente en contra del heliocentrismo; no sucedió así con los científicos de Wittenberg.

Erasmus Reinhold (1511-1553), aun sin declararse abiertamente a favor del movimiento de la Tierra fue de los primeros astrónomos que brindó un importante empuje a la causa copernicana. En 1551 (ocho años después de la publicación del *De revolutionibus*) Reinhold publicó un nuevo y muy completo conjunto de tablas astronómicas calculadas según los métodos matemáticos desarrollados por Copérnico. Estas tablas, conocidas como *Tablas Prusianas* (llamadas así en honor de su protector, el duque de Prusia), pronto se hicieron indispensables entre los astrónomos y astrólogos de la época sin importar cuál fuese su opinión acerca de la posición y los movimientos de la Tierra.

Pero sin duda, el lugar de mayor importancia entre los impulsores del heliocentrismo entre los protestantes lo ocupa Georg Joachim, llamado Rhetico.

Rhetico llegó a Frauenburg en el verano de 1539. Iba cargado con preciosos dones: las primeras ediciones impresas de Euclides y Ptolomeo en el original griego, y otros libros de matemáticas. Se había propuesto permanecer en Ermland unas pocas semanas, y se quedó sin interrupción alguna durante dos años que dejaron su marca en la historia humana. Su llegada a Ermland fue muy oportuna: casi coincidió con un edicto del nuevo obispo Dantisco, por el cual se ordenaba que todos los luteranos

abandonaran Ermland en el término de un mes, so pena de perder la vida y las posesiones si volvían. El edicto se publicó en marzo; tres meses después, el profesor luterano, que llegaba directamente desde la capital de la herejía, presentó sus respetos al capítulo de Frauenburg.

Durante cierto tiempo Copérnico y Rhetico fueron huéspedes del obispo Giese. El triunvirato cosmológico debió de discutir interminablemente la manera de dar a conocer el sistema copernicano: Rhetico y Giese debían urgir la publicación del libro; el anciano canónigo, que mantenía su tenaz oposición, se vio obligado a ceder, paso a paso (Westman, 1975).

No se imprimiría el libro de las revoluciones de Copérnico, pero Rhetico haría una relación del contenido del manuscrito inédito y publicaría ese resumen, con la condición de que no mencionara el nombre de Copérnico. Rhetico debía llamar al autor del manuscrito “Domine Praeceptor” (Mi Señor Maestro); y en la primera página donde no era posible dejar de mencionar algún nombre, Rhetico se referiría a Copérnico como al “Ilustrado Doctor Nicolás de Thorn” (Rhetico, 1540).

Así nació la *Narratio Prima* de Rhetico, o sea, la primera relación impresa de la teoría copernicana. Había sido redactada como una carta que Rhetico dirigía a su antiguo profesor de astronomía y matemáticas, Johannes Shoener, de Nüremberg. El entusiasmo que Rhetico mostró hacia el heliocentrismo fue más allá de las labores de relator y posteriormente de encargado de la impresión, pues en su *Narratio Prima* hace una interpretación del modelo cosmológico de Copérnico señalando al Sol como causante del movimiento de los planetas*: “En la naturaleza el sol es el administrador, regente de los movimientos del universo”, esto sin embargo no es la idea de Copérnico quien no consigna una causa del movimiento de los planetas; Rhetico, interpretó esto, tal vez influido por las ideas que se comenzaron a gestar con Nicolás de Cusa, Regiomontano y que culmina Jacob Zigler** con la afirmación siguiente: “Los movimientos de todos los planetas dependen del Sol” (Koestler, 1963).

Ésta fue la única edición de la “primera relación” en la época y en 1541 Rhetico partía hacia Nürenberg con el manuscrito del *De revolutionibus*; después de esto (aparentemente por la omisión que Copérnico hace de su nombre en este libro) su entusiasmo se apagó y no volvió a publicar nada más acerca del heliocentrismo, pero su

* En el apartado *Universi distributio* escribe “Solem, suum in natura administratorem, motuius universi regem...” (Rhetico, 1540)

** Astrónomo ferrarese de cierto mérito; la frase citada la escribió en un comentario sobre Plinio.

importante contribución queda para la historia, si bien no como causa de la formulación heliocéntrica, sí para su aceptación.

Capítulo 7. Conclusiones

De acuerdo a lo expuesto en este trabajo se puede ver que la obra astronómica de Copérnico no es innovadora en sí misma. Desde la Antigüedad se propusieron modelos cosmológicos que consideraban a la Tierra en movimiento, como es el caso de los formulados por Heráclides y Filolao; también hubo quien consideró al Sol en el centro del Universo como Aristarco. Sin embargo estos modelos no tuvieron resonancia en su época por considerarse que iban en contra de la física vigente (donde la hipótesis de una Tierra en movimiento contradecía la experiencia cotidiana) y de creencias religiosas, con lo cual el modelo geocéntrico del Universo rigió la astronomía durante cerca de dos mil años. Así, el modelo de Copérnico es más bien una respuesta (entre otras que se dieron en su época) a la necesidad, sentida a finales del siglo XV, de una reforma a fondo en la astronomía.

El grueso de las cosmologías con las que se pretendía llevar a cabo esta reforma de la astronomía atendían principalmente a aspectos filosóficos (terreno en el que Platón y Aristóteles eran autoridad todavía) y a principios estéticos (principalmente la simetría, donde la esfera imperaba); otros trabajos, los menos, consideraban aspectos físicos y matemáticos en su concepción, siendo el de Copérnico el que abarca estos aspectos.

La reforma de la astronomía, para algunos, tendría que llevarse a cabo mediante la ruptura con la tradición antigua, tal es el caso de la obra de Fracastoro. En contraste, Copérnico elige el camino de la Antigüedad y su restauración, acorde con el principio renacentista de superioridad de lo clásico y con el programa cultural de obtener excelencia en su presente, vía el renacimiento de lo antiguo.

Es así que el primer impulso de Copérnico es corregir el sistema ptolomeico con la eliminación del ecuante y la introducción del movimiento circular uniforme. El ecuante representaba para el astrónomo polaco un defecto que no se adaptaba estrictamente a los principios aristotélicos y le restaba armonía y orden al sistema.

Esta búsqueda de orden y armonía condujo a Copérnico a un sistema heliocéntrico, donde la Tierra era un planeta más, sistema desarrollado y expuesto capítulo por capítulo, teorema por teorema, a la manera de Ptolomeo; colocando al Sol en el centro del Universo, el modelo de Copérnico aventajó al de Ptolomeo en “naturalidad” al momento de explicar los movimientos de retrogradación de los planetas, y quedando iguales si de simplicidad y exactitud en los cálculos se trata. Lo anterior deja abierta la posibilidad de que Copérnico, más que proponer un sistema

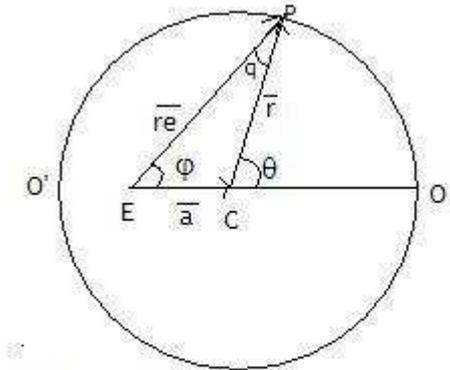
nuevo que reemplazara al de Ptolomeo, quisiera encontrar las mejoras necesarias y suficientes (vía movimiento circular uniforme) para que dicho sistema no tuviera que ser modificado nunca más.

La importancia que el *De revolutionibus* tuvo en su época radica en que, a pesar de sus lagunas e incongruencias, es el libro que desarrolla de manera más completa un aparato matemático para hacer cálculos de posiciones planetarias, dicho aparato no aporta una mejora sustancial en las observaciones, pero, combinado con la idea cada vez más arraigada de que el movimiento de los planetas depende del Sol, convence a algunas mentes (Rhetico, Reinhold y eventualmente a Kepler y Galileo) para su adopción, como sistema “real” del Universo.

No es posible dilucidar en qué momento Copérnico concibe la idea de una Tierra en movimiento y un Sol en el centro del Universo, quizá la obtuvo de sus maestros Brudzewski y Novara que le enseñaran la astronomía árabe, quizá por su cuenta con la lectura de los textos antiguos de Plutarco y Plinio. O simplemente de un chispazo de genialidad (lo cual parece menos probable por la actitud y el gran esfuerzo tendiente a conservar la tradición astronómica antigua). Pero sin lugar a dudas el *De revolutionibus* es el libro que inició la consolidación de la nueva astronomía buscada por sus contemporáneos, que con su aceptación y asimilación causó un gran cambio en el pensamiento del mundo occidental y que desembocaría en la ciencia —y el mundo en sí— como la conocemos hoy en día.

Anexo 1 El problema del ecuante

El problema de determinar el ecuante se puede plantear de la siguiente manera:



Encontrar el punto E que está a una distancia a de C tal que: $d\phi/dt = \text{constante}$.

$$\bar{r} = re - \bar{a} \dots 1$$

$$r^2 = re^2 + a^2 - 2are \cos \phi \dots 2$$

De la ecuación 2 tenemos que:

$$\begin{aligned} re &= \left\{ 2 a \cos \phi + \left[4a^2 \cos^2 \phi - 4(a^2 - r^2) \right]^{1/2} \right\} / 2 \\ &= a \cos \phi + \left[a^2 \cos^2 \phi - a^2 + r^2 \right]^{1/2} \\ &= a \cos \phi + \left[a^2 (1 - \sin^2 \phi) - a^2 + r^2 \right]^{1/2} \\ &= a \cos \phi + \left[r^2 - a^2 \sin^2 \phi \right]^{1/2} \end{aligned}$$

Expandiendo el binomio:

$$re \approx r^2 - a \cos \phi - 1/2 (a^2 \sin^2 \phi) \dots A$$

Aplicando la ley de los senos al triángulo CEP:

$$a / \sin q = r / \sin \phi$$

Entonces:

$$\sin q = a \sin \phi / r \Rightarrow q = \sin^{-1} (a \sin \phi / r)$$

Por otro lado, $\theta = \varphi + q$, entonces:

$\theta = \varphi + \sin^{-1}(a \sin \varphi / r)$ desarrollando θ como polinomio de Mc. Laurin de orden 3:

$$\theta \approx \varphi + (a \sin \varphi) / r + 1/6[(a^3 \sin^3 \varphi) / r^3]$$

y del movimiento circular:

$$r\theta = s = re\varphi \Rightarrow re = r\theta / \varphi \text{ substituyendo en A y agrupando:}$$

$$a^3(\sin^3 \varphi / 6r^3) + a^2(\varphi \sin^2 \varphi) / r + (a/r) [\sin \varphi - (\varphi \cos \varphi)] + \varphi(1 - r) = 0 \dots B$$

donde $\varphi = (2\pi/T)t$, $t = \text{tiempo}$.

Sin encontrar las raíces del polinomio B, se puede ver desde el polinomio A, que:

$$a = a(1/\sin^n \varphi), n \in \text{naturales.}$$

Por lo que no siempre existirá un valor determinado para a , en particular para $\varphi = 2n\pi$, $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Con este procedimiento los polinomios A y B son prácticamente los mismos a los que determinan los focos (vacíos) de las elipses keplerianas (Evans, 1984; Milnor. 1983).

Bibliografía

1. Allen, J. B. 1994. *Nuptial Arithmetic: Marsilio Ficino's Commentary on the Fatal Number in Book VIII of Plato's Republic*. Berkeley: University of California Press, en: <http://ark.cdlib.org/ark:/13030/ft6j49p0qv/>
2. Alvarez, J. L. 2004. “La innovación de Copérnico”, *Boletín de la Sociedad Mexicana de Física* vol. 18, No. 4, pp. 221-224.
3. Armitage, A. 1952. *Copérnico*; Trad. Santiago Ferrari. Ed. Peuser; Buenos Aires.
4. Birkhoff, G. D. 1931. “A mathematical approach to aesthetics”, *Scientia*, september, vol. 50, pp. 133-146.
5. Arnheim, R. 1997. *Arte y percepción visual*. 14^o edición. Alianza editorial, Madrid.
6. Beltrán, J. et. all. 1995. *Psicología de la educación*. Ediciones de la Universidad Complutense de Madrid. España.
7. Black, R. 2001. *Renaissance Thought, A reader*, Routledge Taylor and Francis group. London and New York; 2001.
8. Cardini, F. 1991. *Europa 1492. Retrato de un continente hace quinientos años*. Trad. de M^a José López y Margarita Caffarato. Círculo de Lectores. Barcelona, España.
9. Cohen, I. B. 1989. *Revolución en la ciencia*, Colección: Límites de la Ciencia, vol. 18, 1^o ed. GEDISA, Barcelona, España.
10. Copérnico, N. 1514. *Brevis tractatus...* (*the Comentariolus*), en : Rosen, 1992. vol. I.
11. Copérnico, N. 1543. *On the revolutions of heavenly spheres*, en: Rosen, 1992. vol. II
12. Copérnico, N. 1543. *De revolutionibus orbium coelestium*, Nürenberg, 1^o ed. facsimilar Cultura y civilización; Bruselas, Blegica 1966.
13. Copérnico, N. (Fernández, J. Traductor) 1978. *Las revoluciones de las esferas celestes*, Libro primero; Balsal editores, Morelia, México.
14. Copleston, F. 1974. *Historia de la Filosofía*, Vol. I, 2^a. Ed; Ariel; Barcelona, España.
15. Córdoba, J. L. 1994. “Taller de estupidez, sesión 1: Objetivos y definiciones”, *Contactos*, 3^o época num. 2, pp. 27-30.
16. Córdoba J. L. 1994 “Taller de estupidez sesión 4: Humor y juego”, *Contactos*, 3^o época, num. 5, pp. 35-38.
17. Crombie, A. C. 1987. *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo*. Vol. 2; Alianza Universidad n^o 77. Alianza Editorial, Madrid, España.
18. Danielson, D. 2001 “The great Copernican cliché”. *Am. J. Phys.* **69**. 10, pp. 1029-1035.
19. Dreyer, J. L. E. 1953. *History of astronomy: from Thales to Kepler*, 2^o ed. Dover, USA.
20. Elena, A. 1985 *Las quimeras de los cielos: aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*, 1^o ed. Siglo XXI editores, México.
21. *Enciclopedia católica*, 2006. “Documentos del V Concilio de Letrán”. Disponibles en : <http://www.arvo.net>
22. Evans, J. 1984. “On the function and the probable origin of Ptolemy’s equant”. *Am. J. Phys.* **52**(12), pp. 1080. Comentarios acerca de este artículo en: <http://www.math.nus.edu.sg/aslaksen/teaching/heavenly.html#Lectures>.

23. Gingerich, O. 1974. "The Astronomy and Cosmology of Copernicus", *Highlights of Astronomy*, 3, pp. 67-85.
24. Gingerich, O. 1975. "Crisis versus aesthetics in the copernican revolution", *Vistas in Astronomy*, vol. 17, pp. 85-95.
25. Gingerich, O. 1977. "The tower of the winds and the gregorian calendar". *Sky and telescope*, núm 64, pp. 530-533, en: Gingerich, 1992.
26. Gingerich, O. 1979. "The great Copernicus chase", en: Gingerich, 1992.
27. Gingerich, O. 1983. "From Aristarcus to Copernicus", *Sky and telescope*, 66, pp. 410-412, en: Gingerich, 1992.
28. Gingerich, O. 1985. "The astronomy of Alfoso wise", en: Gingerich, 1992.
29. Gingerich, O. 1992 *The great copernicus chase and other adventures in astronomical history*, 1° ed. Cambridge University Press, USA.
30. Gombrich, E. H. "The Renaissance, period or movement?" Publicado en: Black, 2001.
31. Granada, M.A. 2004. "Aristotle, Copernicus, Bruno: centrality, the principle of movement and the extension of the Universe". *Stud. Hist. Phil. Sci.* **35**, pp. 91–114
32. Granada, M.A. y Tessicini, D. 2005. "Copernicus and Fracastoro: The dedicatory letters to Pope Paul III, the history of astronomy, and the quest for pratonage". *Stud. Hist. Phil. Sci.* 36, pp. 431-476.
33. Hacking, I. 1985. *Revoluciones científicas*. Juan José Utrilla, traductor. Fondo de Cultura Económica. México.
34. Heat, T. 1958. *Aristarcus of Samos, the ancient Copernicus*. Dover publications Inc. New York; USA.
35. Jedin, A. 1972. *Manual de Historia de la Iglesia* Tomo V, sección primera. Barcelona.
36. Kant, E. 1787 (Ribas, P. Traductor). *Crítica de la razón pura*. 20° edición, 2002. Taurus Alfaguara. México.
37. Koyré, A. 1993 *The astronomical revolution: Copernicus-Kepler-Borelli*. Dover publication Inc. 2a. Ed. USA.
38. Koestler, A. 1963. *Los sonámbulos; Historia de la cambiante cosmovisión del hombre*. Trad: Alberto L. Bixo; EUDEBA; Buenos Aires, Argentina.
39. Kuhn, T. S. 1962. *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, USA.
40. Kuhn T. S. 1981. *La Revolución copernicana. La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Trad. Doménec Bregadá; 1a. reimpresión; Ariel; México.
41. León, E. M. 2002. *La educación en el Renacimiento*; Síntesis Educación; Madrid, España.
42. Letts, R. M. 1985. *Introducción a la historia del arte: El Renacimiento*; Ed. Gustavo Gili S.A. 2a. ed; Barcelona, España.
43. López, M. y Cantora, R. 2006. "Aprendizaje de incentivo y regulación emocional de la conducta". *Revista Electrónica de Motivación y Emoción (R.E.M.E.)*. Vol. VIII, No. 20 – 21. Disponible en: <http://reme.uji.es/articulos/numero20/3-matias/texto.html>.
44. Lozano Mejía, J. M. 2006. Comentario personal.
45. Lukoswki, J; Zawadzki, H. 2002. *Historia de Polonia*; Trad. José M. Parra; Cambridge University Press. Madrid, España.
46. Milnor, J. 1983. "On the geometry of the Kepler Problem". *American Mathematical Monthly*. vol. 89 jun – jul. pp.353 – 365.

47. Moreno Corral, M. A. 2006. Comentario personal.
48. Muné, F. 1994. "Complejidad y caos: más allá de una ideología del orden y del desorden". En: *Conocimiento, realidad e ideología*. Montero M. Coord. Ed. Avespo; Caracas, Venezuela. Disponible en: <http://www.portalpsicologia.org>
49. Oliver, J. M. 1998. *Manual práctico del astrónomo aficionado*. Editorial De Vecchi, S.A. Barcelona; España.
50. Ollman, B. 1998. "Why dialectics? Why now?" *Science & Society*, vol.62, No. 3; pp. 338 – 357.
51. Pacholczyk, A.G. 1995. "Why the pre-Copernican cosmological revolution was not a revolution". *Vistas in Astronomy*, Vol. 39, num. 4; pp. 573-579.
52. Pichardo, J. 1986. *Rabelais: La educación y el Renacimiento francés*, 1º ed. SEP, México.
53. Pifarré, Ll. (2005). *El período estudiantil de Martín Lutero*. Biblioteca católica digital, disponible en: <http://www.arvo.net/>
54. Plater, R. 1970. "An approach to the history of early astronomy", *Hist. Phil. Sci.* 1, pp. 93-133.
55. Platón, 1998. *Timaeus*. Traducción y notas de Benjamin Jowett. Edición digital del proyecto Gutenberg, disponible en: <http://www.gutenbergproject.org>.
56. Popper, K. R. 1976. *La racionalidad de las revoluciones científicas (Problems of scientific revolutions)* en: Hacking 1985.
57. Rada, E. (Traductor) (1983). *El secreto del Universo* Kepler, J. Alianza Editorial
58. Ragep, F. J. 2001. "Tusi and Copernicus: The Earth's Motion". *Science in Context* 14(1/2); pp.145–163
59. Reed, C. 2003. "The copernicus quest"; *Harvard Magazine* november-december, pp. 44-49.
60. Rheticus, G. J. (1540) *Narratio Prima*, Danzig Version en fotografía, disponible en la página web de la biblioteca Linda Hall: <http://www.lindahall.org/services/digital/ebooks>.
61. Romo, S. 2003. *Sensopercepción*. Notas para la clase de psicología, Universidad abierta. Zapopan, Jal. México.
62. Rosen, E. 1959. *Three copernican treatises (The comentariolus, The Narratio prima)* 2a. Ed; Dover publications Inc. New York.
63. Rosen, E. 1992. *Nicholas Copernicus: Complete Works Vol. I (Minor Works)*; Johns Hopkins University Press 2a. Ed.
64. Rosen, E. 1992. *Nicholas Copernicus: Complete Works Vol. II (On the revolutionibus)*; Johns Hopkins University Press 2a. Ed 1992.
65. Roush, S. 2003. "Copernicus, Kant, and the anthropic cosmological principles". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 34; pp. 5–35.
66. Sandrolini, A.2004. "Celio Calcagnini, *Epitoma super Prometheo et Epimetheo*. Un inedito umanistico sul mito di Prometeo"; *La Rivista di Engramma* 30, gennaio-febbraio; disponible en: <http://www.engramma.it>
67. Schmitt, Ch. 1973. "Towards a reassessment of renaissance aristotelianism". *History of science*, 11; pp. 159-193. En Black, 2001.
68. Starton, G. 1957. *Six wings: Men of science in the Renaissance*, Indiana University Press, Bloomington, USA.
69. Thuillier, P. 1990 *De Arquímedes a Einstein. Las Caras Ocultas de la Invención Científica Vol. 2*; Trad. Amalia Correa. El Libro de Bolsillo, 1487. Alianza Editorial, Madrid, España.

70. Torroja, J. M. 1980. *El sistema del mundo desde la antigüedad hasta Alfonso X El Sabio*. Instituto de España; Madrid.
71. Varela, C. 1992. *Cristóbal Colón. Retrato de un hombre*. Madrid: Alianza Editorial.
72. Westman, R.S. (1975) “The Melanchthon circle, Rheticus and the Wittenberg interpretation of the copernican theory”. *Isis* Vol. 66 No. 232, junio; pp. 165-193.
73. White, A. D. 1972. *La lucha entre el dogmatismo y la ciencia en el seno de la cristiandad*; 1ª. Ed. en español; Siglo XXI Editores; México.