

## **1.4. Nicolás Copérnico.**

### **1.4.1. Introducción:**

Nicolás Copérnico es la gran figura del Renacimiento en ciencias. La Edad Media se sitúa entre la caída del Imperio Romano de occidente en el siglo V, hasta el fin del Imperio Romano de oriente a manos de los turcos otomanos, en el siglo XV. El Renacimiento es un período intelectualmente muy fecundo con el cual se pone fin a la Edad Media y se inician los Tiempos Modernos.

Muchos son los eventos que influyen en el Renacimiento. Las raíces debemos buscarlas en los siglos XIII y XIV al empezar una nueva creación intelectual a través de las universidades en distintas partes de Europa. En Astronomía en ese período cabe recordar a Sacrobosco, profesor de matemáticas en París, (murió en 1256), quien escribió un tratado de Astronomía Esférica titulado "*Sphera Mundi*", muy utilizado hasta el siglo XVII. Jorge Purbach y su discípulo Juan Muller (más conocido por su nombre latinizado de Regiomontano) fueron los astrónomos más grandes del siglo XV.

Durante el siglo XV tres grandes inventos tuvieron una gran influencia: la brújula, la pólvora y la imprenta. La brújula hizo posibles grandes viajes de ultramar. La pólvora cambió la situación bélica de Europa, posibilitando las grandes conquistas. Quizá lo más influyente fue la imprenta.

Hacia mediados del siglo XV se revoluciona la difusión de la cultura. Gracias a la visión del alemán Gutenberg se aplica la imprenta de tipos móviles, inventada unos años antes, a la publicación de libros; esto ocurre en el año 1440. Al terminar el siglo XV se habían publicado unas cuarenta mil obras totalizando unos 8 millones de libros impresos. Esta cifra supera muy ampliamente la totalidad de los libros copiados hasta esa época. La palabra escrita tuvo de pronto una difusión extraordinaria.

Con motivo de la caída de Constantinopla a manos de los turcos otomanos en 1453, una gran cantidad de manuscritos antiguos son trasladados a Europa para ser "salvados" del Islam. Estos manuscritos encontraron rápidamente su camino en las prensas de la naciente industria del libro, ampliando el horizonte cultural del hombre renacentista.

El Renacimiento representa una gigantesca apertura del mundo medieval, tan pequeño y amurallado, como así también tremendamente temeroso de Dios. El hombre adquiere nuevos ojos, que le permiten explorar su pasado histórico-cultural a través de la imprenta y conocer el globo terráqueo gracias a los grandes navegantes. Las grandes

exploraciones marítimas pertenecen al último cuarto de siglo XV y las primeras dos décadas del siglo XVI.

Cristóbal Colón, Vasco de Gama, Núñez de Balboa, Fernando de Magallanes, Sebastián el Cano, descubriendo "*nuevos mundos*" amplían el espacio, ofreciendo oportunidades de conquista, de gloria, enriquecimiento y todo lo demás, a pueblos en un estancamiento social y político. La circunnavegación del globo terrestre lograda en el viaje que encabezó Magallanes constituyó de paso una prueba irrefutable de la redondez de la Tierra.

Nicolás Copérnico, canónigo polaco, es el iniciador de la cosmovisión moderna. Es difícil apreciar, desde nuestro punto de vista, el valor exacto de la obra de Copérnico. Se puede afirmar sin duda que representó una gran revolución en su época. Pese a tener sólidas raíces en el pasado, la hipótesis de Copérnico pone en nuevos senderos la investigación de los movimientos planetarios. La teoría de Ptolomeo, después de haber sido refinada por catorce siglos se encontraba en un callejón sin salida. El gran mérito de Copérnico consiste en haberse planteado el problema del movimiento planetario bajo un prisma diferente, y donde la idea básica, inspiradora del sistema, es correcta. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, las predicciones de las posiciones planetarias siguiendo el modelo matemático de Copérnico, basado en observaciones mediocres, son sólo un poco mejores que las del sistema tolemaico.

Con Copérnico se pasa del universo pequeño y familiar de la Edad Media, centrado en la Tierra, donde todo gira en torno nuestro, a un universo mucho más vasto, centrado en el Sol, donde la Tierra es sólo uno de seis planetas, que orbita al Sol en un año y gira en torno a su eje en 24 horas. Forzosamente esto significó un profundo cambio en la cosmovisión del hombre renacentista.

#### **1.4.2. Boceto Biográfico:**

Nicolás Copérnico es el nombre latinizado de Niklas Koppernigk. Su abuelo y su padre parecen haber sido mercaderes y banqueros. [Según Flammarion su padre era panadero]. Su padre se traslada de Cracovia a Torún (Thorn) antes de 1458. Contrajo matrimonio con Bárbara Watzelrode en 1464. Nicolás nació en Torún el 19 de Febrero de 1473. Su padre murió cuando el joven Copérnico tenía sólo 10 años. A partir de ese momento quedó a cargo de su tío materno Lucas Watzelrode, canónigo, futuro obispo de Warmia, nombrado en 1489, quien le posibilitó una excelente educación, y una vida sin preocupaciones materiales.

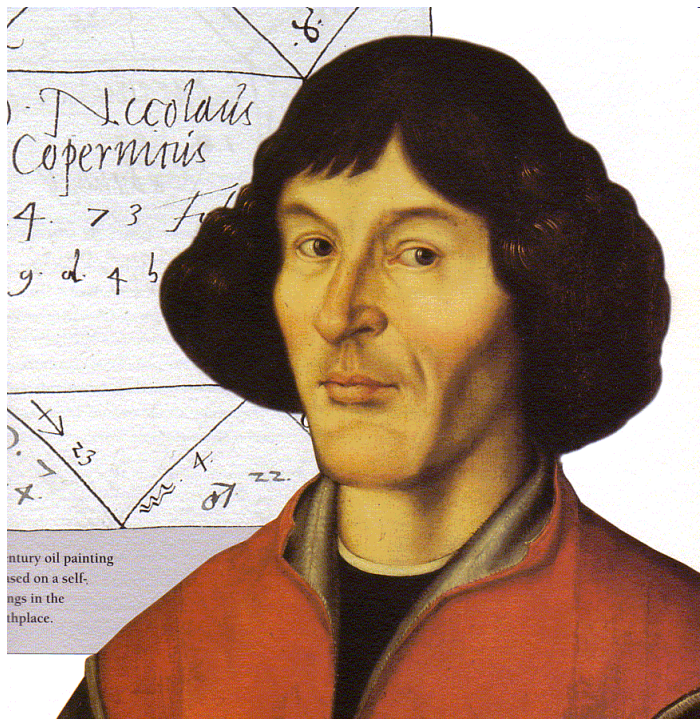
A los 18 años su tío Lucas lo envió a estudiar a la Universidad de Cracovia, esto es en 1491. Allí recibió enseñanzas astronómicas de Alberto Brudzewski (1445-1497), quien había escrito en 1482 un comentario del libro de Purbach "*Theoricae Novae Planetarum*", para ser usado por sus alumnos. En él, Brudzewski demuestra entender bien los problemas astronómicos y sugiere que los deferentes de Mercurio y la Luna son curvas ovales.

Alberto Brudzewski fue sin duda el primer profesor de Astronomía que tuvo el joven Copérnico, pero no existe ningún antecedente que haga suponer que hubiese sugerido a su pupilo el movimiento de la Tierra.

Copérnico deja Cracovia en 1494. Su tío Lucas, Príncipe-Obispo de Ermland (Warmia) desde 1489, quería conferirle una canonjía en Frauenburg, para lo cual lo envió a continuar sus estudios en Italia. Mientras Copérnico estaba en la Universidad de Cracovia había ocurrido la trascendente llegada de Cristóbal Colón a América, en 1492; comenzaban las grandes exploraciones y conquistas que ocuparon al mundo durante el siglo XVI.

Copérnico llegó a la Universidad de Bolonia acompañado por su hermano Andrés, en 1496. Permaneció allí por tres años y medio. Conoció en esa universidad a Doménico María de Novara (1454-1504), *“más bien como amigo y ayudante que como pupilo”*, de acuerdo a lo que nos cuenta Rético, discípulo de Copérnico, en la *“Narratio Prima”*. Novara era un astrónomo práctico. Su ejemplo probablemente impulsó a Copérnico a observar el cielo. Su primera observación la realizó en 1497, el 9 de Marzo, y fue la ocultación de la estrella Aldebarán por la mitad oscura de la Luna.

En 1497, gracias a las presiones de su tío Lucas, Copérnico fue nombrado canónigo del Capítulo (Diócesis) de Ermland (Warmia). Con eso obtuvo una remuneración mensual que le permitió su independencia económica.



El caso de su hermano Andrés le resultó más difícil al tío Lucas y sólo dos años más tarde logró finalmente que le fuese concedida una canonjía en Frauenburg. La gran aspiración juvenil de Andrés, muy poco evangélica por cierto, era ser pirata y en su tiempo en Italia se dedicó a una serie de actividades muy poco académicas, mientras su hermano Nicolás estudiaba en la Universidad, primero de Bolonia, y luego de Padua. Desgraciadamente Andrés pudo disfrutar de su remuneración por poco tiempo, pues murió muy joven, supuestamente de lepra, aunque los mal pensados creen que de sífilis. El tío Lucas era un modelo

de nepotismo: hizo también que la hermana mayor de Nicolás fuese Madre Superiora en un importante convento y finalmente arregló el casamiento de la hermana menor con un acaudalado noble polaco.

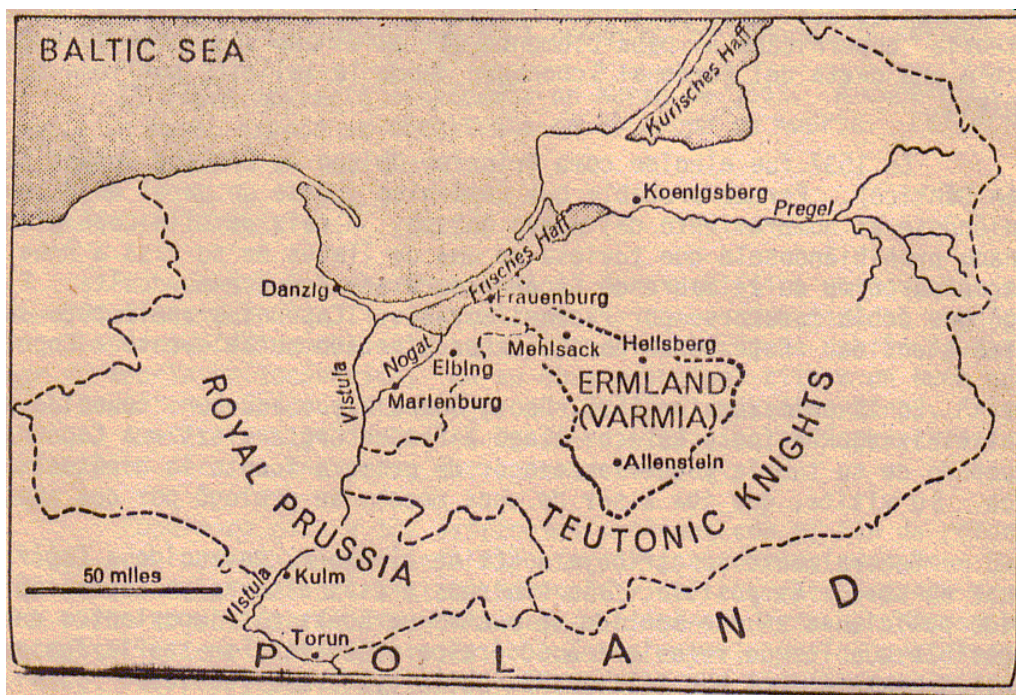
De Bolonia Copérnico se dirige a Roma en la primavera del año de jubileo de 1500, permaneció allá durante un año. No se sabe a ciencia cierta qué hizo Copérnico en Roma, salvo que Rético nos cuenta que “ .. *dio conferencias sobre matemáticas ante una gran audiencia de estudiantes y un grupo de grandes hombres y expertos en esa rama del conocimiento*”, (refiriéndose probablemente a la Astronomía). Sin embargo, es dudosa la veracidad de esa información. [Según Flammarion, en 1500 Copérnico obtuvo la Cátedra de Matemáticas en la Universidad de Roma. Su gran talento de exposición le habría valido al joven profesor un auditorio selecto y numeroso; habría obtenido triunfos similares a Regiomontano 25 años antes que él, al estar en Roma llamado por Sixto V para reformar el calendario. Regiomontano murió en forma prematura a los cuarenta años, en 1476, a manos de los hijos de Jorge de Trebisonda quien había publicado una traducción del Almagesto con muchos errores, que habían sido señalados por Regiomontano. La reforma del calendario tuvo que esperar aún un siglo y se efectuó bajo el papa Gregorio XIII, en el año de 1582.]

El papa Alejandro VI (Rodrigo Borgia, padre de Lucrecia y César, entre otros) quiso celebrar en grande el año de 1500, desarrollándose por ende, grandes festividades. A modo de paréntesis histórico recordemos que Leonardo da Vinci, prototipo de genio renacentista, contaba, en el año de 1500, con 48 años; Miguel Ángel se encontraba en Roma y tenía 25 años; Martín Lutero, reformador alemán, tenía 17 años; el futuro Carlos V emperador de Alemania y España, nació en el año de 1500. Copérnico tenía 27 años.

En 1501 Copérnico regresa a Polonia a asumir su puesto de canónigo en Frauenburg. Tomó posesión de su asiento en el Capítulo de la Catedral el 27 de Julio. Sin embargo, ese mismo año regresa a Italia, esta vez a Padua a estudiar Medicina y Derecho Canónico. En 1503 se dirige a Ferrara y obtiene allí su título de Doctor en Derecho Canónico, el 31 de Mayo. Es curioso que habiendo estudiado en Padua fuese a Ferrara a obtener su título, siendo ésta una universidad de menor prestigio. Tal vez razones económicas impulsaron a Copérnico a esa decisión. Es interesante notar que la Ferrara de 1503 era la de la fastuosa corte de Lucrecia Borgia, hija del papa Alejandro VI, casada con Alfonso, príncipe heredero de la casa del Este.

Copérnico regresa a Padua para terminar sus estudios de Medicina. No se sabe si obtuvo su grado de Medicina en Padua, pues faltan las Actas de esa Universidad desde 1503 a 1507. Tampoco se sabe cuando puso fin a su permanencia en Italia. En 1506 Copérnico, a los 33 años de edad, regresa definitivamente a Polonia. Había estudiado Matemáticas, Astronomía, Medicina y Derecho, tenía inclinaciones artísticas como lo demuestra su autorretrato. Ese espíritu multifacético es típico del hombre renacentista (recordemos que Copérnico era sólo 21 años más joven que Leonardo da Vinci).

Al regresar a Ermland se convirtió en secretario y médico de cabecera de su tío Lucas. Vivió en la ciudad de Heilsberg hasta 1512 fecha de la muerte de su tío, para dirigirse luego a tomar su puesto de canónigo en la Catedral de Frauenburg.



Frauenburg era una pequeña ciudad de unos 1500 habitantes a las orillas del lago de agua dulce Frisches Haff, comunicado con el Mar Báltico, en la zona oriental del estuario del Vístula. Se sitúa a mitad de camino entre Danzing y Königsberg, (ver mapa).

Copérnico se dedicó a ejercer la medicina, preparando incluso los remedios para sus pacientes. Seguía la medicina clásica de la época. Una receta que aparece copiada por Copérnico en la tapa posterior del libro *"Los Elementos"* de Euclides, contiene los siguientes ingredientes: esponja de Armenia, canela, madera de cedro, sanguinaria, díctamo, sándalo rojo, raspado de marfil, azafrán, "spodumene", manzanilla en vinagre, cáscara de limón, perlas, esmeralda, circón rojo, y zafiro; el hueso del corazón o pulpa de corazón de ciervo, una barata, el cuerno de un unicornio, coral rojo, oro, plata y azúcar. Esta es una receta típica de su época, según Koestler, junto con ingredientes como lagartijas cocidas en aceite de oliva, gusanos de tierra lavados en vino, hiel de ternero y orina de burro. Desgraciadamente Copérnico no dice para qué enfermedad era buena esa receta y no parece claro que alguien quiera probarla. Afortunadamente Copérnico era mejor en astronomía, sin embargo en su pueblo fue conocido y respetado como médico.

En 1516 fue llamado a administrar posesiones de la Diócesis. En 1519 regresa a su cargo de secretario y canciller del capítulo de Ermland, al tener que defenderse de los ataques de los caballeros teutónicos. Como resultado de la guerra, la economía de Ermland sufrió serios trastornos. Copérnico se ocupa entonces de problemas de economía, escribiendo un tratado sobre el tema. En 1523 actuó como Administrador General interino de todas las propiedades eclesiásticas en Warmia. Al término de su mandato regresa a Frauenburg, donde vive los últimos 20 años de su vida.

A Copérnico le toca vivir dentro de la Iglesia los difíciles años de la Reforma. Hombres como Jerónimo Savonarola (1452-1498), Erasmo de Rotterdam (1466-1536), Martín Lutero (1483-1546) y Juan Calvino (1509-1564) fueron contemporáneos de Copérnico. Fue en 1517 cuando Lutero inicia su batalla contra Roma, aumentando notablemente sus seguidores durante la siguiente década.

Posiblemente entre 1513 y 1516 se podría situar la época del primer trabajo astronómico de Copérnico. Es probable que concibiese en Italia la rotación terrestre como así también el boceto del sistema heliocéntrico. Fue recién entre 1513 y 1516 cuando Copérnico tuvo tiempo suficiente para desarrollar los aspectos matemáticos de su teoría. A partir de 1523, de regreso en Frauenburg inicia el ataque final a la teoría heliocéntrica. De su primera etapa de trabajo, antes de 1514, Copérnico resumió la esencia de su modelo en un pequeño libro astronómico, el *Commentariolus* (el título de la obra original es "*Nicolai Copernici de hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*", esto es algo así como breve comentario (bosquejo) de las hipótesis de Copérnico acerca de los movimientos celestes). Copérnico envió esta breve descripción de sus ideas posiblemente al secretario del papa, Cardenal Johann Widmanstadt, quien expuso la teoría copernicana al papa Clemente VII en el año 1533. En 1536 Copérnico recibió una carta del Cardenal de Capua Nicolás Schonberg donde le solicita publique su teoría completa.

En 1537 fue elegido como Príncipe-Obispo de Ermland Johann Flaxbinder (Juan Dántico). Parece probable que Copérnico jugase un papel en dicha elección, oponiéndose al nombramiento del nuevo Obispo. A raíz de ello Copérnico fue sancionado prohibiéndosele que tuviese de ama de llaves de su casa a Anna Schilling, hija de un primo de la madre de Copérnico, viuda y mujer muy culta. El obispo alegó que debía marcharse por razones morales. Copérnico apeló pero su petición no fue atendida; este hecho parece haberlo afectado notablemente.

En la primavera de 1539, *Georg Joachim von Lauchen* (1514-1576), conocido por su nombre latinizado *Rheticus*, o *Rético*, llegó a Frauenburg a visitar a Copérnico. Había escuchado de su teoría y quería conocer de primera fuente la hipótesis heliocéntrica. Rético era un joven profesor de matemáticas en la Universidad de Wittenberg. Su visita, que iba a ser de unos meses, se prolongó por dos años.

Generalmente se atribuye a Rético el haber convencido a Copérnico a publicar su obra; es posible. Sin embargo, a esas alturas ya Copérnico había recibido peticiones en ese sentido de muchas personas más importantes que Rético. Es posible que lo que retuviera a Copérnico a publicar su teoría fuesen ciertos detalles matemáticos que tal vez Rético le ayudara a resolver.

En Julio de 1540 Copérnico le escribió a Andreas Osiander (1498-1552), teólogo luterano y hombre culto, preguntándole si sería posible publicar su teoría sin suscitar críticas. Osiander le contestó: "*Por mi parte, siempre he considerado que las hipótesis no son artículos de fe, sino bases para el cálculo, de manera que aunque sean falsas no importa, siempre que representen exactamente los fenómenos de los movimientos*

celestes...". Copérnico rechazó esa proposición como lo muestra la dedicatoria al Papa, escrita en Junio de 1542.

Rético envía, en 1540, a su antiguo profesor Johann Schoner otra versión resumida de la obra de Copérnico, titulada "*Narratio Prima de libris Revolutionum*". La *Narratio Prima*, escrita por Rético con la autorización de Copérnico, tuvo una acogida favorable. Esto tal vez decidiera a Copérnico a publicar el libro completo.

Rético permaneció en Frauenburg hasta 1541 pero no pudo llevarse a Wittemberg el manuscrito completo para publicarlo. Luego Copérnico, al terminar el manuscrito, se le confió a su amigo Tiedemann Giese. Este al parecer se lo envió a Rético quien tuvo que dejar Wittemberg para asumir una cátedra de matemáticas en la Universidad de Leipzig, por lo cual le confió el manuscrito a Andreas Osiander para que supervisara la impresión. Osiander, sin ninguna autorización, agregó una advertencia al lector, que no firmó, en la cual repite los conceptos que expresara a Copérnico en su carta de 1541. Ese prefacio ha dado origen a una gran cantidad de discusiones pues por un tiempo se pensó había sido escrito por el propio Copérnico. En él se dice que el sistema heliocéntrico es un artificio o algoritmo útil para el cálculo de posiciones planetarias pero no es necesario que sea cierto, ni siquiera probable. Hay buenas razones para creer que ese punto de vista es totalmente contrario a la visión que Copérnico tenía del sistema heliocéntrico. El creía en la realidad física del sistema y no lo plantea en su libro como una mera simplificación de los cálculos.

La advertencia al lector introducida por Osiander tiene por propósito servir al luteranismo y restar fuerza a la obra copernicana, presentándola como un juego matemático. Osiander no era un copernicano y su prólogo no parece corresponder al propósito, a veces enunciado, de "proteger" a la concepción heliocéntrica, sino desnaturalizarla (ver para profundizar este punto Espoz 1989).

Los últimos pasos del libro de Copérnico antes de la imprenta son extraños. Sólo a mediados del siglo XIX fue descubierto en Praga el manuscrito original de Copérnico y resultó evidente de inmediato que el libro impreso en 1543 no fue impreso a partir de ese manuscrito. Se han tejido varias especulaciones al respecto. ¿Quién hizo las modificaciones al manuscrito? Es posible que Rético resultase un colaborador poco competente y en vista de eso Copérnico buscara ayuda en Osiander y un tal Erasmo Reinhold, y posiblemente este último introdujo las modificaciones. Otra posibilidad es que Rético se llevara de Frauenburg su propia copia del libro *De Revolutionibus* y que la impresión del libro se hiciese a partir de esa copia, en cuyo caso Osiander no habría eliminado el prólogo de Copérnico pues hubiese sido Rético el que iba a escribir el prólogo (en la hipotética copia hecha por Rético no habría estado el prólogo de Copérnico). La partida de Rético a Leipzig habría obligado a Osiander a escribir el prólogo. La copia manuscrita de Copérnico, que Giese le envió a Rético habría llegado demasiado tarde, cuando la obra estaba en prensa por la versión personal de Rético. La verdad sobre el hecho no se conoce con certeza pero la obra de Copérnico fue falsificada en varios aspectos, incluido el título que era "*De Revolutionibus*" y se transformó en "*De Revolutionibus Orbium Coelestium*". Este cambio, que podría parecer inofensivo, toma otra connotación si se piensa que en la tradición aristotélica, marco

intelectual de la época, la Tierra no figura entre los cuerpos celestes y de ese modo el título falsificado no hace referencia al movimiento terrestre.

El libro *De Revolutionibus* apareció finalmente en Marzo de 1543. A Copérnico le llegó una copia en Mayo, cuando se encontraba en su lecho de muerte. Nicolás Copérnico, el mesurado humanista polaco que revolucionó la ciencia al romper el limitado mundo geocéntrico medieval, falleció en Frauenbug, el 24 de Mayo de 1543.

### 1.4.3. El Sistema Heliocéntrico:

Entre los astrónomos de la Grecia clásica hubo un pequeño grupo que atribuyó movimientos a la Tierra. Copérnico se esmeró en buscar pensadores antiguos que le ayudaran a avalar su teoría heliocéntrica. En su obra principal cita a un buen número, entre ellos a *Heráclides, Ecfantos, Nicetas y Filolao*. Sin embargo, resulta curioso que omita en su obra impresa en 1543, al más importante, *Aristarco de Samos*. En el manuscrito original aparece el nombre de Aristarco, pero en una frase que se encuentra tarjada.

Copérnico cita a los astrónomos antiguos con el fin de reforzar su posición, pero parece un ejercicio *a posteriori*; no da la impresión de haber obtenido de ellos la idea del sistema heliocéntrico. Lamentablemente Copérnico es muy parco en sus escritos y no ha dejado ningún indicio de cómo se plasmó en su mente la teoría heliocéntrica. Según la mayoría de los estudiosos de Copérnico, la idea general la habría obtenido en sus tiempos de estudiante en Italia.

Fuertes principios pitagóricos orientaban el pensamiento astronómico de Copérnico. Aceptó ciegamente el dogma platónico de los movimientos circulares y uniformes. Tal era su fe que repudia el sistema ptolomeico por el uso que hace de los puntos ecuanes, subterfugio para liberarse de los movimientos uniformes.

Suponía, siguiendo fielmente la física aristotélica, que el movimiento circular y uniforme se origina en la forma esférica de las órbitas y además en la naturaleza de la sustancia del mundo supralunar; es el movimiento natural para la materia celeste. En su construcción matemática posterior Copérnico abandona los puntos ecuanes tolemaicos.

Según Copérnico la esfera de las estrellas fijas “es el sitio del Universo y es absurdo mover el continente en lugar del contenido”. Por lo tanto, debe ser la Tierra quien gire en 24 horas y “siendo ese movimiento natural, no es violento, es decir, no engendra peligrosas fuerzas centrífugas”. En su libro explica que la belleza del Sol exige para él el lugar central del Universo, pues es desde allí desde donde puede iluminarlo mejor. “En el centro de todo reina el Sol. ¿En qué otro templo más hermoso podría colocarse esa antorcha para que iluminase a la vez todo el conjunto celeste? No en vano fue llamada la lámpara del Universo”.

La concepción que inmortalizó el nombre de Copérnico fue la construcción de un sistema del mundo basado en la rotación diurna de la Tierra y su revolución anual en torno al Sol. Con estas dos directrices desarrolló en detalle los movimientos planetarios, escribiéndolo todo en un libro muy similar al *Almagesto* de Ptolomeo, en cuanto a su presentación matemática.

El sistema heliocéntrico propuesto por Copérnico, adolece de varias imperfecciones. En primer lugar, Copérnico hizo muy pocas observaciones a lo largo de su vida (en su libro *De Revolutionibus* cita un total de 27 observaciones). Además los instrumentos astronómicos que poseía no eran de una calidad excepcional, por lo cual la precisión de sus observaciones no supera lo habitual en esa época. En una ocasión parece haber comentado a su joven discípulo Rético que, si fuese capaz de reducir los errores observacionales a 10 minutos de arco, el estaría tan contento como Pitágoras con el descubrimiento de su teorema. Cabe notar que 10' es un tercio del diámetro angular de la Luna, una precisión bastante modesta incluso superada ya por los astrónomos de Alejandría, ¡quince siglos antes de Copérnico!

El sistema copernicano se basa, descontando las 27 observaciones del autor, en las observaciones de Ptolomeo, Hiparco, y otras de astrónomos griegos y árabes. Un buen número de esas observaciones, que Copérnico aceptó sin vacilación, adolecían de errores de observación o de errores introducidos en los datos por los escribanos y traductores que, en un buen número, habían servido de intermediarios. Estos datos espurios introdujeron irregularidades en sus modelos. Kepler criticó posteriormente a Copérnico por su gran fe en los antiguos que lo llevó a decir de Copérnico que: *“Se esforzó, en primer lugar, en interpretar a Ptolomeo antes que a la naturaleza”*.

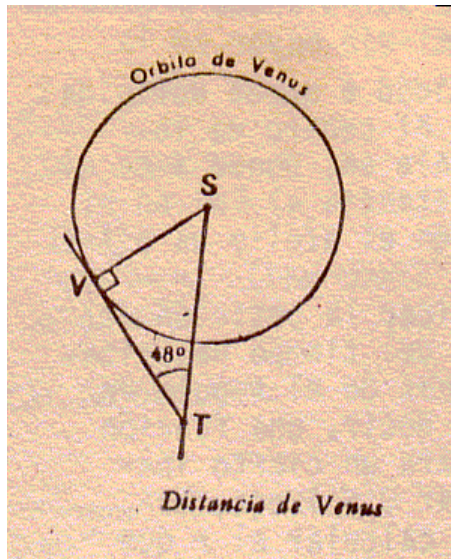
Copérnico introduce una órbita terrestre excéntrica y las órbitas de los otros planetas son concéntricas a la terrestre. Por lo tanto el sistema copernicano es heliostático más que estrictamente heliocéntrico.

#### **1.4.4. Ventajas del Sistema Copernicano:**

En el sistema geocéntrico de Ptolomeo era necesario aceptar una serie de coincidencias que no podían explicarse a partir de los postulados básicos del sistema. Entre las más notables cabe mencionar que para Mercurio y Venus, el movimiento es tal que el centro de ambos epiciclos se sitúa siempre sobre la recta Tierra-Sol, por lo cual el período en el deferente resulta igual a 1 año. Para los planetas exteriores se observa la coincidencia que el brillo máximo lo alcanzan cuando el planeta se haya en oposición al Sol y el brillo mínimo, cuando se encuentra en conjunción. Los planetas exteriores emplean un año en recorrer su epiciclo. El radio-vector que une el centro del epiciclo y el planeta es siempre paralelo al radio-vector que une a la Tierra y el Sol. Por último señalaremos que para los planetas exteriores se observa que la amplitud de las retrogradaciones decrece con la distancia, es decir, son mayores para Marte, intermedias para Júpiter y más pequeñas para Saturno. El Sol orquesta el movimiento planetario de Ptolomeo.

Todas las coincidencias señaladas tienen una explicación natural en el sistema de Copérnico. Para los planetas interiores, por orbitar en torno al Sol, es natural que sus órbitas sean arrastradas alrededor de la Tierra en un año. Para los planetas exteriores es lógico que la distancia mínima a la Tierra ocurra en la oposición al Sol y, por otra parte, por ser el epiciclo un mero reflejo de la órbita terrestre se explica que las retrogradaciones se reduzcan con la distancia del planeta a la Tierra.

En el sistema copernicano las distancias planetarias quedan fijas en relación a la unidad astronómica de distancia (la distancia Tierra-Sol). Se distinguen dos casos diferentes:

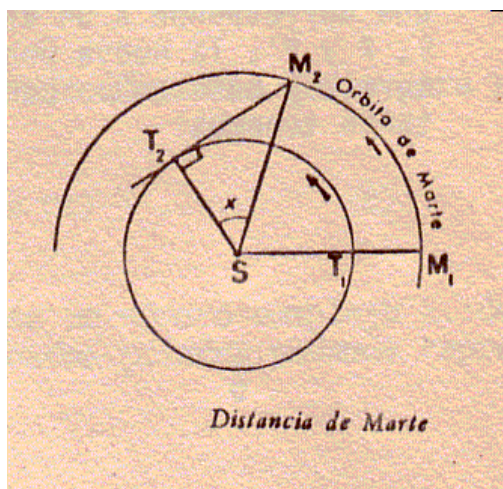


### Planetas interiores:

Para Mercurio y Venus, la elongación máxima nos permite determinar el radio de la órbita en unidades astronómicas. Veamos el caso de Venus. La figura nos muestra la elongación máxima de  $48^\circ$ .

Resulta  $SV/ST = \sin 48^\circ = 0.73$ .

### Planetas superiores:



Para Marte, Júpiter y Saturno la situación es diferente. Veamos el caso de Marte. Se toman dos posiciones, una oposición  $ST_1M_1$  y la cuadratura siguiente  $ST_2M_2$ . El ángulo  $X$  es la diferencia del ángulo  $\alpha_T$  recorrido por la Tierra y el ángulo  $\alpha_M$  correspondiente a Marte en el mismo intervalo de tiempo,  $t$ . Como se conoce el período del Sol y Marte tenemos:

$$a_T = \frac{360}{P_T} \cdot \Delta t$$

$P_T$  = período sideral de la Tierra

$$a_M = \frac{360}{P_M} \cdot \Delta t$$

$P_M$  = período sideral de Marte

$$x = a_T - a_M$$

$$\frac{ST}{SM} = \cos(x)$$

Resulta finalmente:

$$\frac{SM}{ST} = 1,5$$

La distancia media de Marte al Sol resulta ser un 50% mayor que la de la Tierra.

#### 1.4.5. Interpretación Moderna de Copérnico y Ptolomeo.

Resulta interesante ver hoy la obra de Copérnico y Ptolomeo conociendo la solución exacta del movimiento planetario. Ambas teorías son aproximaciones al problema real, que empezó a ser resuelto por Kepler y finalmente, con la obra de Isaac Newton se dispuso de todos los elementos, tanto teóricos como de cálculo, para resolver en todo rigor el problema de las órbitas planetarias. Seguiremos aquí el análisis que hace Fred Hoyle en su libro: *“De Stonehenge a la Cosmología Contemporánea. Nicolás Copérnico”* en las páginas 178 a 191. El lector que no se interese en argumentos matemáticos puede saltarse esta sección.

El problema que queremos investigar es: ¿Cuanto hay que degradar la solución correcta para obtener las aproximaciones de Copérnico y Ptolomeo? De acuerdo con las leyes de Kepler, que estudiaremos en el próximo capítulo, los planetas describen órbitas elípticas en torno al Sol, ocupando éste uno de los focos de la elipse. La ecuación de una elipse en coordenadas polares es:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \theta} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $r$  es la distancia Sol-planeta y  $\theta$  es el ángulo medido a partir del perihelio, el punto más cercano al Sol. " $a$ " es el semi-eje mayor de la elipse y la excentricidad " $e$ " queda definida por la distancia del centro de la elipse a uno de los focos, que vale " $ae$ " (dicho de otro modo " $e$ " es la razón entre la distancia del centro al foco y el semi-eje mayor;  $e=0$  es una elipse donde los dos focos coinciden con el centro y se transforma

en una circunferencia;  $e=1$  es una elipse donde los focos se han ido a tocar el perímetro de la elipse y ésta se ha achatado a una línea). La distancia del Sol al perihelio vale  $a(1 - e)$  y al afelio vale  $a(1 + e)$ .

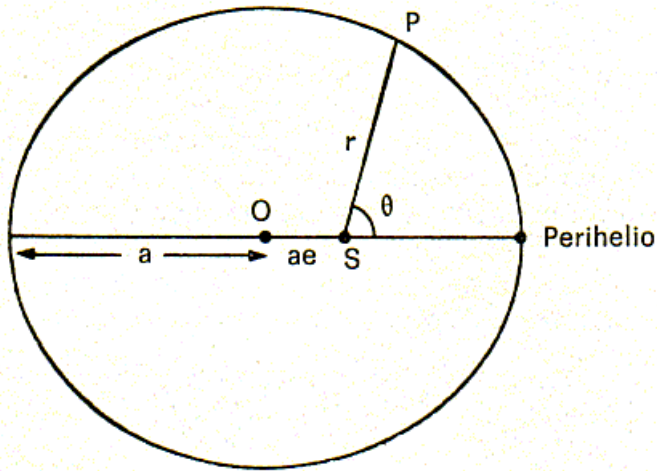


FIGURA 18.—El ángulo  $\theta$  se mide desde el perihelio. La distancia desde el centro  $O$  al foco  $S$  es  $ae$ , y la distancia desde  $S$  a  $P$  es  $r$ .

Para poder situar la posición del planeta en un instante dado necesitamos una expresión que nos de el ángulo  $\theta$  en función del tiempo. Con ella, para cualquier instante  $t$  podremos calcular  $\theta$  y luego, mediante la ecuación de la elipse el correspondiente valor de  $r$ . Esta expresión podemos obtenerla de la segunda ley de Kepler, la ley de las áreas, que expresa que el área barrida por el radio-vector que une al Sol y al planeta es constante, no cambia en el tiempo. En un intervalo pequeño de tiempo  $\Delta t$

la recta  $SP$  recorre un ángulo pequeño  $\Delta\theta$ , que corresponde a un arco  $r \Delta\theta$ . Si el arco es pequeño, la figura que se forma entre  $S$ ,  $P$ , y  $P'$ , la nueva posición del planeta, es aproximadamente igual a un triángulo de altura  $r$  y base  $r \Delta\theta$ . Así el área  $\Delta A$  es igual a  $\frac{1}{2} \times r \times r \times \Delta\theta$ . Como la velocidad areal es constante tendremos:

$$\frac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{dt} = \text{const.}$$

o

$$r^2 \dot{\theta} = h \quad \text{Ecuación 2}$$

en el límite, si tomamos un intervalo  $\Delta t$  de tiempo infinitesimal, la fracción  $\Delta\theta / \Delta t$  tiende a la derivada.

donde  $\dot{\theta}$  es la velocidad angular  $\frac{d\theta}{dt}$  y  $h$  es una constante.

La constante  $h$  se relaciona fácilmente con el movimiento angular medio del planeta,  $n$ , definido como:

$$n = \frac{2p}{P}$$

donde  $P$  es el período sideral del planeta.

En un intervalo de tiempo igual a  $P$ , período sideral, el área barrida es el área de la elipse,  $\pi a \times b$ . Luego:

$$\frac{1}{2} r^2 \dot{q} P = pab$$

pero

$$b^2 + a^2 e^2 = a^2$$

$$b = a \sqrt{1 - e^2}$$

luego

$$\frac{1}{2} r^2 \dot{q} P = \frac{1}{2} h P = pa \times a \sqrt{1 - e^2}$$

$$\therefore h = \frac{2p}{P} a^2 \sqrt{1 - e^2}$$

$$h = na^2 \sqrt{1 - e^2}$$

o

$$n = \frac{h}{a^2 \sqrt{1 - e^2}}$$

Ecuación 3

Eliminando  $r$  entre las ecuaciones (1) y (2) se obtiene:

$$\frac{h}{\dot{q}} = \frac{a^2 (1 - e^2)^2}{(1 + e \cos q)^2}$$

$$\dot{q} = \frac{h}{a^2 (1 - e^2)^2} (1 + e \cos q)^2$$

utilizando la ecuación (3) se obtiene:

$$\dot{q} = \frac{n}{(1 - e^2)^{3/2}} (1 + e \cos q)^2$$

Ecuación 4

Si pudiésemos integrar la ecuación (4) tendríamos el problema resuelto. Desgraciadamente no es posible integrar esa expresión analíticamente, y sólo se puede resolver como una serie de términos infinitos:

$$q = nt + 2e \times \text{sen}(nt) + \frac{5}{4}e^2 \times \text{sen}(2nt) + \dots \quad \text{Ecuación 5}$$

Al sustituir esta expresión en la ecuación (1) tenemos una serie para  $r$ :

$$\frac{r}{a} = 1 - e \times \cos(nt) + \frac{1}{2}e^2(1 - \cos(2nt)) + \dots \quad \text{Ecuación 6}$$

Representemos la posición de un planeta mediante un número complejo  $z$ , de componente real  $x$  y componente imaginaria  $y$ . En coordenadas polares podemos representarlo como:

$$z = r \times \exp(iq)$$

Utilizando las ecuaciones (5) y (6) se obtiene:

$$z = a(1 - e \times \cos(nt) + \dots) \times \exp[i(nt + 2e \times \text{sen}(nt) + \dots)] \quad \text{Ecuación 7}$$

Las excentricidades de las órbitas planetarias son pequeñas (la mayor excentricidad la presenta la órbita de Mercurio con  $e = 0,21$ , seguido por la de Marte con  $e = 0,09$ ). En primera aproximación podemos despreciar en el desarrollo en serie los términos que contienen  $e^2$  y potencias mayores de  $e$  (aproximación de primer orden). Además podemos escribir:

$$\exp(2ie \times \text{sen}(nt)) \approx 1 + 2ie \times \text{sen}(nt) \quad \text{Ecuación 8}$$

Con estas aproximaciones obtenemos para  $z$ :

$$\begin{aligned} z &\approx a(1 - e \cos(nt)) \times \exp[i(nt + 2e \times \text{sen}(nt))] \\ z &\approx a(1 - e \cos(nt)) \times \exp(int) \times \exp(2ie \times \text{sen}(nt)) \\ z &\approx a(1 - e \cos(nt)) \times (1 + 2ie \times \text{sen}(nt)) \times \exp(int) \\ z &\approx a(1 - e \cos(nt) + 2ie \times \text{sen}(nt)) \times \exp(int) \end{aligned} \quad \text{Ecuación 9}$$

Utilizando las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}\exp(i\mathbf{q}) &= \cos \mathbf{q} + i \sin \mathbf{q} \\ \exp(-i\mathbf{q}) &= \cos \mathbf{q} - i \sin \mathbf{q}\end{aligned}\quad \text{Ecuaciones 10}$$

$$\begin{aligned}\cos \mathbf{q} &= \frac{1}{2} [\exp(i\mathbf{q}) + \exp(-i\mathbf{q})] \\ i \sin \mathbf{q} &= \frac{1}{2} [\exp(i\mathbf{q}) - \exp(-i\mathbf{q})]\end{aligned}\quad \text{Ecuaciones 11}$$

De la ecuación (9) podemos escribir:

$$z \approx a \left( 1 - e \times \frac{1}{2} [\exp(i \cdot nt) + \exp(-i \cdot nt)] + 2e \times \frac{1}{2} [\exp(i \cdot nt) - \exp(-i \cdot nt)] \right) \times \exp(i \cdot nt)$$

$$z \approx a \left[ 1 + \frac{e}{2} \exp(i \cdot nt) - \frac{3}{2} e \exp(-i \cdot nt) \right] \times \exp(i \cdot nt)$$

$$z \approx -\frac{3}{2} ae + a \times \exp(i \cdot nt) + \frac{ae}{2} \times \exp(2i \cdot nt) \quad \text{Ecuación 12}$$

Con esta ecuación podemos representar la posición del planeta en cualquier instante  $t$ .

Construcción:

- A partir de un origen  $S$  se hace un desplazamiento hacia la izquierda del origen, de un monto  $3ae/2$ , hasta el punto  $K$ .
- Hacer luego un desplazamiento  $a \exp(int)$  desde el punto  $K$  hasta el punto  $L$ .
- Hacer finalmente un desplazamiento de monto  $(1/2)ae \exp(2int)$  desde  $L$  hasta  $P$ .

Esta construcción de una órbita planetaria corresponde a la desarrollada por Copérnico. El punto  $K$  permanece fijo mientras el punto  $L$  gira a su alrededor con velocidad angular constante  $n$ . El punto  $P$  gira en torno a  $L$  con velocidad angular constante,  $2n$ .

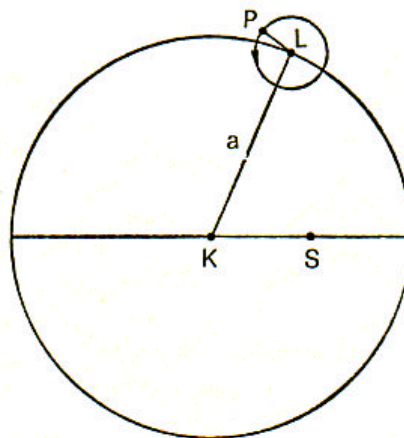


FIGURA 19.—Esta es la construcción de Copérnico. El segmento  $KL$  gira con una velocidad angular igual al movimiento medio  $n$  del planeta, mientras que  $LP$  gira con velocidad angular  $2n$ . La distancia  $LP$  es  $1/3$  de  $KS$ , que es a su vez  $3/2$  de  $ae$ .

Copérnico se desvía de ésta construcción en dos aspectos menores. Para la órbita terrestre omite el epiciclo LP. Además, para las órbitas planetarias no utiliza al Sol como origen sino al punto K determinado para la Tierra.

Una construcción alternativa la obtenemos de la ecuación (9), sumando y restando dentro del paréntesis la cantidad  $e \cos(nt)$ . Se obtiene:

$$\begin{aligned} z &\approx a[1 + e \cos(nt) - 2e \cos(nt) + 2i \sin(nt)] \times \exp(i \cdot nt) \\ z &\approx a[1 + e \cos(nt)] \times \exp(i \cdot nt) - 2ae[\cos(nt) - i \sin(nt)] \times \exp(i \cdot nt) \\ z &\approx a[1 + e \cos(nt)] \times \exp(i \cdot nt) - 2ae \end{aligned} \quad \text{Ecuación 13}$$

Esta última ecuación permite hacer la siguiente construcción, alternativa a la recién vista construcción copernicana:

1. A partir de un origen S se hace un desplazamiento en el sentido negativo del eje real, en un monto igual a  $2ae$ .
2. Hacer un desplazamiento de longitud  $a(1 + e \cos nt)$  desde A, en una dirección que forma un ángulo  $nt$  con el eje real positivo.

[La ecuación del círculo en coordenadas polares con origen en A es

$$r = a[e \cos q + \sqrt{1 - e^2 \sin^2 q}]$$

pero si el valor de la excentricidad "e" es pequeño la raíz vale  $\sim 1$ ].

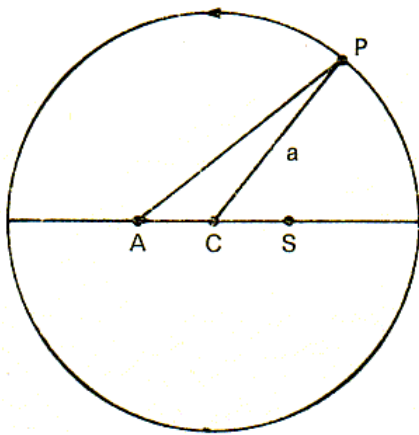


FIGURA 20.—Esta es la construcción básica de Ptolomeo, pero aplicada a una imagen heliocéntrica. Aquí,  $AC=CE=ae$  (estas distancias están exageradas) y el segmento AP gira con velocidad angular igual al movimiento medio  $n$ .

El punto P gira en torno al punto C pero lo hace con velocidad angular constante "n", con respecto al punto A. Esta es la construcción básica de Ptolomeo, aplicada a una órbita en torno al Sol.

Para obtener la verdadera construcción de Ptolomeo tenemos que calcular cómo se representa el movimiento del planeta visto desde la Tierra. Para un planeta P la ecuación (3.13) se puede escribir como:

$$z_p \approx a_p [1 + e_p \cos(n_p t)] \times \exp(in_p t) - 2a_p e_p$$

y para la tierra :

$$z_T \approx a_T [1 + e_T \cos(n_T [t - t_T])] \times \exp(in_T [t - t_T]) - 2a_T e_T$$

El tiempo t se mide a partir del perihelio del planeta ( $\theta = 0^\circ$ ). El perihelio de la Tierra ocurre en el instante  $t=t_T$ .

La posición del planeta con respecto a la Tierra es  $z_p - z_T$

En la tabla adjunta se ve que la excentricidad terrestre es pequeña comparada con la excentricidad de los otros planetas clásicos, excepto por Venus

Planeta	Excentricidad
Mercurio	0,2056
Venus	0,0068
Tierra	0,0167
Marte	0,0933
Júpiter	0,0484
Saturno	0,0558

En la expresión para  $z_p - z_T$  se puede despreciar la excentricidad de la órbita terrestre frente a  $e_p$ . Se obtiene de esa manera:

$$z_p - z_T \approx a_p \{ [1 + e_p \cos(n_p t)] \times \exp(in_p t) - 2e_p \} - a_T \exp(in_T [t - t_T])$$

El primer término de esta ecuación da origen a una construcción como la figura anterior pero ahora tomando la Tierra como origen. El segundo término produce un epiciclo. El punto L se mueve alrededor de C con un radio  $a_p$ , pero con velocidad angular constante en torno del punto A, el ecuante. El planeta se mueve en un círculo alrededor del punto L, con velocidad angular constante,  $n_T$ .

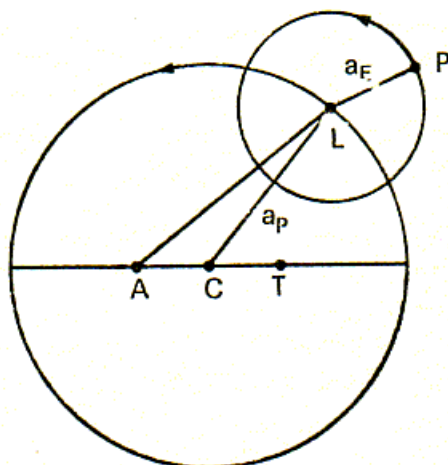


FIGURA 21.—La construcción de Ptolomeo aplicada a una imagen geocéntrica. El segmento AL gira con el movimiento medio  $n_P$  del planeta, mientras que el segmento LP gira con el movimiento  $n_T$  de la Tierra.

Hay que notar que:

$$-a_T \exp[in_T(t-t_T)] = a_T \exp[i\{n_T(t-t_T) + \mathbf{p}\}]$$

luego, cuando  $t=0$ , es decir, cuando L se encuentra en el perigeo, la fase del planeta sobre el epiciclo es  $(\pi - n_T \cdot t_T)$ .

Para construir las órbitas se necesita conocer  $a_P/a_T$  y  $e_P$ .

La teoría de Copérnico y Ptolomeo representan la misma aproximación al problema del movimiento planetario. La degradación sobre el primer orden que resulta en la teoría de Ptolomeo al despreciar la excentricidad de la órbita terrestre resulta ser equivalente a reemplazar al Sol por el punto K de la órbita terrestre, en el caso de la de Copérnico.

La teoría copernicana es mejor que la de Ptolomeo en lo que se refiere a las inclinaciones de las órbitas y por ende en las predicciones que hace sobre las latitudes eclípticas de los planetas. Copérnico supuso que los planos de todas las órbitas pasaban por el punto K de la órbita terrestre. Ptolomeo en cambio consideró que todos los planos pasaban por la Tierra. Como la situación correcta es que pasan por el Sol, Copérnico está mucho más cerca de la verdad que Ptolomeo; su poder predictivo para las latitudes eclípticas es muy superior. La inclinaciones de las órbitas planetarias con respecto a la eclíptica son muy pequeñas, por lo que estamos hablando de diferencias que pueden llegar a lo más a dos o tres grados (en todo caso valores muy por sobre los

errores de observación; recuerde que el tamaño angular de la Luna en el cielo es de aproximadamente medio grado).

#### 1.4.6. Epílogo: Difusión del sistema copernicano.

El prólogo de Osiander, pese a traicionar el pensamiento de Copérnico, incitó a muchos a utilizar el tratado de Copérnico como herramienta de cálculo. Así Lauterbach de Wittenberg calculó la conjunción de Mercurio y Júpiter del 21 de diciembre de 1544, utilizando tanto las Tablas Alfonsinas como el libro de Copérnico; igualmente calculó por partida doble el eclipse de Luna del 28 del mismo mes. En ambos casos encontró mucho más preciso el método copernicano. Igualmente Erasmo Reinhold, profesor de Wittenberg, calculó el calendario para 1545 y el profesor de Nürenberg Schöner calculó las efemérides de Mercurio para 1544, ambos en base a la teoría copernicana. Hommel de Leipzig contrastó con observaciones las efemérides astronómicas para 1559-1561, deducidas por Simus de la Tablas Alfonsinas y por Stadium de las copernicanas: éstas últimas se manifestaban muy superior en lo que se refiere a las posiciones de Marte y Saturno. Valentín Steinmetz en su calendario para 1552 afirma que la mayor aptitud para el cálculo que las Tablas de Copérnico ofrecen es para él un indicio de la verdad de su teoría.

La reacción en contra de la obra de Copérnico vino primero de los protestantes y luego de los católicos. Lutero el 4 de junio de 1539 escribe: *“Se ha hablado de un nuevo astrólogo que ha querido demostrar que es la Tierra la que se mueve y gira, no el cielo o el Firmamento, el Sol y la Luna; comparando con uno que sentado en un coche o en un barco en movimiento pensase que él estaba quieto y descansando y que eran la Tierra y los árboles los que iban y movían. Pero hay que tener presente que el que pretende ser tenido por sabio y sutil no debe dejar que le guste lo que sienten los otros, tiene que hacerse con algo singular y propio y creer que lo mejor de todo es lo que él hace y siente. Este loco quiere invertir todo el arte de la Astronomía; pero como la Sagrada Escritura dice, Josué mandó que parase el Sol y no la Tierra”*. Posteriormente Melanchton no se muestra más tolerante; en carta a Bernardo Mithobius del 16 de octubre de 1541 le decía que la tentativa de Copérnico *“de mover la Tierra y parar el Sol”* era absurda y ningún Gobierno prudente debería tolerar la propagación de tales ideas.

Después de publicada la obra *“De Revolutionibus”* Melanchton vuelve a la carga en su obra *De Inittis Doctrinæ Physicæ*, presentando argumentos sacados del sentido común, de las Sagradas Escrituras y de la Física Aristotélica.

La Universidad de Salamanca, a partir de 1561, incluía entre sus enseñanzas la teoría heliocéntrica de Copérnico; era la primera Universidad del mundo en hacerlo. Sin embargo el grueso de la oficialidad del mundo católico era anti-copernicana. El autor de la reforma del Calendario Gregoriano, el P. Cristobal Clavius, en su *“Comentario de la Astronomía de Juan de Sacrobosco”*, aparecido en 1570, cita repetidamente a Copérnico como hábil y cuidadoso observador de las estrellas, distinguido renovador de la Astronomía y sin duda el más sabio y digno de admiración de los astrónomos,

usando reiteradamente sus observaciones, sus métodos de cálculo y sus tablas pero, al llegar a examinar su teoría la rechaza por absurda e insostenible y aduce en su contra argumentos similares a los de Melanchton.

A pesar de no haber sido apoyada por un gran número de astrónomos, la difusión del copernicanismo en el siglo XVI no tuvo mayores problemas. La situación cambió drásticamente al empezar el siglo XVII con el proceso a Galileo en Italia.

El sacerdote jesuita Antonio Romaña defiende a la Iglesia católica diciendo que: *"cabe decir que los decretos de la Inquisición era de naturaleza apta para obstaculizar y de hecho algo obstaculizaron la investigación y adelanto astronómico; pero no tanto como podría creerse"*. Continúa diciendo que *"... con tal de exponerlo como hipótesis, el heliocentrismo podía ser defendido sin dificultad"*. Galileo ciertamente no estaría de acuerdo con el padre Romaña. La guerrilla psicológica a la que fueron sometidos los científicos y pensadores del siglo XVII y parte del XVIII, no fue en absoluto despreciable. Giordano Bruno pagó con su vida el desafío de no concordar con la versión oficial de la Iglesia. La condena y prisión perpetua de Galileo en 1633 (que duró hasta su muerte en 1642) tampoco parecen avalar las indulgentes palabras del padre Romaña.

En Inglaterra Thomas Digges publicó en 1576 la obra de su padre, también astrónomo, *"Pronostication"*. En un apéndice explica, en inglés, el sistema heliocéntrico y traduce buena parte del Libro I de Copérnico, con figuras aclaratorias elaboradas por él [el libro de Copérnico fue escrito en latín].

Su libro fue tan exitoso que se hicieron de él seis ediciones hasta 1605. En dicho libro Thomas Digges plantea que no todas las estrellas están a la misma distancia, que vemos sólo las más cercanas y que existen estrellas hasta el infinito. En Italia Francisco Giuntini en su *"Sfera del Mondo"*, publicada en 1582 y en Francia Montaigne en sus *"Essais"* de 1580, comparan los sistemas de Copérnico y Ptolomeo; alaban a Copérnico pero dejan la puerta abierta a una tercera hipótesis que las reemplace a ambas.

Tycho Brahe desmorona el geocentrismo, destruye las esferas cristalinas de Aristóteles pero adopta un sistema híbrido: la Tierra inmóvil en el centro, el Sol gira a su alrededor pero todos los planetas giran en torno al Sol. Tycho Brahe con su sistema ayuda al heliocentrismo pues socava los fundamentos filosóficos que sostenían el mundo de Ptolomeo. Después de los trabajos de Kepler y Galileo, en los momentos de la condena de éste último por el Santo Oficio, la suerte del sistema tolemaico estaba echada: para proclamar el triunfo del heliocentrismo sólo era necesario vencer la objeción en términos de la física aristotélica. El trabajo final de Galileo de 1638 y la magistral síntesis newtoniana de 1687 terminaron de proclamar la verdad copernicana. Sin embargo no fue sino hasta 1757 que desaparece del Índice de los Libros Prohibidos los que enseñan la teoría heliocéntrica. Sin embargo las obras de Copérnico, Foscarini y Galileo fueron sacadas del Índice sólo en 1822 por el Papa Pío VII. A esas alturas las evidencias para sostener el trabajo de Copérnico eran incontrarrestables.

## **Bibliografía:**

- Abetti, "Historia de la Astronomía", F.C.E., México, 1956.
- Copérnico, "Sobre las Revoluciones (de los Orbes Celestes)" Editora Nacional, Madrid, 1982.
- Couderc, "Las Etapas de la Astronomía", EUDEBA, Buenos Aires, 1962.
- Dreyer, J.L.E. "A History of Astronomy from Thales to Kepler", Dover, Nueva York, 1953.
- Espoz, R. "Un Conflicto en el Origen de la Ciencia Moderna: Copérnico u Osiander", Ed. Universitaria, Santiago, 1989.
- Hoyle, "De Stonehenge a la Cosmología Contemporánea. Nicolás Copérnico", Alianza Ed. (Libro de Bolsillo N° 630), Madrid, 1976.
- Kester, H. "Copérnico y su Mundo", Zamora, Buenos Aires, 1948.
- Koestler, A. "The Sleepwalkers", Pelican Books, Nueva York, 1973.
- Kuhn, T. "The Copernican Revolution", Harvard Univ. Press, Cambridge, 1974.
- Papp, D. "Ideas Revolucionarias en la Ciencia", Ed. Universitaria, Santiago, 1975.
- Romañá, A., S.J. "La Difusión del Sistema Copernicano en el Mundo", Pub. del Observatorio del Ebro, Miscelanea N° 31, 1973.