

15
2 ejm



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

MITOLOGÍA, GEOMETRÍA Y FÍSICA.
LAS CONCEPCIONES COSMOLÓGICAS A TRAVÉS
DE LA HISTORIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
FÍSICO

P R E S E N T A :
JOSÉ ALBERTO FLANDES MENDOZA



DIRECTOR DE TESIS: FIS. JOSÉ ERNESTO MARQUINA FÁBREGA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

26/01/2



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrin Baule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
"Mitología, Geometría y Física. Las concepciones Cosmológicas a través de la
Historia"

realizado por FLANDES MENDOZA JOSE ALBERTO

con número de cuenta 8100327-5 , pasante de la carrera de Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

FIS. JOSE ERNESTO MARQUINA FABREGA

Propietario

DR. SHAHEN HACYAN SALERYAN

Propietario

DR. LUIS ESTRADA MARTINEZ

Suplente

FIS. JOSE LUIS ALVAREZ GARCIA

Suplente

DR. JESUS GALINDO TREJO

Consejo Departamental de Física

DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA
Coordinador de Licenciatura



ÍNDICE

I. LAS CONCEPCIONES COSMOLÓGICAS A TRAVÉS DE LA HISTORIA	1
II. LAS IDEAS COSMOLÓGICAS DE LOS PRIMEROS FILÓSOFOS GRIEGOS	13
III. PLATÓN, EUDOXO Y ARISTÓTELES	29
IV. LOS PRIMEROS HELIOCENTRISTAS	40
V. PTOLOMEO	51
VI. EUROPA Y LA REGRESIÓN IDEOLÓGICA	58A
VII. PTOLOMEO Y LOS ÁRABES	69
VIII. LOS PRECURSORES DE COPÉRNICO	78
IX. NIKLAS Y LAS REVOLUCIONES DE LAS ORBES CELESTES	87
X. LA NUEVA COSMOLOGÍA	96
XI. LA TRANSICIÓN EPISTEMOLÓGICA	105
XII. EL SIGLO DEL GENIO	115
CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	130

I. COSMOLOGIAS PRIMITIVAS

En el principio estaban mezclados el agua de mar, el agua de los ríos y la niebla... esto nos dice el génesis babilónico en el *Enuma Elish*, escrito 15 siglos antes de Cristo.

Los babilonios son resultado de la conjunción Semita y Sumeria, dos pueblos con culturas totalmente diferentes, asentados ambos, en la planicie del Tigris y el Eufrates. Para el tercer milenio antes de Cristo, los sumerios ya habitaban tal región y habían fundado algunas ciudades (Súmer, Eridú y Ur, por ejemplo) que habían ganado cierta importancia. Fue entonces que se dieron migraciones masivas de semitas a las ciudades sumerias comenzando a ganar poco a poco el dominio de los propios sumerios, al grado de convertirse en sus gobernantes. La cultura sumeria era muy superior a la semita, por ello, estos la adoptaron no sin aportarle algo de la suya propia; entre otras cosas su propia concepción del Mundo y algo de su cosmogonía. Babilonia, una de las ciudades semitas más importantes, se convertiría más tarde en la capital del imperio babilónico bajo la dinastía *Hammurabi*. El conocimiento astronómico babilonio, como tal, no va más allá del primer milenio antes de Cristo. Este conocimiento abarcaba muchas estrellas, entre ellas las del Zodiaco, cuyas observaciones se hacían prácticamente sólo para efectos calendáricos. Algunos de los cuerpos celestes estaban

relacionados con ciertas deidades, se creía que el Sol, la Luna y Venus estaban relacionados entre sí, pero a Venus se le prestaba especial atención. Por otro lado, se consideraba a las estrellas para efectos de predicción; cada evento celeste representaba un presagio, ya fuera favorable o adverso, de ahí que las profecías relacionadas con los eclipses resultaran abundantes.

El Génesis babilónico, como tal, no es obviamente el más antiguo, pues era resultado de la unión de las tradiciones semitas y sumerias más antiguas, pero sí será el que más influencia tendrá en las culturas posteriores.

Para los babilonios todo se genera a partir de un caos primigenio al que en los más antiguos mitos llamaban *Nammu*. Tal concepción caótica se debía a las inciertas condiciones climáticas dadas en Mesopotamia. *Nammu*, el dios primigenio, es, en los mitos posteriores, reemplazado o dividido en tres deidades más: *Ti-Amat*, la madre, que representaba el agua salada o el mar, *Apsu*, el padre, las aguas potables o ríos, y *Mummu*, el sirviente o la niebla.

Ti-Amat y *Apsu* engendrarían a *Lahmu* y a *Lakhamu*, la pareja que representaba al sedimento; estos a su vez darían origen a *Anshar* y *Kishar*, los horizontes o límites del cielo y la Tierra. Estos últimos, por su parte, engendrarían a *Atum*, el dios del cielo y a *Enki*, el dios de la tierra, quienes originalmente estarían unidos hasta que el dios viento se encargase de separarlos.

El mito cuenta, de forma épica, que *Marduk*, el dios babilónico principal, se enfrenta a *Apsu*, a quien vence y da muerte. Posteriormente corta su cuerpo a lo largo en dos partes iguales. Con una

parte construye, en lo alto, el cielo y con la otra la tierra; más tarde crea al Sol, a la Luna y a las estrellas. El caos había terminado...

Profundizando un poco más en el aspecto mitológico podemos inferir cual era la concepción física que los babilonios tenían del Universo. Originalmente prevalecían dos ideas. La primera proveniente del antiguo santuario sumerio de *Eridú*, en las costas del Golfo Pérsico, que plantea el origen de todo a partir del *Kuhbur*, el río océano del que emergió el Mundo habitado como un gran disco plano paralelo al disco del cielo. La segunda idea proviene de otra ciudad sumeria llamada *Nippur*, al norte de Babilonia, y nos dice que el Mundo es una gran montaña en cuya cima habitaban los dioses.

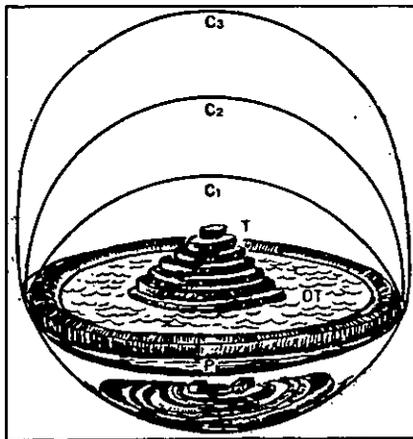


Fig.1.1 Concepción babilónica del Universo

Una vez establecido y extendido el imperio babilónico, los mitos se unifican y toman una forma más concreta. El cielo pasa de un disco plano a ser una gran bóveda semiesférica; la Tierra, por su parte, queda como un gran disco plano flotando en el *Apsu*, el gran abismo

acuoso. El aire llenaba el espacio entre el cielo y la Tierra y el agua lo cubría todo por encima de la bóveda celeste, por debajo de la tierra y en torno a ella. La construcción del mundo no era totalmente hermética, pues de vez en cuando se filtraba el agua por la bóveda, dando lugar a las lluvias.

La idea babilónica trascendería a los egipcios, adaptada a las condiciones de vida de esta cultura. Para ellos la vida no era tan incierta como para los babilonios, de hecho, era relativamente segura bajo un clima muy regular y casi inmutable.

Los egipcios sabían por el ascenso de *Sotkis* (Sirio para nosotros) cuando crecería el Nilo. Tal coincidencia les confería un gran poder pudiendo relegar a una bien determinada época del año sus actividades agrícolas, permitiéndoles enfocarse el resto del año al desarrollo social, económico y cultural. El "caos", como lo concebían los babilonios, no existía para los egipcios; por tanto el Universo no se habría generado a partir de él. Para ellos, la figura predominante en su vida y mitología era el Sol, que en el desierto aparecía casi omnipresente como el ser más poderoso de los cielos.

El disco solar era en ocasiones rodado por el dios en forma de escarabajo pelotero o, junto con la Luna, los ojos de *Horus* (el Sol era el ojo derecho y la luna el izquierdo), el gigantesco halcón que surcaba los cielos con sus alas extendidas. Estas dos representaciones eran, entre otras, las principales concepciones que los egipcios tenían del Sol.

Mitológicamente, el dios Sol, *Atum*, engendra a *Chu*, el aire, y a *Tefnut*, la humedad; ambos

dan origen a *Nut*, la diosa del aire, y a *Geb*, la Tierra. Es a partir de estos últimos que nacen todos los demás dioses.

El génesis egipcio repite al babilónico: En el principio el cielo y la tierra estaban unidos, pero el aire los separó...

La idea de las aguas primordiales persiste. Los egipcios se refieren a ellas como *Nun*, donde la vida se creó.

El Universo egipcio viene a ser una caja rectangular alargada de norte a sur, como el mismo país egipcio, en cuyo fondo, ligeramente cóncavo, descansaba la Tierra.

Esta estaba circundada por una cadena montañosa en cuyas cuatro esquinas yacían cuatro montañas que con sus picos sostenían el

cielo, que aunque ligeramente abovedado, era prácticamente plano y del que pendían los planetas y las estrellas.

El río Nilo fluía por el centro de la Tierra naciendo del *Ur-nes* o río universal que la rodeaba (el cielo tenía su propio Nilo: La Vía Láctea). El nivel del *Ur-nes* estaba ligeramente por debajo de los cuatro grandes picos, de modo que al ser transportado el Sol por estas aguas, era perfectamente visible desde la Tierra, excepto de noche, cuando las más altas montañas del *Dait*, al poniente, lo ocultaban. La cercanía o lejanía del Sol, según la época del año, se debía a qué tan cerca se encontraba de la orilla la barca en la que flotaba.

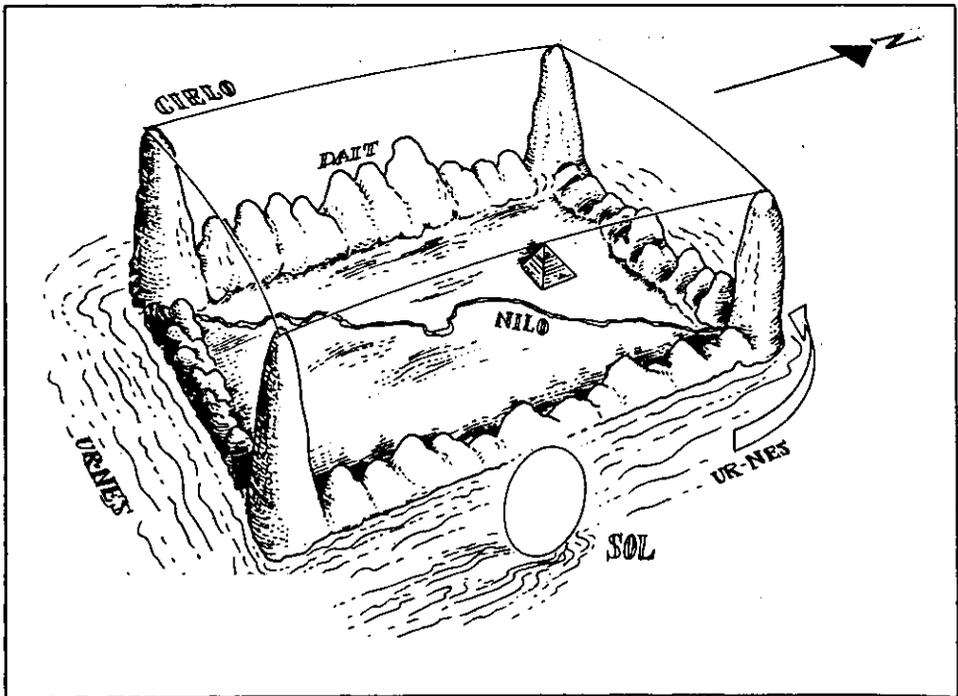


Fig. 1.2 Concepción egipcia del Universo.

El Sol "nacía", literalmente, en la región opuesta al *Dait* y navegaba hacia el oeste ganando poder. Al llegar a él cambiaba de barca justo en la entrada. Una vez ahí repetía el ciclo.

Los demás astros, al igual que el Sol, navegaban sobre el *Ur-nes* en barcas menores. Algunos en la misma dirección como *Uapshetatu* (Júpiter), *Kahiri* (Saturno) y *Sobku* (Mercurio) o en la opuesta como *Doshiri* (Marte).

En el libro de los muertos, *Deir el Bari*, del siglo X a.C. se representa a *Chu*, el aire y la luz, sosteniendo en alto a la diosa *Nut*. *Geb* se halla a sus pies.

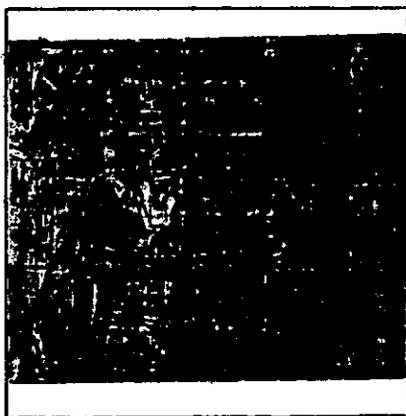


Fig. 1.3 Representación mitológica del "Universo egipcio".

Comparativamente, en el mito hebreo, se retoman las mismas ideas pero con la importante variante monoteísta. Los elementos del Universo aquí dejan de ser deidades; sólo existe un ser que lo genera todo.

La Biblia, escrita durante el primer milenio antes de Cristo, nos dice que en el principio estaba Dios, Jehová, y después el cielo y la tierra, informe y vacía, originalmente mezclada o más

bien revuelta con las aguas -el abismo acuoso- sobre las que la esencia, el espíritu o *pneuma* de Dios se movía.

Como lo hace *Marduk* en el mito babilónico, Jehová también separa los diversos elementos que se hallaban en el caos, separa la luz de las tinieblas¹ y dispone un firmamento entre las aguas primordiales. Queda entonces agua por encima del cielo y agua por debajo². De las aguas inferiores, separa la Tierra de los mares. Así daba forma al Universo.

Hay algunas referencias a lo largo de la Biblia que redondean y nos dan una idea más clara de la forma del Universo. Por ejemplo, en Proverbios se dice que "[Dios] puso un círculo en la superficie de las aguas"³ o, en Isaías, que "...fue Él quien puso el círculo de la Tierra"⁴, y, por otro lado, que "Dios diseñó la Tierra sobre las aguas"⁵. En Samuel se dice que "La Tierra descansa en pilares"⁶. Con lo cual queda claro que la Tierra fue creada como un gran disco plano soportado por columnas y rodeado, por debajo, por aguas infinitas que se extendían en todas direcciones. "Bajo el abismo esta el Sheol"⁷, palabra hebrea que significaba "lugar hueco de descanso" que se tradujo al latín como "Inferus" y de ahí al español como "Infierno". El Sheol era pues, una cavidad bajo la Tierra a donde iban (todos) los muertos⁸.

¹ Gen.1.4

² Gen.1.6

³ Prov.VIII.27

⁴ Is.XI.22

⁵ Ps. CXXXVI.6

⁶ Sam.II.8

⁷ Job.X.21

⁸ Vendría mucho después la corrupción del Infierno convirtiéndose en lugar de castigo.

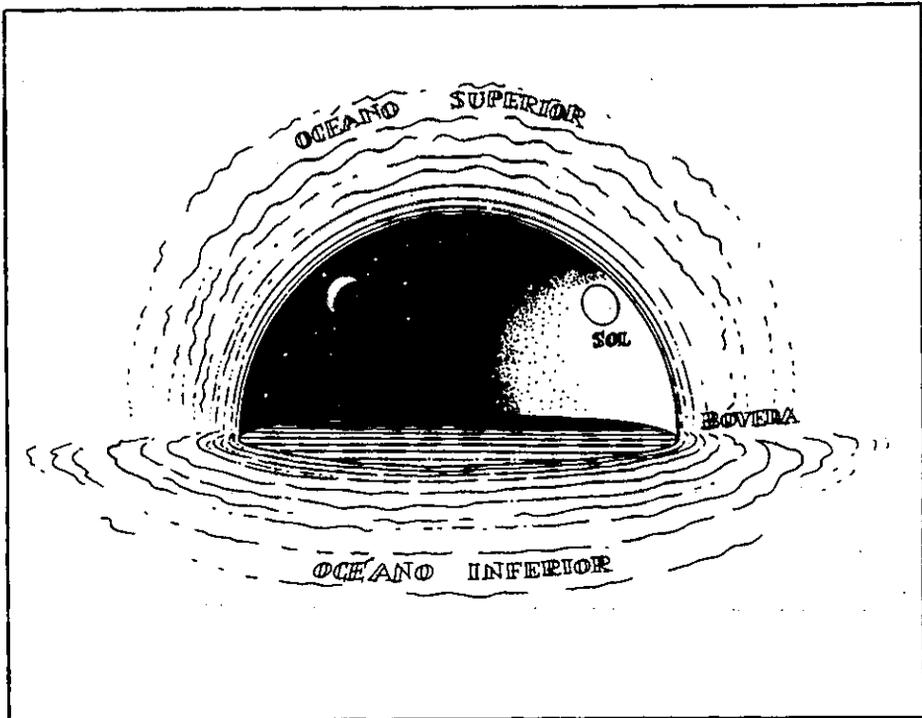


Fig. 1.4 Concepción hebrea del Universo.

“Sobre el cielo está el firmamento sólido, fuerte como un espejo”⁹, “...aguantando las aguas superiores”¹⁰.

Los hindúes, en los *Vedas*, sus libros sagrados, plantean el origen del Universo a partir de un estado primordial indefinible, el cual daría lugar a la creación, la evolución y la destrucción, es decir, en algún momento el tiempo del Universo terminaría y éste moriría para así repetir el ciclo sucesivamente.

Los *Vedas* datan de entre el 1500 y el 1000 a.C. y se dividen en tres: *Brahmana*, *Sutras* y *Sahmitas*. Este último se subdivide en otros

cuatro libros de los cuales el *Rig Veda* es uno de ellos. Allí todo se da del No-ser, de donde paradójicamente surge el Ser, al tomar conciencia de sí mismo. Este ser llamado el *Demiurgo Prajapati* crea el cielo y la tierra, separa la luz de las tinieblas y engendra al hombre, al igual que Jehová.

En otro relato se cuenta que *Vishnú* flotaba sobre *Ananta*, la serpiente infinita, y de su ombligo brotó una flor de loto de la que Brahma nacería para forjar el mundo.

Físicamente, el Universo para los hindúes se componía de una superposición de tres Mundos: El Cielo, la Tierra y el Aire. La Tierra era un disco plano en cuyo centro se hallaba el mítico

⁹Ezeq.XXVI.20

¹⁰Job.XXX.7

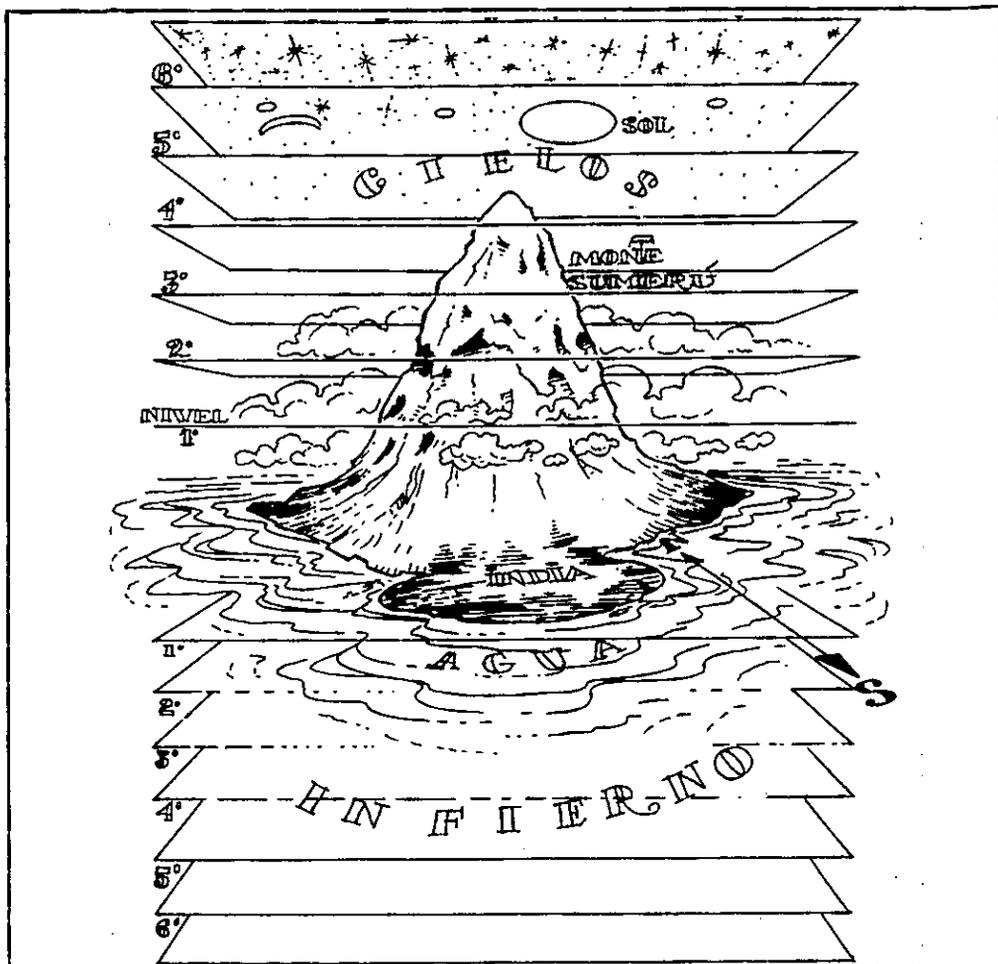


Fig. 1.5 Concepción hindú del Universo

monte *Sumerú*, quizás los actuales Himalayas, pues al sur de éste se hallaba, sobre un continente circular, la India, rodeada por el océano.

El Cielo, situado por encima de la Tierra, y el Infierno por debajo de ella, se subdividían ambos en siete niveles. El séptimo nivel celestial era la morada de Brahma.

Los chinos, por su parte, tenían también una idea muy particular del Universo, pero, como basaban su astronomía en cálculos algebraicos, en un principio les resultaba difícil inferir una imagen de éste. Lo que sí debe mencionarse es que no asociaban al Universo ni a los cuerpos celestes con ninguna deidad, y todas y cada una de las partes del Universo eran igual de importantes, no existiendo, por tanto, lugares preferenciales.

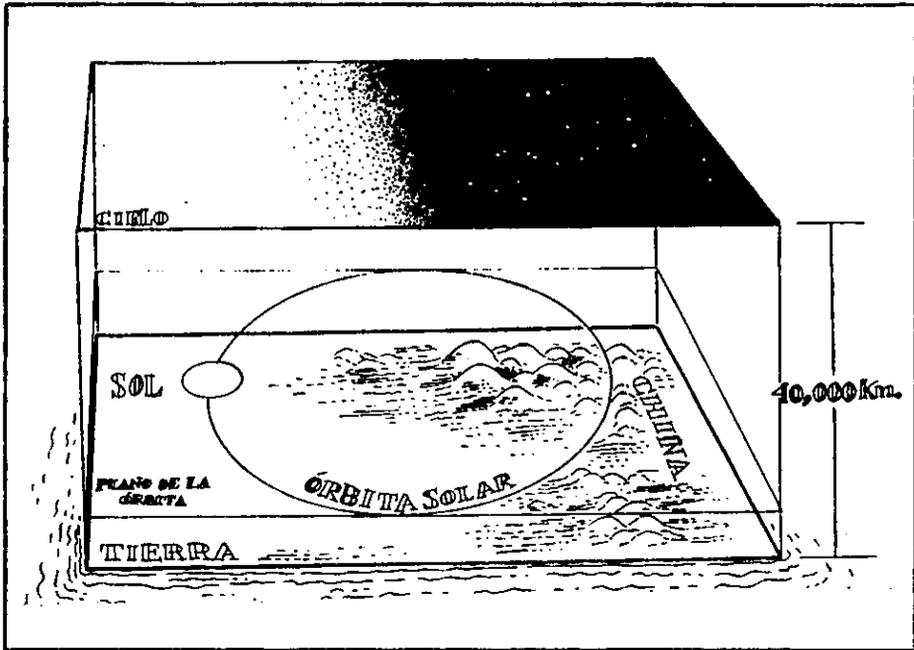


Fig. 1.6 Concepción china del Universo

En el periodo Han hubo tres sistemas dominantes de lo que se creía era el Mundo.

El más antiguo de los tres llamado Ka Thien o Kai-t'ien (traducido como "cielo como cubierto") se describe en el libro Chou pi suan ching del siglo VI a.C. Según esta teoría, el cielo era una media esfera algo irregular que estaba aplanada en su parte superior y era más alta en su lado sur y más baja en su lado norte sostenida por el aire atrapado entre ésta y la Tierra, que era un plano rectangular muy poco alargado y rodeado por agua en la que los bordes de la media esfera quedaban sumergidos. Se hacía una analogía diciendo que Tierra y cielo resultaban como una escudilla sobre un tablero de ajedrez.

Prácticamente la teoría define al Universo como dos planos paralelos, el cielo y la Tierra respectivamente, separados por una distancia que ellos calcularon de alguna forma como 80,000 *Li*, siendo cada *Li* aproximadamente medio kilómetro. El cielo estaría, por tanto, separado de la Tierra unos 40,000 kilómetros, más o menos siete veces el radio promedio de la Tierra. Lo interesante es que este valor casi concuerda con su circunferencia ecuatorial (cerca de 45mil km.).

El Sol, la Luna y los planetas rotaban con los cielos y poseían también movimientos propios. El Sol se movía más abajo del plano del cielo en una órbita circular, que aparentemente era tan grande que abarcaba todo el plano celeste.

Cuando éste se hallaba sobre China era de día, de lo contrario era de noche. Esta nos induce a pensar que para ellos, China estaba en uno de los extremos del mundo y no en el centro.

La distancia que los Chinos dan entre la Tierra y el Sol es 1250 *Li* que son unos 625 km. y aunque tal valor no es ni un cienmilésima del real, parece ser el primer cálculo concreto de esta distancia.

En una nueva versión del *Kai T'ien* se define al Cielo y a la Tierra como dos semiesferas concéntricas y no como dos planos; se calcula entonces el radio de la semiesfera terrestre como 60,000 *Li* ó 30,000 km. (unas 4.7 veces el valor real).

Parece ser que el fin de esta teoría era obtener un método para localizar o calcular geoméricamente la posición de un lugar sobre la tierra con respecto al Sol, y como ciertamente en la práctica era demasiado complicada, quedó en desuso.

La segunda teoría sustituyó a la primera a finales del periodo Han, en el siglo II a.C., y se denominó la teoría de la "esfera celeste" de Han Thien. Estaba asociada a los seguidores de Confucio y se consideraba oficial.

Según tal teoría, el cielo era un esferoide de aproximadamente 2 millones de *Li* de diámetro alargado 1000 *Li* más de norte a sur que de este a oeste. Se comparaba con un huevo cuya yema era la Tierra descansando en el agua; la cáscara eran los cielos que se mantenían por los vapores o el aire atrapado.

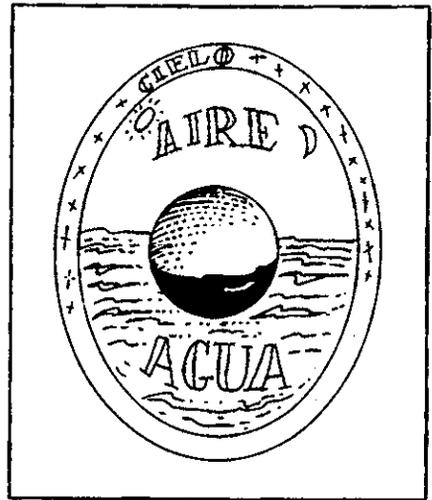


Fig.1.7 La Esfera Celeste (China)

La tercera teoría se denomina Teoría de Hsaan Yeh o "del espacio infinito vacío" se asocia con los taoistas y pertenece también al periodo Han. Esta teoría plantea que el Universo no tiene sustancia ni forma exceptuando sólo a la Tierra. Se tomaba al Universo infinito y a los planetas y objetos celestes como cuerpos independientes, que flotaban en el espacio propulsados por los "fuertes vientos".

Independientemente de las culturas anteriores, del otro lado del mundo, en el sur de México, Guatemala y Honduras, los Mayas desarrollaron una cosmología y cosmogonía particulares, influenciados básicamente por los Toltecas e influenciando fuertemente a sus contemporáneos.

Aunque convencionalmente el calendario maya comienza a contar a partir del año 3113 a.C., por los periodos de tiempo que ellos calculan en el pasado, parece ser que concebían al Universo tan

personificado por la fantástica serpiente emplumada con patas de lagarto que habitaba el nivel más alto de la pirámide celeste.

En contraposición, el Inframundo, también se estratificaba en varios planos como una pirámide escalonada pero invertida (con base en la Tierra, de hecho, ambas bases coincidían) de nueve niveles, que servían de morada a los dioses de la muerte. El nivel más bajo (el noveno), llamado *Xibalbá* estaba habitado por el rey del inframundo: *Ah Punc*, el descarnado.

La Tierra, un gran plano rectangular, era *Itzam cab ain*, el increíble lagarto, en cuyo lomo se daba la vida y habitaban los hombres, las plantas y los animales; incluyendo las dos bestias divinas: La serpiente y el jaguar. La primera, la encarnación del agua, el cielo y la tierra, símbolo además de la fuerza fecunda y engendradora de vida, y el segundo, símbolo de la fuerza irracional, la destrucción y la naturaleza salvaje y quien representaba al cielo nocturno y al Sol.

Cada uno de los sectores de la Tierra, del Cielo y del Inframundo estaba asociado con un árbol (ceiba) y un pájaro divino. En el centro del plano terrestre se hallaba la Ceiba Madre, plantada como un eje universal.

El Sol circundaba la Tierra transversalmente, rodeándola por encima y por debajo. El plano de su órbita parecía tener un giro propio con respecto al eje universal de tal forma que en los solsticios coincidía con las esquinas de la Tierra. En uno de los solsticios, el Sol salía por una de las esquinas y se ocultaba por la opuesta y seis meses después, en el siguiente solsticio, la órbita se había recorrido coincidiendo con las otras dos esquinas del rectángulo. Debido a todo lo

anterior, los Mayas orientaban sus templos haciendo que sus lados coincidiesen con los de la Tierra.

A pesar de ser una cultura que estaba totalmente aparte, los Mayas tienen ciertos puntos de coincidencia con el génesis babilónico, sobre todo en la idea del origen a partir del agua. Quizás esta idea se remonte más allá de las primeras migraciones del hombre a América.

Los Nahuas, en el centro de México, mantenían la misma idea cosmológica del Universo, pero le asociaban cierta variación a los orígenes. Se creía que para el Universo existía una ley cíclica de muerte y renacimiento que se basaba en la lucha de los opuestos, encarnados éstos, por las máximas deidades. Así, el Mundo en el que habitamos era resultado de cuatro renovaciones anteriores que habían culminado con la destrucción de algún Sol, acompañada de la creación de alguna especie de animal. Los opuestos eran Quetzalcóatl y Tezcatlipoca, el Espejo humeante. En la primera era, de 676 años, Quetzalcóatl se proclamó Sol (Sol de Tierra) y la Tierra era habitada por gigantes, primer ensayo que los dioses hacían por lograr al hombre ideal que los adoraría. Tezcatlipoca, en forma de ocelote, devoraría al Sol y se autoproclamaría Sol (Sol-viento) que reinaría también por 676 años. Cuando Quetzalcóatl arrasa a este segundo Sol con fuertes vientos, comienza la tercera era, la del Sol-fuego, dominio nuevamente de Quetzalcóatl por 364 años. La cuarta y penúltima era es la del Sol-agua personificado por Chalchitlicue, la de las faldas de jade; esta era dominada por Tezcatlipoca, duró 312 años. La era actual está

dominada por Quetzalcóatl y terminará cuando Tezcatlipoca se robe al Sol, habrá entonces terremotos y hambre. La historia del Mundo, según este relato, se reducía a poco más de tres mil años.

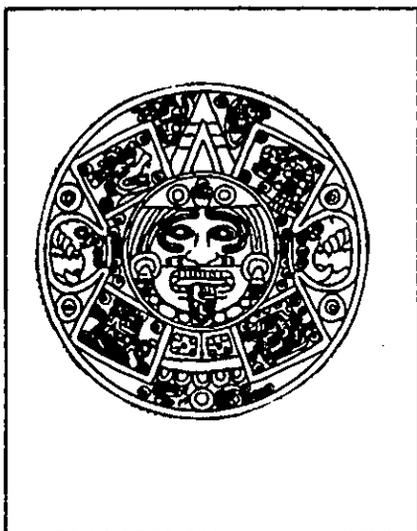


Fig. 1.9 Representación azteca de las 5 Eras del Universo.

En Asia Menor, durante el período llamado Helénico (900-700 a.C.), surge la que hoy conocemos como civilización griega. Las ciudades jónicas se convierten en importantes centros de comercio de esa región, en contacto con las más antiguas civilizaciones, entre ellas Babilonia y Egipto. No es entonces ninguna sorpresa la influencia cultural que ambas ejercieron sobre las primeras ciudades griegas.

Los primeros griegos tenían ideas cosmológicas tan primitivas como las de sus antecesores y no es sino hasta más allá del siglo VII a.C. que la naturaleza es tomada como objeto de especulación "científica" y se da el salto

hacia concepciones e ideas más avanzadas del mundo en general.

Hasta entonces, el caos prevalece como el origen de todo, como lo plantean Homero y Hesiodo en sus obras. La *Iliada* y la *Odisea* datan del siglo VIII o IX a.C., son atribuidas a Homero aunque algunos eruditos argumentan que Homero nunca existió y que ambas son obras de varios poetas anónimos de la época. De cualquier forma son, junto con los libros de Hesiodo, principalmente su *Teogonia*, una fuente muy importante de datos e ideas de dicho período.

Los textos nos cuentan que todo era mar y todo y tal sustancia contenía la esencia de todas las cosas en un estado de máximo desorden, al que llamaban Caos.

El dios Caos existía por sí y en sí mismo hasta que nació la conciencia; fue entonces que *Gea*, la tierra, se separó del caos, lo mismo que *Urano*, el Cielo. Ambos yacían uno encima de la otra pero separados hasta que nació *Eros*, el amor, que como un imán los unió y el caos se convirtió en cosmos u orden. Platón explica esta misma idea griega en su diálogo *Gorgias* o *de la Retórica* diciendo:

"...un lazo común une al cielo con la tierra, a los dioses con los hombres, por medio de la amistad, de la moderación, de la templanza y de la justicia; y por esta razón, querido mío, dan a este Universo el nombre de *orden* y no el de *desorden* o *licencia*."¹¹

Urano y *Gea*, gracias al amor, engendraron a los primeros habitantes de la Tierra: Los titanes y las titánides. Estos doce seres monstruosos, de

¹¹ Platón, *Diálogos*, Ed. Porrúa, México (1973), p.190.

gran poder y salvajismo, se encargaron de moldear la Tierra; extendieron los mares, levantaron montañas y a su vez engendraron a una pléyade de seres fabulosos.

Cronos, el menor de los titanes pero el más cruel, destronó a su padre *Urano* haciéndolo pedazos con una hoz, pero fue a su vez destronado por *Zeus* (hijo de él y *Rea*). *Zeus*, triunfante, divide el Cosmos entre él y sus dos hermanos. El *Olimpo*, en el Cielo, lo reserva para él. *Poseidón* reinaría los mares y *Hades* el Tártaro o Inframundo (entendido como el mismo *Sheol*).

La Tierra, según se ve en la *Iliada* y la *Odisea*, es un gran disco plano rodeado por el poderoso río *Okeanos*, del que emergió la Tierra, que fluye desde los pilares de *Herakles* al oeste hacia los demás puntos cardinales. La Tierra no está totalmente seca, la cubren parcialmente las aguas. La geografía griega de este período tiene un poco más de detalle comparada con la de las otras culturas, independientemente de sus aspectos mitológicos.

Grecia es ubicada, obviamente, en el centro. Al norte se halla el lago del Sol que en realidad es el golfo conocido ahora como el mar Caspio; al sur Egipto, Libia y más allá, en los límites, la tierra de los pigmeos. Al suroeste, también en los límites, tal vez como una península o una isla, la tierra de los cimerianos, al lado del *Erebus* la región de los muertos. Ambas zonas estaban cubiertas por una espesa niebla que las ocultaba eternamente del Sol. En otros pasajes de la *Odisea* se menciona al *Erebus* en un nivel subterráneo sobre el Tártaro. Tal inframundo, morada de *Hades*, se hallaba a igual distancia de

la Tierra que el cielo de ésta¹². Otra de las regiones que se menciona en los confines del mundo es el *Elisium*, casa de los benditos, identificada más tarde con las islas Canarias.

Sobre la Tierra estaba la región del éter, en ella se hallaban las estrellas fijas, las estrellas errantes, el Sol y la luna. La bóveda celeste lo contenía todo.

Las ideas de Hesiodo, poeta contemporáneo de Homero, son muy similares y tienen como en Homero una base mitológica. De hecho su Teogonía es en realidad una genealogía de los dioses. Se repite el origen a partir del caos acuoso, la Tierra plana, circular con el *Hades*, o Tártaro, por debajo equidistante con el cielo de la Tierra. Inferimos físicamente un Universo esférico dividido en su ecuador por la Tierra. En su interior, por arriba, el Cielo, en los límites, el éter con los cuerpos celestes. Por debajo, también en los límites, la región de los muertos (el Tártaro) y entre ésta y la Tierra, el Caos, la cárcel de los titanes; posiblemente Hesiodo se refiere a una región acuosa. El Hemisferio inferior se halla sumergido en el *Okeanos*.

Este sistema particularmente parece ser el sistema cosmológico en el que los primeros filósofos griegos (los presocráticos) como Tales, Anaximandro y Anaxímenes, se basaron para desarrollar sus propias ideas ya sin tomar en cuenta (aparentemente) el aspecto mitológico o al menos con una concepción teológica más elaborada.

¹²cfr. Homero, *La Iliada*, Cap.VIII.16, ed. Porrúa, México (1976).

II. LAS IDEAS COSMOLÓGICAS DE LOS PRIMEROS FILÓSOFOS GRIEGOS

Para el 700 a.C., en el Asia Menor, culmina el llamado "Periodo Homérico", con la aparición de los primeros filósofos y las primeras escuelas filosóficas conocidas, genéricamente, como escuelas del periodo presocrático.

Es en la ciudad jónica de Mileto donde nace la filosofía griega con Tales. Ésta primera escuela filosófica no poseía ideas muy avanzadas sobre el Mundo, de hecho, en algunos casos, estas ideas cosmológicas eran bastante primitivas debido a que aún prevalecía una fuerte influencia egipcia y babilónica.

Los filósofos de Jonia no avanzaron mucho en busca de una idea más racional del Universo. La Tierra, por ejemplo, seguía siendo plana, el cielo abovedado e incrustado de estrellas y los demás cuerpos celestes tenían todavía movimientos y naturalezas poco comprensibles.

La verdadera aportación jónica es su postura ante la naturaleza, de la cual deslindan a todas las deidades conocidas del periodo homérico, a quienes reservan para cuestiones más espirituales y subjetivas y especulan más libre y objetivamente sobre los fenómenos naturales y los elementos del Cosmos.

El primer filósofo, no sólo jonio, sino griego, fue Tales de Mileto, quien vivió

aproximadamente 78 años, más o menos del 625 al 545 a. C.; viajó extensamente como comerciante y fundó la escuela jónica.

Aunque Tales no escribió nada, sabemos de sus doctrinas, por las referencias y análisis que de ellas hicieron gentes como Anaximandro y Aristóteles.



Fig. II.1 El Mundo según Tales de Mileto.

Se cree que Tales aprendió geometría en Egipto y astronomía en Mesopotamia, pero el verdadero prestigio y fama como erudito lo logró con la supuesta predicción de un eclipse, cerca del año 585 a.C. Al menos se tiene la idea de que predijo el año en que tal evento sucedería, tal vez con los conocimientos adquiridos de los egipcios (y que ellos a su vez tomaron de los caldeos); debido a esto, se volvió, en la época, una moda atribuirle descubrimientos e ideas aún posteriores a él.

Influenciado por las ideas creacionistas del Periodo Homérico, Tales considera al agua el principio y causa materiales de todo, incluyendo a los seres humanos.

El agua, como base y origen de todo, se extendía infinitamente en torno y por debajo de

la Tierra plana que flotaba sobre ella apaciblemente, excepto cuando estas aguas se agitaban violentamente, provocando que temblara. Por encima de la Tierra, Tales consideraba que el cielo estaba limitado superiormente por la bóveda celeste en la cual las estrellas fijas, de naturaleza ígnea, se movían de noche conjuntamente. No se menciona nada de la trayectoria de éstas durante el día, pero seguramente, debido a la posición de las aguas, pasaban sólo por detrás de la Tierra y no por debajo de ellas.

A pesar de esta visión primitiva del Mundo, en la *Doxografía*, contrariamente a lo anterior, se dice que Tales sabía que un eclipse solar era causado por la interposición de la Luna entre la Tierra y el Sol, que la Luna no emite luz propia y que es eclipsada al pasar por la sombra de la Tierra, además se dice que enseñaba que el Sol y la Luna eran cuerpos del tipo de la Tierra y que ésta era una esfera. Es claro que no se puede llegar a tales conclusiones suponiendo a la Tierra un disco plano, por lo tanto, se deben tomar tales afirmaciones con cuidado, aunque por otro lado cabe la posibilidad de que Tales tomase a la Tierra como una esfera, si consideraba verdadera la imagen del Mundo que Homero y Hesíodo manejaban en sus obras, doscientos años antes.

El sucesor de Tales y segundo filósofo jonio fue Anaximandro (611-545 a.C.) también de Mileto. Anaximandro poseía una filosofía un tanto más racionalista. Nos habla de una matriz indefinida e indefinible a la que él llama "lo ilimitado" o "lo infinito". En esta "materia" original sin propiedades determinadas, "más

densa que el fuego, pero más sutil que el aire"¹³, coexistían los posibles opuestos en un todo. Cuando estos opuestos fueron separados, todas las cosas se desarrollarían a partir de tal materia, pero a la larga tenderían nuevamente a ella, es decir, si un mundo evolucionaba de ella, en algún momento volvería a ser materia abstracta otra vez. Según dicha concepción, una infinidad de mundos se habían generado y luego "destruido" cíclicamente.



Fig. II.2 El Mundo según Anaximandro de Mileto.

Específicamente, la creación se había dado cuando la materia o sustancia original se estratificó en los cuatro elementos que él consideraba primordiales: tierra, agua, aire y fuego (en ese orden).

Anaximandro explicaba que el fuego evaporó el agua produciendo tierra; el agua al evaporarse

¹³ Aristóteles, *Metafísica*, Ed. Porrúa, México (1973), p.18.

se elevó formando tubos circulares cerrados de humedad a manera de anillos concéntricos que encerraron al fuego. Dichos anillos, por ser de vapor, eran invisibles, pero tenían agujeros en sus cuerpos a modo de ventanas, que permitían que el fuego interior se viera desde la Tierra. El Sol, la Luna y los planetas no eran más que los huecos que, desde la Tierra, se veían como discos luminosos. El anillo más lejano y grande era el Solar cuyo diámetro era 27 veces el diámetro de la Tierra. El anillo Lunar era sólo 18 veces más grande que el terrestre. Los planetas estaban aún más cerca, pero no tanto como las estrellas que eran lo más cercano. Anaximandro decía que estos anillos o huecos tenían movimientos propios pero sólo da una vaga explicación al respecto.

La Tierra era concebida como un cilindro, a veces más ancho que alto, que descansaba, en equilibrio, en el centro del Universo, pues sus tendencias para "caer" hacia cualquier lado eran iguales y, por la cual, no requería de apoyo. Los anillos circundaban al cilindro central de igual forma que en la corteza de un árbol y el conjunto era rodeado por los cielos que eran una concha esférica que lo contenía todo.

El hombre y demás seres vivos eran producto de la humedad, de hecho, Anaximandro suponía algo parecido a la teoría de la evolución de Darwin; decía que los organismos superiores se habían desarrollado de los inferiores y se desprendía de tal teoría que el hombre, en sus orígenes, era como un pez.

Para Anaximandro, los procesos naturales del Universo se daban como en los procesos culinarios, donde el fuego era el agente activo; se

regían así, por un principio guía de justicia o necesidad. Tal principio se aplicaba a la naturaleza como las leyes en la sociedad humana. En invierno, por ejemplo, el frío pecaba contra el calor; el primero, a modo de penitencia, debía retribuir posteriormente al segundo en el verano. Anaximandro no profundizaba mucho en esto pues, según él, las cosas ocurrían porque debían ocurrir.



Fig. II.3 El Mundo según Anaximenes de Mileto

El tercer filósofo jonio, Anaximenes de Mileto (m480 a.C.), quien vivió a mediados, o en la segunda mitad del siglo sexto antes de Cristo, no va más allá que sus predecesores en su búsqueda de una concepción más real del Cosmos, a pesar de sus "innovaciones".

Anaximenes postula al aire como la causa original y primigenia de todas las cosas; según Aristóteles, Anaximenes decía: "Así como

nuestra alma, que es aire, nos sostiene, el soplo, y el aire circunda el mundo entero"¹⁴.

El mecanismo era la compresión o la rarefacción. Toda la materia era bruma y entre un objeto y otro no había diferencias cualitativas, sólo cuantitativas, de forma que, la diferencia esencial era el grado de rarefacción o condensación entre ellos.

Según lo anterior, la Tierra se formó de una gran porción de aire que se condensó, quedando ésta como un gran disco plano (como una gran mesa) sustentado en el centro del Universo gracias a la resistencia que su forma presentaba al aire. Platón refiere esta idea, con la que no estaba de acuerdo, en su diálogo *Fedón o del alma*:

"...Otros conciben [a la Tierra] como una ancha antera que tiene por base el aire; pero no se cuidan de investigar el poder que la ha colocado del modo necesario para que fuera lo mejor posible; no creen en la existencia de ningún poder divino, sino que se imaginan haber encontrado un Atlas más fuerte, más inmortal y más capaz de sostener todas las cosas; y a este bien, que es el único capaz de ligar y abrazarlo todo, lo tienen por una vana idea."¹⁵

Los límites del Universo eran una gran bóveda hemisférica, cristalina y sólida, en cuya superficie interior las estrellas fijas se encajaban como uñas. Algo interesante de este sistema es el giro que la bóveda realizaba en torno a la Tierra (específicamente "como un sombrero en una

cabeza"¹⁶). Tal movimiento había "arrancado" partes a la Tierra que formarían los planetas (incluidos la Luna y el Sol), cada uno de estos de igual forma que la Tierra, pero de dimensiones mucho más pequeñas.

En realidad, la Tierra, según Anaxímenes, no era tan plana, pues en su parte norte estaba más elevada. Al girar los planetas, lo hacían de tal forma, que cuando pasaban por esa parte más alta, no se veían.

Anaxímenes afirmaba que el calor emitido por el Sol se debía a la velocidad de su "movimiento de traslación" y que las estrellas, por lo mismo, emitían también calor que no se percibía por su gran lejanía. Entre las estrellas, menciona que se hallaban más cuerpos como la Tierra. Algunos autores le atribuyen a Anaxímenes el conocimiento de la naturaleza de los eclipses y del hecho de que la Luna "pide prestada" luz al Sol, pero tales afirmaciones no son muy confiables.

Nacido en Colofón y muerto en Elea, Xenófanes (sVI a.C.) es el poeta filósofo (más poeta que filósofo) que vivió casi noventa y dos años y a quien algunos autores le atribuyen la fundación de la escuela "eleática" que se desarrolló al sur de Italia (en Elea claro), paralelamente a la escuela de los pitagóricos de quienes hablaremos más adelante.

¹⁴ Aristóteles, op. cit., Cap. XVIII.

¹⁵ Platón, op. cit., p. 418.

¹⁶ Dreyer, J. L. E., *History of Astronomy from Thales to Kepler*, Dover, London (1960). p. 16.



Fig. II.4 El Mundo según Xenófanes de Elea.

Xenófanes (o Jenófanes) estaba en contra del politeísmo y enseñaba que Dios es único, un espíritu universal. Esta idea, por sí sola era original y "elevada" para una cultura netamente politeísta, pero el punto trascendental era que tal Dios único tenía forma esférica (cuyo movimiento lógico era el círculo), lo cual le daría a la esfera el lugar definitivo como forma privilegiada y asociada indisolublemente con lo divino en el sentido más amplio. El modelo cosmológico que plantea este filósofo es muy simplista. La Tierra es plana y sin límites "con raíces en el infinito"¹⁷, es decir, se prolongaba hacia abajo infinitamente. El complemento de esa Tierra era el aire que se hallaba por encima y

que también se prolongaba infinitamente rellenando el resto del Universo.

Todos los cuerpos celestes se movían, según Xenófanes, con trayectorias rectilíneas, pero debido a que se hallaban a grandes distancias de la Tierra, daba la impresión, al observador, que se movían de forma circular. En general, los cuerpos celestes, estaban constituidos por exhalaciones húmedas que debido a su propio movimiento se encendían; eran pues, nubes de fuego que se creaban y disipaban continuamente. Según esto, las estrellas ("fijas") se extinguían cada mañana, y nuevas estrellas se formaban la noche siguiente. La Luna, por su parte, también era una nube brillante (comprimida) que se extinguía mensualmente.

El Sol, en particular, estaba formado por pequeñas partículas de fuego que se aglomeraban, pero al igual que la Luna, no era el único, existían muchos otros soles y lunas que podían ser observados, cada uno, desde distintos puntos de la Tierra, o sea, que desde diferentes lugares de ésta no se veía el mismo Sol sino uno particular a la región; claro que, si esto fuera así, tales soles tendrían que hallarse muy cerca de la Tierra, muy lejos entre sí, y ser bastante pequeños, pues, de otro modo, se verían, simultáneamente, dos o más soles en el cielo.

Parece ser que la renovación era un elemento fundamental en las ideas de Xenófanes. No sólo los cuerpos celestes se generaban cíclicamente sino que parecía ser que él tenía la idea de que eventualmente el océano inundaría la Tierra, convirtiéndolo todo en un lodo que sería la materia prima de un universo nuevo, también con una nueva raza humana. Tal teoría la

¹⁷ Aristóteles, *Del cielo*, Enciclopedia Británica, Great Books of the Western World Vol. 9, University of Chicago (1952), II.13, p.294a.

sustentaba en los hallazgos de conchas marinas encontradas en "lugares secos" lejanos al mar, como Siracusa, lo cual, lo llevaba a la conclusión de que tal evento había ya sucedido en el pasado.

Algunos autores dicen que el verdadero fundador de la escuela eleática es Parménides de Elea (¿540-450 a.C.?) quien vivió durante la primera mitad del siglo quinto antes de Cristo. Tal vez la confusión radique en la fuerte influencia que Xenófanes ejerció sobre Parménides, aún cuando éste último se unió a los pitagóricos.

Parménides, como Xenófanes, plantea el origen de todo de una forma muy abstracta, nos habla de dos entes a los que bautiza como "ser" y "no-ser". El primero simboliza lo existente y el segundo lo no-existente. Ambos entes los equipara con los dos elementos que consideraba básicos: El fuego y la tierra respectivamente.

El sentido de tal comparación era el siguiente: "Lo existente" o "el Ser" era lo perfecto como la masa de una esfera, todo equidistante con su centro, el fuego era pues, el elemento perfecto por su apariencia brillante y su composición ligera y sutil; por el contrario "lo no existente" (o "el No-Ser") era imperfecto como la tierra, densa, oscura y pesada como la noche. También existe una referencia, en la *Metafísica* de Aristóteles, en donde se compara al "Ser" con el Universo mismo, expresando, tal vez, de forma aún más clara, la visión de Parménides: "El Universo, es decir, "el Ser", no puede nacer ni perecer, es más, no puede ni siquiera moverse y devenir".

Parecían ser éstas las directrices que llevaron a Parménides más allá de Xenófanes, su visión

sería más aguda, prueba de esto es su concepción esférica de la Tierra, idea que trascendió en los pitagóricos.

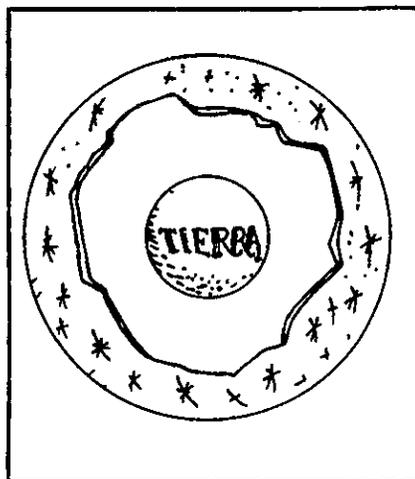


Fig. II.5 El Universo según Parménides de Elea.

Parménides pensaba que siendo la Tierra esférica, su entorno debería tener también la misma forma; es entonces que ordena el cosmos a modo de esferas concéntricas. A la más externa le llama "el Olimpo", ésta era sólida y se hallaba allí "anclada por necesidad" como límite para todo. Inmediatamente a esta esfera se hallaba otra más, constituida por elementos más "sutiles", tal vez ligeros. De aquí para abajo se hallaba todo lo demás, incluyendo, en el centro, a la esfera terrestre, que permanecía inmóvil debido a que sus tendencias hacia cualquier lado eran las mismas.

Algo curioso, al menos a nuestro modo de ver, es el hecho de que Parménides considera al centro de la Tierra el hogar de la divinidad, aquella "Quien" engendró a Eros "el principal de los dioses". Recordemos que en la mitología

griega original es gracias a él que Urano y Gea se unen dando origen a todo; quizá entonces de aquí provega tal idea.

Un poco más allá de la Tierra, de hecho más cerca que cualquier "planeta", Parménides coloca una zona de naturaleza ígnea, algo así como una esfera virtual de fuego, donde se hallaban las estrellas fijas. Como Anaximandro, Parménides comete el "error" de considerarlas lo más cercano a nosotros.

Más allá de esta zona, coloca al Sol y la Luna, los que supone formados de materia proveniente de la Vía Láctea. El primero de materia ligera y caliente, la segunda de oscura y fría. De aquí concluye que el brillo de la Luna se debe a que "toma prestada luz del Sol", pues su brillo está orientado hacia él.

El principio de retribución fue usado generosamente por los filósofos presocráticos así como por Anaximandro. Heráclito de Efeso (550-475 a.C.) afirmaba que este principio, el de los pecados y las penitencias, gobernaba el movimiento de los cuerpos celestes y los procesos naturales en general.

También para Heráclito, el fuego era el elemento que dió origen a todo y el agente activo en los procesos naturales; la llama, por sí misma, era el flujo de cambio en el Universo. El fuego era entonces la imagen de todo. Todo nacía de él y todo, eventualmente, se convertiría en fuego en una dinámica e incesante renovación como proceso natural del Universo.

En este sentido, el Mundo cumplía su ciclo renovador cada 10,800 años. A tal período le llamaba Heráclito "Annus Magnus". Este número lo obtenía suponiendo que este año

maestro constaba de 360 días magnos; cada día de estos equivalía a treinta años de los nuestros o una generación.

El fuego, como elemento original, se volvió agua y de ésta se formó la Tierra sólida. Para Heráclito no hay duda que la Tierra es plana (aunque no lo menciona explícitamente). La Tierra produce exhalaciones húmedas que tienden a subir, en el cielo se encienden y son atrapadas por cavidades que se hallan a distintas alturas. Heráclito se refiere a estas cavidades como "tazones" o "barcas". El Sol, la Luna y las estrellas así se producían.

Desde el este, por las mañanas, el Sol se movía hacia el oeste y al llegar se extinguía; cada día, un nuevo Sol surcaba los cielos. La Luna y las estrellas eran un caso similar. La diferencia que se observaba en sus brillos se debía a que el Sol se movía en un aire más puro y ligero, tal vez más arriba, mientras que la Luna lo hacía en un aire más denso. Las estrellas se hallaban tan lejos que se veían muy débiles.

Heráclito consideraba que el Sol no era más grande que un pie humano; explicaba las fases de la Luna y los eclipses diciendo que, algunas veces, los tazones no se veían de frente sino de lado o por detrás. Las exhalaciones no sólo daban origen a los cuerpos celestes; el día, la noche y las estaciones del año dependían de qué tan oscuras, brillantes, frías o calientes eran éstas.

La introducción del concepto "átomo" genera una de las teorías más importantes de dicho período. Leucipo de Mileto, padre de la teoría atomista, vivió a mediados del siglo quinto antes de Cristo cerca del 440. Fue maestro de

Demócrito a quien se le recuerda más, pues superó a su maestro, pero las teorías de ambos van de la mano.

La teoría nos dice que los átomos son cuerpos extremadamente pequeños, finos e indestructibles y por lo tanto indivisibles; sin principio ni fin, que se mueven en un vacío infinito y también eterno, teoría que por cierto se contraponen con la escuela eleática.

La materia se constituía de un número infinito de estos cuerpos. Si los átomos se unían generaban materia, si se separaban la "destruían". Los átomos existían de varios tamaños y su peso era proporcional a él, pero todos, indistintamente, tenían una tendencia intrínseca a "caer". En su caída, los más grandes golpeaban a los más pequeños haciendo que pareciese que éstos últimos tendían a subir. En general, los átomos se mantenían chocando constantemente entre sí, de tal suerte, que tales choques, en un principio, crearon un vórtice que jalaba a los más pesados hacia el centro. La Tierra se había creado entonces de tales condiciones.

En su primera etapa, los átomos generaron una membrana esférica de átomos diversos y dentro, el vórtice concentró todos los átomos pesados de tipo "terráqueo" en el centro. La Tierra se fue creando poco a poco a medida que ganaba masa. Cuando aún era ligera, podía moverse libremente en la parte central, pero una vez que ganó suficiente peso, quedó anclada en el centro. Parte de la materia de la membrana se aglomero en compuestos "húmedos" que eventualmente se secaron y más tarde se encendieron formando las estrellas. La materia más ligera de la Tierra fue

capturada en los huecos de ésta, a manera de agua.

La Tierra era comparada por Leucipo con un tímpano o tambor, plana en el centro y elevada en su circunferencia. Se hallaba equidistante, con los polos de la esfera celeste separando ambos hemisferios. El hemisferio bajo estaba relleno de aire comprimido al que la Tierra servía como tapa. La Tierra tenía una inclinación hacia el sur, pues de ese lado era más pesada, debido a la gran cantidad de vegetación que allí se hallaba.

En el Universo existían gran cantidad de mundos como el nuestro, algunos con varios soles o lunas, y los cuerpos celestes, como átomos, estaban sujetos a un movimiento caótico, lo que hacía que en cualquier momento pudiesen chocar y destruirse. Sin embargo, y no como un consuelo para la Tierra y sus habitantes, los mundos, así como se destruían, se generaban continuamente.

Leucipo considera la órbita del Sol la más lejana y la de la Luna la más cercana; entre ellos se hallaban los demás planetas. Al estar el Sol más lejos, su órbita era mayor y esto implicaba que sería eclipsado, en principio, menos veces que la Luna, o con menor frecuencia en general.

Muchas de las teorías de Leucipo son también del atomista Demócrito de Abdera que vivió en la última mitad del siglo quinto antes de Cristo. Demócrito consideraba la creación del Mundo igual que Leucipo y le asocia también el mismo mecanismo, pero con ciertas variaciones propias.

La Tierra era el centro de su propio Mundo y los cuerpos más cercanos a ella eran la Luna y las estrellas de la mañana, más allá se hallaban

los demás planetas, el Sol y las estrellas fijas. Ambos, el Sol y la Luna, eran masas sólidas, pero más pequeñas que la Tierra. Particularmente, el primero era una bola de hierro y piedra encendida, pero los dos, en algún momento de su historia, habían sido otras dos Tierras, además de centros de sus propios Mundos, pero, debido a que se acercaron demasiado a nuestra Tierra, fueron absorbidos. Parece ser éste un caso particular, pues Demócrito nos dice que en general cuando dos planetas se acercaban mucho entre sí, se producían los cometas.

Observando las marcas sobre la superficie de la Luna, Demócrito argumentaba que no se trataba más que de la sombra de valles y montañas; por otro lado, afirmaba que la Vía Láctea era un conjunto de estrellas débiles.

Las teorías de Demócrito trascendieron entre sus discípulos como Metrodoro de Quíos quien también vivió durante la segunda mitad del siglo quinto antes de Cristo. Sus ideas son casi las mismas de su maestro, aunque algunas le fueron inspiradas por los jonios, como Anaximandro. Como él, Metrodoro también consideraba a los planetas y a las estrellas fijas lo más cercano a nosotros. Suponía que tenían luz propia aunque afirmaba, también, que eran iluminados por el Sol. Éste, junto con la Luna, era lo más lejano a la Tierra. El Sol era un depósito de aire y la Tierra un depósito de agua. Debido a esta composición, la Tierra era más pesada y se hallaba abajo, mientras que el Sol quedaba arriba. El día y la noche se debían supuestamente a que el aire, que se elevaba, se condensaba y ya como agua apagaba al Sol; al secarse, el agua se

convertía en estrellas. Metrodoro nos dice que si esto llegaba a suceder durante el día, se produciría un eclipse.

El atomista Empédocles de Agrigento (en Sicilia), quien vivió, más o menos, del 500 al 430 antes de Cristo (aunque más bien pitagórico), tenía ideas muy parecidas a las de Heráclito y conjuntó las filosofías de las tres primeras escuelas griegas.

Empédocles, como Anaximandro, nos habla de cuatro elementos básicos e inmutables: el fuego, el aire, el agua y la tierra que componían a la materia en general. Supuestamente, es Empédocles (según Aristóteles), el que añade el fuego a la tercia de elementos. Al combinarse, siendo inmutables, las diferencias en composición de un objeto y otro eran solamente cuantitativas. Su unión o separación se llevaba a cabo gracias a las dos fuerzas motrices de origen divino: el odio y el amor. El primero repulsivo y el segundo atractivo.

Empédocles dividía la historia del Universo en varios periodos; en el primero el aire se había condensado como cristal formando una concha cristalina sólida casi esférica que limitaba al Universo. Este universo finito, físicamente era más ancho que alto, como un huevo. Las estrellas fijas se incrustaban en dicha estructura, por dentro, y se constituían básicamente de fuego.

Existía otra esfera interior. Uno de sus hemisferios era de fuego y el otro de aire, aunque contenía también algo de fuego. El lado ígneo estaba iluminado mientras que el otro se mantenía en tinieblas. El primero, debido al fuego, impulsaba esta esfera provocando que

girase sobre su propio eje; como la Tierra se mantenía fija, los hemisferios pasaban sobre su superficie alternadamente. Cuando el ígneo se hallaba arriba era de día y cuando no, era de noche

El Sol no era más que el reflejo del fuego del hemisferio encendido sobre la superficie interior de la esfera cristalina. La trayectoria de éste no sólo ponía en evidencia la dirección del giro de la esfera interior sino que también daba idea de los límites del Universo.

De acuerdo a la descripción de Empédocles, el eje de la esfera interior coincidía con el plano de la Tierra, aunque él originalmente lo hacía coincidir con el eje de la esfera exterior perpendicular a la Tierra.

Los dos elementos de la esfera interior no siempre ocupaban espacios iguales, a veces predominaba el fuego y otras el aire, por lo cual, el lado iluminado era más grande en ciertas ocasiones, y otras, más pequeño y esto significaba en la Tierra periodos templados, fríos o de intenso calor. En suma, las estaciones del año además de un cambio en el tamaño aparente del Sol.

Empédocles afirmaba que cuando el hombre apareció, la Tierra se movía tan lentamente que los días eran larguísimo, casi como diez meses de los actuales.

La Tierra era plana, se hallaba en el centro del Universo y se mantenía en su posición inmóvil, gracias al rápido giro de los cielos. De hecho, en el comienzo, tal rotación extrajo toda el agua de la Tierra por evaporación, produciendo el aire. De acuerdo a su visión atomista, en los primeros años de la Tierra, vagaban libremente e

independientemente miembros, en general, de humanos y de animales. Brazos, patas, piernas, cabezas y demás se unían incesante y aleatoriamente formando seres de lo más extraño a lo más monstruoso. De estos seres sólo quedaron aquellos cuya morfología los hacía aptos para sobrevivir; se daba, digamos, una especie de selección natural.

La Luna era lo más cercano a la Tierra, y el espacio entre ambas era considerado una zona de maldad. El Sol, al estar en los límites del Universo, era, junto con las estrellas fijas, lo más lejano. La Luna se hallaba, según Empédocles, dos veces más lejos de la Tierra que el Sol. Como la Tierra se hallaba en el centro, el radio de la esfera cristalina era de tres veces la distancia Sol-Luna.

Empédocles consideraba a los planetas bolas de fuego que vagaban libremente en el espacio entre el Sol y la Luna; ésta última tenían una composición de fuego y aire y era, supuestamente, un disco plano producto de un remolino en el espacio.

El siglo quinto fue crucial para Grecia, si bien es cierto que bajo el gobierno de Pericles (444-429 a.C.) Atenas vivió su esplendor, también se dio la Guerra del Peloponeso (431-404 a.C.) que la puso al borde de la decadencia. Pericles promovió la cultura y las artes y gracias a ello se dieron en esta etapa grandes artistas como Sófocles, Esquilo y Eurípides en la literatura y grandes obras arquitectónicas como el Partenón. Pericles también promovió la filosofía y varios de los filósofos eran sus amigos personales, entre ellos estaba Anaxágoras (¿500?-428 a.C.).

La Guerra del Peloponeso, promovida por Esparta, acabó con Pericles y con el gran impulso a la cultura. El gobierno cayó entonces en las manos de los llamados "Treinta Tiranos" que cortan de raíz los logros atenienses. Los "Treinta Tiranos" desterraron a muchos de sus enemigos y aniquilaron a otros tantos; entre éstos Sócrates (alumno de Anaxágoras), gran maestro de la filosofía, cuyas doctrinas no fueron comprendidas por sus contemporáneos, dando lugar a que fuera acusado de corruptor de la juventud e innovador de la religión. Anaxágoras, como muchos, es acusado de impiedad y sentenciado también a muerte.

Anaxágoras de Klazomenes, el primogénito de Empédocles, se estableció en Atenas en el 456 a.C. y llegó a ser el primer filósofo importante de Atenas. Su filosofía se contraponía a las ideas atomistas y a otros como Empédocles. No define a la materia como un conglomerado de unidades indivisibles, nos dice que los elementos primarios existen en gran variedad de formas y tamaños que son divisibles infinitamente y que llenan el espacio completamente, por tanto, no existe el vacío.

Esta materia se movía debido a fuerzas externas independientes de ella. Existía entonces un agente externo e inteligente que produjo el mundo a partir del caos con sólo separar sus elementos sin transformarlos, hasta lograr el orden que ahora vemos.

El proceso se dió a partir de la rotación de la materia primigenia que la separó en dos grandes masas, una de aire, fría, oscura y pesada, y otra de éter, caliente, luminosa y ligera. Anaxágoras afirma que la parte pesada tendió al centro para

luego condensarse precipitándose como agua y luego como tierra, tan fría, que se hizo piedras. El lodo producido fue secado por el Sol. El agua que aún quedó se hizo salada y amarga. Como la materia llenaba todo el espacio finito, la misma materia era infinita y la Tierra formada era sólo una parte concentrada en el centro del Mundo como un disco plano.

Como en los sistemas anteriores, la Tierra permanecía equidistante a los polos de la esfera celeste, mantenida allí por el aire del hemisferio inferior. La esfera celestial mantenía una inclinación que había adoptado espontáneamente para hacer habitable la Tierra, pues tal inclinación había generado la gran variedad de climas.

El éter, que rodeaba a la Tierra, giraba rápidamente y partes de ella fueron arrancadas y expulsadas al cielo en forma de piedras encendidas y éstas, se constituyeron como estrellas, girando junto con el éter en torno a la Tierra plana. Este mismo giro mantenía también a los planetas.

El Sol, considerado el cuerpo más grande, era una bola de hierro al rojo vivo más grande que el mismo Peloponeso y la Luna era más bien una esfera de tierra y fuego casi tan grande como el Sol. Para Anaxágoras no había duda de la composición del Sol, la evidencia era un meteorito que, en el 497 a.C., cayó en Egos-Potamos. Él argüía que había sido una parte expulsada del Sol.

Sobre la Luna decía que su composición dual hacía que su superficie fuera imperfecta; de hecho, tal textura, la asociaba con la existencia de una geografía parecida a la de la Tierra. Ya

que sus explicaciones de los eclipses son satisfactorias es seguro que sabía bien de la forma esférica de la Luna. Anaxágoras menciona que a pesar del ligero resplandor producido por la parte ígnea de la Luna, su luz, como la vemos, se debía a que reflejaba la luz del Sol.

El orden asociado a los cuerpos celestes, desde los más lejanos, empieza con las estrellas fijas, luego con los cinco planetas, el Sol, la Luna y otros cuerpos del tipo de la Tierra, más pequeños que ella misma y que de vez en cuando eclipsaban al Sol o a la Luna. También nos habla de la Vía Láctea y la explica diciendo que del lado opuesto del Sol éste produce una sombra infinita, las estrellas fijas sobre las que caía la sombra parecían entonces tener un brillo más encendido. Respecto a las órbitas no habla mucho, tal vez debido a que no entendía muy bien tales movimientos y en el caso de sus ideas creacionistas sólo se remite a explicaciones más mitológicas que "científicas".

Diógenes de Apolonia (413-327 a.C.) no sólo es contemporáneo de Anaxágoras, es de hecho el último de los filósofos jonios. Él adopta el aire como el origen de todo. Al igual que Anaxímenes nos habla de condensaciones y rarefacciones. El aire era también la fuerza inteligente de la que habla Anaxágoras. Mantiene la idea de que la Tierra era un disco plano en el centro del mundo, equidistante a los polos de la esfera celeste y en medio del vórtice, quizás provocado por el éter.

El aire ligero que se mantuvo arriba formó al Sol, el mismo aire caliente que se hallaba en la superficie de la Tierra provocaba los temblores. Como Anaxágoras, nos habla de la inclinación

del eje celeste, y basado en el meteorito de Egos-Potamos, enseñaba que las estrellas fijas son como piedra pómez, a modo de respiraderos del mundo, y que se iluminan por el aire caliente que penetra en ellas. Entre las estrellas, o en su misma posición, se hallaban cuerpos oscuros que ocasionalmente caían a la Tierra.

El discípulo más conocido de Anaxágoras es Arquelaos (SV a.C.), quien también adopta al aire como la sustancia primigenia. A partir de ella se formó el agua (lo frío) y el fuego (lo caliente). El agua se precipitó al centro y parte de ella se elevó como aire. La que quedó en el centro se condensó en tierra y de allí se formaron las estrellas. El Sol era para él el cuerpo celeste más grande, seguido por la Luna. La Tierra, como en su maestro, era sólo una pequeña porción de materia universal que se hallaba en el centro sustentada por el aire concentrado allí por el gran vórtice que la rodeaba. La Tierra tenía la forma que Leucipo planteaba (como un tímpano).

Estos primeros filósofos, a pesar de sus planteamientos primitivos, preparan el terreno para una especulación algo más firme que sería llevada a cabo por los pitagóricos. Los pitagóricos eran devotos a la ciencia y a la contemplación religiosa. En su filosofía eran aceptados tanto hombres como mujeres. Esta hermandad, casi religiosa, y de tipo monacal, tenía entre sus creencias centrales la idea de la transmigración de las almas y para escapar al ciclo de reencarnación buscaban la purificación a través de la música, las matemáticas y un rígido código personal que incluía el abstenerse de comer carne.

Pitágoras de Samos (¿580-500 a.C.?) plantea un interesante sistema cosmológico donde el número era la base y elemento conceptual: "Los números son por su naturaleza, anteriores a las cosas"¹⁸. El número era considerado todo, el principio organizador del Universo, la sustancia de las cosas y la causa de cada fenómeno de la naturaleza; de hecho, inicialmente, se consideraba a los números como entes geométricos físicos compuestos de puntos y se tomaban, éstos, como los vértices de las figuras geométricas; existían pues, números triangulares, cuadrados y así sucesivamente. Estas figuras eran la imagen de los objetos existentes. A modo de crítica, que era el sentido habitual de las citas que hacía sobre los pitagóricos, Aristóteles nos dice que "Los pitagóricos creían concebir en los números mas bien que en el fuego, la tierra y el agua, una multitud de analogías con lo que existía y lo que se producía"¹⁹.

Utilizando el instrumento llamado monocorde (de una sola cuerda), Pitágoras observaba que se producían pares de notas agradables, sólo para ciertas posiciones del puente móvil y que correspondían a proporciones simples entre las longitudes de ambas partes de la cuerda. Suponiendo aplicables tales simetrías numéricas al Universo, llega a la conclusión de que todo estaba gobernado por relaciones numéricas y que los movimientos celestes se daban con regularidades armónicas. Derivaba así una relación entre el número y la música y por lo tanto concluía que el mundo se organizaba

"armónicamente". Así, en las revoluciones celestiales se producían diferentes tonos. Cada cuerpo poseía también su propio tono y el conjunto de éstos resultaba en la "Música Celestial" a la que estábamos tan acostumbrados que ya no la percibíamos.

Los discípulos veían a Pitágoras como el gran maestro y le atribuían gran cantidad de conocimientos e ideas originales que no tenía en su totalidad. Algunos decían que él era el único que podía escuchar la "Música Celestial". No se diga de los pitagóricos posteriores al mismo Pitágoras que tenían una imagen de él legendaria, como un semidios omnisciente de quien todo el conocimiento científico había emanado. Antes de Pitágoras no había conocimiento y los predecesores de él no eran nada.

Aunque las teorías pitagóricas se desarrollaron en detalle, aún después de la muerte de Pitágoras, la imagen del gran maestro creaba ciertas confusiones y, debido a todo lo anterior, no se sabe con precisión cuales en realidad, de estas teorías, son originalmente de él. Por ejemplo, según Diógenes Laercio, Pitágoras enseñaba que el mundo estaba constituido por cuatro elementos, que era esférico, que la Tierra, también esférica, era su centro y que ésta última, además de estar totalmente habitada, se dividía en cinco zonas. El mismo Diógenes cita a Favorinos que atribuye a Pitágoras la palabra *cosmos* con la que se denomina a los cielos, y que sabemos que Pitágoras no fue el primero en usarla (Teofrasto, el discípulo de Aristóteles, dice que fue Parménides y Xenó, por su parte, que fue Hesíodo).

¹⁸ Aristóteles, *Metafísica*, op. cit., p.14.

¹⁹ *Ibid.* p.14.

Se dice también que Pitágoras fue el primero en darse cuenta que Phosphorus y Hephestus, estrellas de la tarde y de la mañana, eran el mismo cuerpo celeste (sabemos que los babilonios ya manejaban esa idea) y también ser el primero en notar la inclinación del Círculo Zodiacal.

El que la idea de la esfericidad de la Tierra es original de Pitágoras o Parménides en realidad, en esa época, a nadie le importaba aparte de los pitagóricos, es más, nadie creía que la Tierra fuera una esfera. De todos modos el conocimiento no se divulgaba por considerarse (por los pitagóricos) de lo más importante y por tanto era guardado, al igual que otros, en secreto bajo juramento.

Pitágoras fue rebasado por la escuela que él mismo fundó; la escuela tuvo tal auge que permaneció, durante casi dos siglos, en secreto la mayor parte del tiempo, hasta la violenta disolución del grupo pitagórico de Crotona del que Filolao era miembro.

Filolao de Tarento era nativo del sur de Italia, fue contemporáneo de Sócrates y vivió por varios años en Tebas a fines del siglo quinto antes de Cristo. El mismo hermetismo guardado en las filosofías pitagóricas fue quizá la razón por la cual el mismo Pitágoras no escribió nada y nada se escribió hasta que Filolao rompió ese hermetismo y fue él, el primero en escribir y dar a conocer dichas filosofías. De sus escritos sólo quedan fragmentos, pero ganaron tal importancia que existen muchas referencias a ellos.

La Tierra, según Filolao, es demasiado burda para ser considerada el centro del Universo, en el

centro, entonces, debía hallarse algo un tanto más noble por ser éste un punto divino. El objeto digno de tal posición era un fuego central, el *Hestia* (*Ἑστία*, que traducido es precisamente fogón), el fogón del mundo y la torre mirador de Zeus, en torno al cual todo se movía.

En suma, el Universo pitagórico se componía de tres partes básicas, que en orden creciente de nobleza y perfección eran, el Uranos, es decir la Tierra y su esfera sublunar, el Cosmos o los cielos móviles que eran limitados por la esfera de las estrellas fijas y el Olimpo o morada de los dioses.

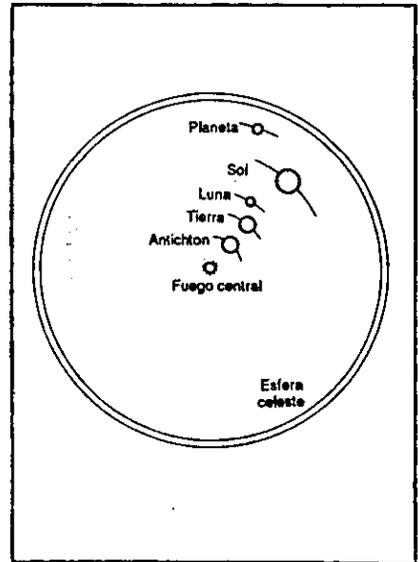


Fig.11.6 El Universo según Filolao el pitagórico.

La Tierra, los cuerpos celestes y el Universo, como un todo, eran esféricos, por ser la esfera el cuerpo sólido más perfecto y cada uno de estos cuerpos se movía circularmente, dado que su única opción de movimiento era la más perfecta,

el círculo. Entre más noble fuese un cuerpo tanto más lentamente se movía; según esto, el Olimpo tenía un movimiento casi imperceptible y tal movimiento producía el tono fundamental de la música celestial.

En el año 70 a.C. un astrónomo griego, llamado Gémino de Rodas decía que "los pitagóricos, los primeros que abordaron estas cuestiones, fueron quienes establecieron la hipótesis de un movimiento circular uniforme para el Sol, la Luna y los planetas..."²⁰.

Existe además otra interesante idea; tomando en cuenta el carácter "numérico" de la mentalidad pitagórica, los pitagóricos asociaban el llamado "tetractus" con el Universo. Este elemento fue a la vez número y símbolo a la vez, era un triángulo simétrico de diez puntos, formado de cuatro hileras. La primera de un punto, la segunda de dos, la tercera de tres y la última de cuatro. Se suponía que cada punto se asociaba con un cuerpo celeste y como sólo se observaban nueve de éstos, se creía que debía existir un décimo cuerpo físico, al que bautizan como "Antichton" o contra-Tierra. Dicho cuerpo era idéntico a la Tierra con la salvedad de que se hallaba deshabitada.

Aristóteles, que por cierto nunca menciona a Pitágoras en sus obras, habla de esta idea criticándola duramente. Dice: "Todas las concordancias que podían descubrir en los números y en la música, junto con los fenómenos del cielo y sus partes, y con el orden del Universo, las reunían, y de esta manera formaban un sistema, y si faltaba algo,

empleaban todos los recursos para que aquel presentara un conjunto completo. Por ejemplo, como la década parece ser un número perfecto, y que abraza todos los números, pretendiendo que los cuerpos en movimiento en el cielo son diez en número, pero no siendo visibles mas que nueve, han imaginado un décimo, el Antichton. Asumen también otra Tierra opuesta a la nuestra a la que llaman contra-Tierra, no buscan las razones y causas del fenómeno, sino que hacen que el fenómeno se ajuste a sus opiniones preconcebido ideas en busca de una construcción del Universo"²¹.

El Antichton resultaba siempre invisible a la Tierra, igual que el fuego central. El cuerpo más cercano a éste último era la contra-Tierra y el más lejano la esfera de las estrellas fijas; entre ellos se hallaba la Tierra, la Luna, el Sol, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno en ese orden.

La razón por la cual el fuego central y el Antichton eran invisibles desde la Tierra se debía a que ésta "rodaba" en torno a la Tierra y sus dos movimientos coincidían, haciendo que siempre mostrara la misma cara. El lado de la Tierra donde Grecia se hallaba veía siempre al exterior del Universo. Lo más que podíamos ver del Fuego Central era su resplandor, pero sólo si viajábamos hasta la India.

El Fuego Central era fuente de luz y calor para el Universo, pero no era la única fuente, también estaba el Sol, aunque parte de su luz se debía al mismo Fuego Central. El Sol recibía la luz etérea, la "cernia" y la proyectaba en todas

²⁰ *Ibid.*, p. 13

²¹ *Ibid.*, p. 14 (Aunque las referencias a los pitagóricos son abundantes en los libros de Aristóteles, sólo hay una única mención explícita de Pitágoras, en el libro Aristotélico *La Retórica*, que resulta ser vaga y escueta)

direcciones. Se le podía considerar de hecho la principal fuente luminosa del Universo. La Luna también participaba en este proceso exhibiendo parte del Fuego Central; el mismo resplandor, observado sobre su superficie en su fase de Luna nueva, era evidencia de esto.

La Tierra se hallaba muy cerca de la contra-Tierra y ambas también muy cerca del Fuego Central. La Luna, más allá, era algo así como otra Tierra poblada de plantas y animales quince veces más fuertes que los terrestres y sólo diferentes a estos "a nivel digestivo".

El día en la Luna equivalía a quince de los nuestros aunque, si se basaban para esta suposición en el periodo lunar, deberían ser en realidad veintinueve pues la idea era que un punto sobre la superficie lunar era iluminado por quince horas aproximadamente.

Otros pitagóricos afirmaban que las marcas sobre su superficie eran el reflejo de los mares terrestres y que los eclipses lunares sucedían con mayor frecuencia porque ésta era eclipsada por su contraparte.

Aparentemente este ingenioso sistema salvaba las objeciones que se pudiesen tener en contra de él y, aunque había cabos sueltos, no se tenía, en la época, un conocimiento lo suficientemente profundo como para detectar tales irregularidades.

Algunos pitagóricos no se conformaban con hablar de diez cuerpos y suponían otros adicionales. Los cometas, por ejemplo, eran aparentemente la confirmación de su teoría. Los cuerpos que postulaban, adicionalmente, eran en general invisibles y sólo se les podía observar en ocasiones excepcionales.

Cada pitagórico le añadía algún elemento al sistema base. Hicetas, nativo de Siracusa, creía que todo estaba fijo y suponía que sólo la Tierra se movía, pero parece nunca mencionar al Fuego Central dentro de su "sistema". No sabemos si esto es un antecedente de las ideas de Filolao, pues no se sabe a ciencia cierta si fue anterior o posterior a él. Algunos autores se inclinan a considerarlo discípulo de Filolao. Otro de los autores que alude al movimiento terrestre es Ecfanto, también de Siracusa, y de quien se sabe tan poco como de Hicetas. Se le relaciona con Heráclides, filósofo del SIV a. C. y discípulo de Platón, cuya idea del movimiento de la Tierra era muy parecida a la de Hicetas. Aunque alumno de Hicetas, Ecfanto se inclinaba más por las ideas atomistas de Leucipo y Demócrito. En una cita doxográfica se dice que Heráclides y Ecfanto el pitagórico, dejaban que la Tierra se moviera, no progresivamente sino como una rueda ajustada a un eje, de oeste a este. Parece ser que los últimos pitagóricos abandonaron de forma definitiva la idea del Fuego Central y algunos lo sustituyeron por el Fuego Interior del centro de la Tierra y de origen volcánico.

III. PLATÓN, EUDOXO Y ARISTÓTELES

Platón dedicó muy poco de su obra a la Astronomía, pues para él, ésta era sólo una rama de la filosofía. Independientemente de que las tesis platónicas sobre la construcción del Mundo tenían mucho de mitológico encauzaron a los filósofos posteriores hacia una concepción esférica, tanto del Universo como de la Tierra.

La Astronomía debía sólo estudiarse a través de problemas "dejando a los cielos estrellados en paz"²². La observación astronómica era mal vista por Platón, pero su propia actitud obligaba a sus discípulos a llevarla a cabo en busca de las soluciones a sus problemas. Las referencias astronómicas respecto a la construcción del Mundo son muy escasas en sus diálogos y en tales casos llegan a ser muy confusas, pues fueron escritas más a modo de juegos intelectuales y sin gran detalle y aún más, como veremos, tales ideas, a veces, se contraponen entre sí.

Platón nació en Atenas, en el 428 ó 427 a.C. y murió, también en Atenas en el 347 a.C. Se dice que su verdadero nombre era Aristocles y que el nombre de Platón era sólo un apodo que su maestro de gimnasia le dio por sus amplias espaldas. Platón fue alumno de Sócrates, y como él y los primeros filósofos, considera que el

Mundo emergió del caos, posteriormente ordenado por Dios, el artifice, en base a un plan inteligente y racional, a través del cual el Mundo, como tal, se daría. Las cosas tuvieron su origen así, y como tales mecanismos carecían de interés para Platón, por lo tanto, no entraba en detalles a este respecto.

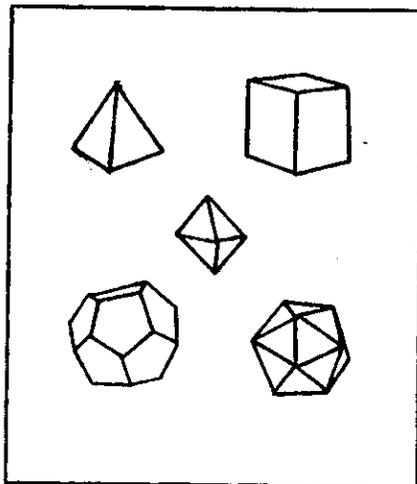


Fig. III.1 Los sólidos platónicos.

La concepción platónica del Mundo es, también, esencialmente matemática, debido a su gran influencia pitagórica. Describe tal creación diciendo que en el comienzo existían dos triángulos rectángulos, uno la mitad de un cuadrado y el otro, la mitad de un triángulo equilátero. De ellos se derivaron los cinco Sólidos Perfectos que componían las partículas de los cinco (incluida la quintaesencia) elementos básicos. La asociación decía que el cubo se emparentaba con la tierra, el icosaedro con el agua, el octaedro con el aire y el tetraedro con el fuego. Los cuatro elementos existían en

²² S. Mason, *Historia de las ciencias 1*, Alianza editorial, México (1986), p.43.

todo el Universo con diferentes grados de pureza o impureza y, en ciertas partes, algunos de ellos predominaban más. "Los cielos" estaban hechos de éter, el quinto elemento, asociado también con un quinto sólido regular, el dodecaedro.

El éter era un aire especialmente puro que se extendía desde la parte superior de la atmósfera hacia todo el espacio. Según Platón, el modelo utilizado por Dios fue el quinto sólido. El Universo era en realidad una esfera que venía a ser "un dodecaedro mejorado".

En el diálogo platónico *Fedro*, que es quizás uno de los primeros escritos por Platón, se nos da una imagen general del Mundo y su estructura a través de una descripción poética donde se dejan entrever las influencias pitagóricas del mismo Platón. El párrafo dice:

"El Señor omnipotente, que está en el Uranos, Zeus, se adelanta el primero, conduciendo su carro alado, ordenando y vigilándolo todo. El ejército de los dioses demonios le sigue, dividido en once tribus; para que de las once divindades supremas, sólo Hestia quede en el Palacio Celeste,...

¡Qué encantador espectáculo nos ofrece la inmensidad del Cielo, cuando los inmortales bienaventurados realizan sus revoluciones, llevando cada una de las funciones que les están encomendadas!...

...Cuando van al festín y banquete que les espera, avanzan por un camino escarpado hasta la cima más elevada de la bóveda del Uranos. Los carros de los dioses, mantenidos siempre en equilibrio por sus corceles dóciles suben sin esfuerzo... Las almas de los que se llaman inmortales, cuando han subido a lo más alto del Uranos, se elevan por cima de la bóveda celeste y se fijan sobre su convexidad; entonces se ven arrastrados por un movimiento circular, y

contemplan durante esta evolución lo que se halla fuera de esta bóveda que abraza al Universo..."²³

El Universo planteado bajo la "maraña" poética se aprecia semiesférico, dotado de un movimiento circular propio, que arrastra a los planetas con él, por estar sujetos a su superficie cóncava interna. Originalmente parece que los planetas-deidades, dotados de alma e inteligencia, hubiesen tenido un movimiento (espiral) propio, antes de fijarse a la bóveda. En el Palacio Celeste, tal vez el centro, se halla Hestia. Aquí habría dos posibilidades, sabemos que Hestia es el Fogón del Mundo planteado por los pitagóricos, pero tal idea, implicaría que la Tierra giraría junto con los demás planetas en torno a él, lo cual resulta ciertamente improbable, y lo más seguro sea que, en este párrafo, Hestia sea la misma Tierra a quien designaban así los autores griegos Macrobio y Calcidio. El Universo, además, se componía de una región supracelstial integrada por la "materia inmaterial" de las ideas y la inteligencia (sólo percibidas por las almas) designada como la región de los sentidos y las apariciones. De ahí que Platón tome a las ideas y el razonamiento como la base de su filosofía. El Universo, después, sería descrito por Platón como una esfera viviente dotada de alma e inteligencia desarrollando un movimiento propio de su forma, "por necesidad"²⁴.

Timeo, un personaje del diálogo del mismo nombre, refiere que Dios redondeó el Mundo hasta hacerlo esférico pues era ésta la forma más conveniente y apropiada a su naturaleza debido a

²³ Platón (*La República*), op. cit., p.638.

²⁴ *Ibid.* pp. 673-674.

su "no-necesidad" de extremidades. Existía entonces, dice Timeo, un intelecto y la imagen de la materia de las ideas, ambas combinadas por Dios para crear una tercera; y las tres combinadas a su vez y posteriormente divididas como convenía. La nueva composición la cortó Dios en dos partes, a lo largo, y ambas las cruzó a modo de una "X"²⁵ y unió sus extremos opuestos entre sí formando dos círculos; finalmente los hizo rotar. Los círculos resultantes no eran más que el ecuador celeste (el exterior), y el de la eclíptica (el interior). El círculo interior fue posteriormente dividido en siete partes, una por cada planeta y el movimientos de éstos restringido a un sólo plano. El resultado final fue el sistema geocéntrico donde la Tierra se hallaba sin que existiera un agente que la mantuviese.

En este sistema celestial platónico, los planetas son seres divinos, también y por tanto, los primeros seres vivientes que existieron en el Mundo; seres perfectos e inteligentes que se movían circularmente en torno a la Tierra.

En la *República* hay un cierto giro a esta idea, (tal vez sólo de forma alegórica), los planetas, además, son sirenas que en su movimiento (uniforme y circular de oeste a este) producían, cada una, un tono característico que resultaba en la armonía celestial que los pitagóricos llamaban "la música de las esferas"²⁶.

La esencia matemática del sistema platónico se refleja perfectamente en la disposición de las órbitas planetarias. Platón parece creer que las distancias entre los planetas se regían por dos

progresiones geométricas, ambas, con 1 como primer dígito. La primera, "la de los pares" era 1,2,4,8 y la segunda, "la de los impares" 1,3,9,27. Las distancias debían ir por tanto como 1,2,3,4,8,9 y 27; y para los siete planetas conocidos correspondían así (en ese orden).

Luna	1
Sol	2
Venus	3
Mercurio	4
Marte	8
Júpiter	9
Saturno	27

En base a esto e interpolando cierto números entre los de las progresiones, de acuerdo a ciertas reglas, Platón logra una "escala musical aritmética".

Los llamados errantes no tenían nada de errantes; Platón dice a un cretano y a un espartano que los griegos cometían un error al usar ese término porque las desviaciones observadas eran sólo aparentes.

En la misma *República* (al final) se habla de un soldado hallado muerto en el campo de batalla y que "resucitó" en la pira funeraria. Her, el armenio de Pánfila, al morir, su alma es llevada al cielo a un lugar donde las almas se reunían después de penar o gozar por diez mil años ya fuera en el Hades o en el Cielo según correspondiera el caso. Después de pasar allí seis días, las almas partían en los dos días siguientes en un viaje que les llevaría cuatro más, de regreso a la Tierra. En tal lugar, Her parece que tuvo una vista general del Universo. Observó y

²⁵ Se refiere a la letra griega "ji" (X).

²⁶ *Ibid.* p.618.

describió las esferas (¿o semiesferas?) de los planetas. Mencionaba que la esfera de las estrellas del zodiaco era de varios colores, que el Sol era el más brillante de los planetas y la Luna la más rápida entre ellos; que Venus y Mercurio eran los segundos en blancura y en velocidad seguidos por Marte que se veía rojo, seguido a su vez por Júpiter. El más lento de todos era Saturno.

Platón, en este diálogo, también menciona un elemento adicional, un eje común a todas las esferas, a modo de huso luminoso y que atravesaba la Tierra y el cielo. Este huso giraba impulsando todas las evoluciones²⁷ de la esferas siendo entonces el elemento motriz primario. Cabe decir que tal eje se toma como un mero elemento de ficción dentro del contexto del pensamiento platónico, aún tomando en cuenta que en el propio diálogo se da como algo real.

Parece ser que existió una secuela de la última obra de Platón (*Leyes*), escrita por un discípulo en la que se supone que se habla con mayor detalle de cuestiones astronómicas como las distancias al Sol y a la Luna y los eclipses, pero todo parece indicar que nada se conserva de ella.

En la obra llamada *Epinomis*, atribuida por algunos autores a Platón, se mencionan muchas de las ideas sobre la constitución del Universo y sus elementos. Las estrellas, según tal obra, son principalmente de fuego moviéndose en el éter. Se menciona también que al ser la Luna el cuerpo más cercano, su constitución es muy parecida a la de la Tierra, lo cual implica que es

un cuerpo opaco y se infiere que su luz es producto del reflejo de la luz solar.

Como antes vimos, las cuestiones del alma rigen gran parte de la filosofía platónica y así como en los pitagóricos, la transmigración es uno de los puntos importantes. El alma reside en la cabeza (dice Platón en el *Fedón*), es eterna y omnisciente. El hombre, como primer ser vivo en la Tierra, en su degeneración, provocaba que su alma reencarnara en formas inferiores. Esto por cierto había dado origen a los animales, considerados, por lo tanto, formas de vida inferiores.

Algunos, como el historiador griego Plutarco (50-125), dicen que Platón, en sus últimos años, se inclinaba más hacia el sistema de Filolao; aún más, menciona que Teofrasto, el discípulo de Aristóteles, afirmaba que Platón mismo decía haberse equivocado al poner a la Tierra en el centro del Mundo y no a un cuerpo más noble. Esto es poco probable y tal vez se deba a que se buscaban más seguidores a las ideas de Filolao. Si se pensaba que Platón se inclinaba hacia tales tesis era casi seguro que muchos no dudarían en aceptarlas.

Para entonces (SIV a.C) comienza a surgir la astronomía planetaria como ciencia y el mismo Platón termina por reconocer la necesidad de explicar satisfactoriamente los mecanismos del Mundo que básicamente se reducían a comprender el movimiento planetario. Se ve bien que sí había ciertas nociones concretas de tales movimientos, pero en general todo se iba en especulaciones filosóficas. El verdadero primer intento por resolver tal problema lo hace

²⁷ El período asociado a esta revolución era 10,800 años que correspondía al período de migración de las almas considerado originalmente por los pitagóricos.

precisamente uno de los discípulos de Platón, llamado Eudoxo.

Se dice que a los 23 años, Eudoxo de Cnido (408-355 a.C.) fue a Atenas donde asistió a las clases de Platón por algunos meses, para después partir a Egipto recomendado por el mismo rey Agesilao de Nestunebis. Tal parece que Eudoxo, en su búsqueda de conocimiento, pasó más de un año ahí. Entre otras cosas recibió las enseñanzas de un sacerdote de la ciudad de Heliópolis y obtuvo copias de sus registros astronómicos. Alguien, supuestamente, había predicho que la vida de Eudoxo sería muy ilustre, pero también muy corta.

Eudoxo se convirtió en un gran matemático. Plutarco, al ser consultado sobre el problema de la duplicación del altar de Apolo (famoso problema de la duplicación de un cubo) en Delos, dijo que sólo dos personas serían capaces de resolverlo: el mismo Eudoxo y Helicón. Platón por su parte, decía que sólo Eudoxo sería capaz de lidiar con las dificultades de los problemas planetarios.

Y así fue, Eudoxo propuso el primer sistema serio, basado en la observación, en la geometría y en las matemáticas, para la solución del movimiento de los cuerpos celestes, tratando el movimiento de cada planeta de forma independiente y buscando reconciliar la supuesta perfección de sus movimientos (circulares) con las desviaciones observadas. Plantea entonces un sistema de esferas concéntricas como la construcción real del Universo geocéntrico llamado luego "De las esferas homocéntricas". Este sistema llegó a nosotros a través del libro de Aristóteles, *Metafísica*, además de los

comentarios que Simplicio hace al libro aristotélico *Del cielo*; a pesar de que supuestamente el mismo Eudoxo describe su sistema en su propio libro titulado *Sobre las velocidades*, que se halla perdido.

Cada planeta era montado en el ecuador de su propia esfera y ésta, a su vez, en otra esfera concéntrica más grande y así sucesivamente. Cada una de las esferas tenía que ver con uno de los movimientos observados desde la Tierra. Las esferas, en general, se movían con velocidades uniformes. Eran cuatro esferas las que correspondían a cada planeta, tres para el Sol, tres para la Luna y una para las estrellas fijas. Sobre su composición y distribución exacta parece que Eudoxo no especula nada, lo único que menciona, a este respecto, es que el Sol es nueve veces más grande y más lejano que la Luna. Por otro lado todo indica que se inclinaba a pensar que las esferas propuestas eran más entes reales que meros elementos matemáticos.

El movimiento lunar lo producían tres esferas, la más externa, rotaba de este a oeste en 24 horas como la esfera de las estrellas fijas; la segunda daba el giro en sentido opuesto y su movimiento resultaba en la revolución mensual de 27 días (27d 5h 5m 6s para ser exactos) de la Luna en torno a los cielos. La tercera, según Simplicio, giraba lentamente en la misma dirección que la primera, pero su eje estaba inclinado un ángulo igual a la más alta latitud alcanzadas por la misma Luna. Esta se hallaba precisamente en el ecuador de esta tercera esfera que venía a ser la más interna de las tres.

Para el Sol, Eudoxo usaba también tres esferas. Una para su movimiento diario, la segunda para

el movimiento solar a lo largo del zodiaco y la tercera (más lenta que la segunda) reproducía el movimiento solar a través de un círculo inclinado con respecto al zodiaco. Esta última esfera había sido añadida, pues Eudoxo observaba que en los solsticios de verano e invierno el Sol no salía por el mismo punto del horizonte cada vez. Las teorías solar y lunar son prácticamente las mismas con la diferencia de que en la segunda no hay esferas retrógradas.

El caso de los planetas es algo más complicado pues Eudoxo debía tomar en cuenta no sólo las variaciones estacionales sino también sus movimientos retrógrados. En general, como ya mencioné, son cuatro las esferas para cada uno de los planetas restantes. La primera y más externa de ellas se encargaba de la rotación diaria en torno a la Tierra en 24 horas, la segunda daba cuenta del movimiento a lo largo del zodiaco, en el caso de Marte, Júpiter y Saturno (los externos para nosotros y claro también para ellos aunque no se dieran cuenta aún). Tal movimiento tenía un periodo igual al periodo sideral de revolución, y para Mercurio y Venus su periodo era de un año. La tercera esfera tenía que ver con el movimiento respecto a la latitud. Los polos de esta esfera se hallaban en puntos opuestos del zodiaco sobre la segunda esfera y rotaba con un periodo igual al periodo sinódico del planeta correspondiente. Para esta esfera, en cada caso, los polos se hallaban en diferente posición, en el caso de Mercurio y Venus. Simplicio supone que la dirección era de norte a sur o de sur a norte. La cuarta y última esfera fijaba su eje sobre la tercera, inclinado con respecto al eje de ésta, un ángulo diferente para

cada planeta. En torno a este eje, la tercera esfera también giraba, pero en dirección opuesta a la cuarta, aunque con un periodo común a ambas.

El planeta, en cada caso, se hallaba, claro está, en el ecuador de esta última y más interior esfera. El resultado "aparente" era que el planeta tenía una combinación de cuatro movimientos circulares y uniformes.

Supongamos, por ejemplo, a la segunda esfera de cualquiera de los cinco planetas; supongamos también que nos movemos junto con ella de modo que "cancelamos" el movimiento en torno a la Tierra en veinticuatro horas y aquel a lo largo del zodiaco.

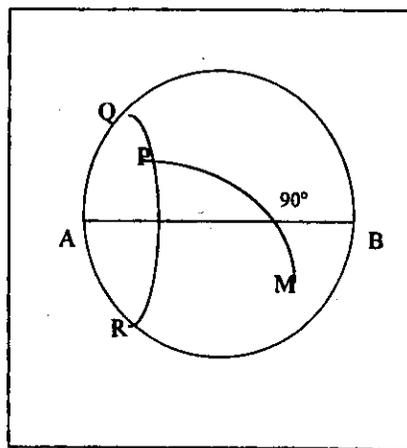


Fig.11.2 Esquema simplificado para el movimiento planetario de Eudoxo.

Según el esquema, sea P uno de los polos de la cuarta esfera el cual al rotar ésta, sobre el diámetro o eje AB, describe un pequeño círculo QPR en un periodo igual al de la cuarta esfera sobre su eje, pero con una dirección opuesta.

Ahora, si suponemos el planeta M en el ecuador de la cuarta esfera, tal que el ángulo PM sea de 90° , M describirá una trayectoria simétrica como se ve en la siguiente figura. Esta *lemniscata* o *hipópedo* (como le llamaban, por ser una de las figuras más practicadas a caballo en las escuelas de entonces) de ecuación $r^2 = a^2 \cos 2\theta$ se daba sobre la superficie de la esfera celeste. Debido a esto, Schiaparelli (quien por cierto hace un profundo estudio de la teoría de lemniscata esférica de Eudoxo) la llama *lemniscata esférica*.

El eje de la lemniscata se extiende a lo largo del zodiaco, paralelo a la eclíptica, su longitud es igual al diámetro del círculo descrito por P, y su punto doble está a 90° de los polos de rotación de la tercera esfera.

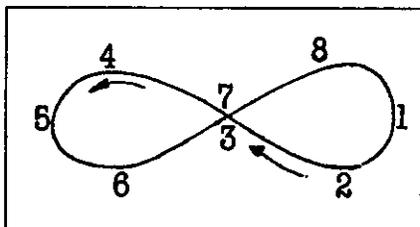


Fig. III. 3. Lemniscata esférica

El planeta describe entonces esta trayectoria en el sentido de las flechas, recorriendo los arcos 1-2, ..., 7-8, 8-1 en tiempos iguales. En este sistema de referencia, la lemniscata se vería como en la Fig. III.5, pero considerando el desplazamiento debido a las demás esferas, la lemniscata se desplazará a lo largo de la eclíptica y desde la Tierra se observarían una sucesión de "rizos" como se ve en la Fig. III.4.

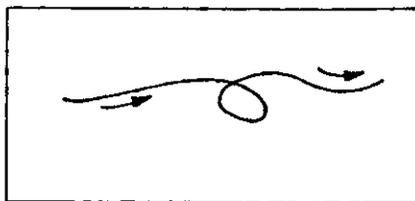


Fig. III. 4. Trayectoria observada de un planeta

Vemos pues que el planeta se desplaza con velocidad uniforme para luego desacelerarse hasta detenerse aparentemente y luego retroceder, se desacelera nuevamente y repite nuevamente la trayectoria.

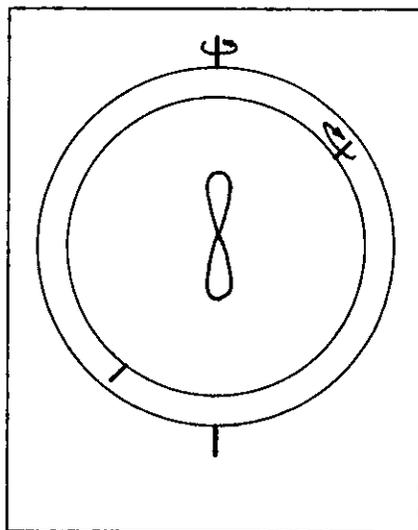


Fig. III. 5. La lemniscata comparada con las esferas

Entre los estudiosos de la época muchos consideraron que la teoría de Eudoxo tenía cierta carencia de elementos. Calipo, uno de sus discípulos, después de treinta años de haber sido dado a conocer el trabajo de su maestro, buscó mejorarlo. Junto con otro de sus maestros (Polemarco) fue a Atenas en busca de

Aristóteles, quien durante el reinado de Alejandro Magno vivía en esa ciudad, para completarlo y corregirlo.

La obra de Calipo, como la de su maestro, está perdida, pero sabemos de ella por las referencias que de ella existen. Los elementos que Calipo añadió fueron, como era de esperarse, más esferas, en los casos que creyó necesario. Los sistemas de Saturno y Júpiter quedan sin modificación pero al sistema de Marte le introduce una quinta esfera para compensar su movimiento retrógrado y lograr una trayectoria más parecida a lo que se observaba. Según Shiaparelli el sistema queda como se ve en la siguiente figura.

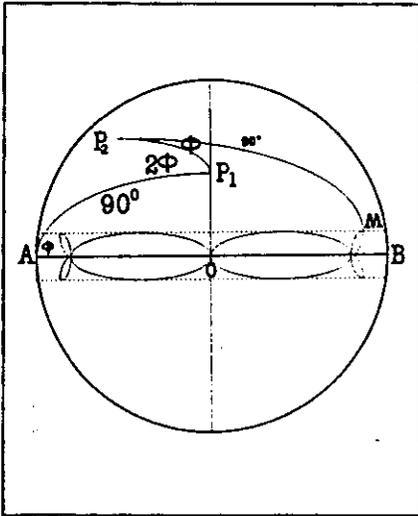


Fig.III.6 Movimiento de Marte de Calipo según Shiaparelli

En la figura anterior AOB es la eclíptica y el segmento AB son los puntos entre los que se da el circuito por el zodiaco en el periodo sideral de Marte.

Suponiendo que la tercera esfera rota alrededor de estos dos puntos (periodo sinódico) entonces el punto P se hallará en el ecuador de ésta (polo de la cuarta esfera) y rotará dos veces más rápido que la misma en dirección opuesta llevando a P2 con ella. Este punto es el polo de una quinta esfera que rota en la misma dirección y periodo que la tercera esfera. En el ecuador de esta nueva esfera se halla fijo el planeta (Marte en este caso) Situando P1, P2 y M al inicio del movimiento, representado en la Fig.III.6 por la línea AP1P2MB, los ángulos en cualquier momento estarán como en la figura. Cuando los ángulos AP1 y MP2 sean rectos, el punto M describirá una figura simétrica a la eclíptica, que variará su forma proporcionalmente con el cambio en la longitud del arco P1P2. El hipópedo resultante tendrá aquí los extremos modificados pero explica más satisfactoriamente el movimiento retrógrado observado. Nótese que en la figura 6 el ángulo entre P1 y P2 es precisamente 45°.

A los sistemas de Mercurio y Venus también se les añade una esfera más y al "sistema solar" dos, para explicar mejor su movimiento en latitud. Tal desviación había sido notada ya por dos filósofos llamados Metón y Euktemón.

En un supuesto papiro sobre Eudoxo se dan los valores adoptados por Calipo para la duración de las estaciones (tomadas del *Parapegma* o *Calendario Meteorológico* de Gémino). Las duraciones aparecen como 95, 92, 89 y 90 días a partir del equinoccio Vernal y sorprendentemente con menos de un día de error, a diferencia de los valores de Euktemón del 430 a.C. que tenían errores que iban desde 1/4 hasta 2 días.

Es gracias a Aristóteles que, en cierta medida, se conserva el sistema de las esferas homocéntricas, pues él aceptaba completamente las ideas de Eudoxo y las adapta a las propias.

Aristóteles nace en Estagira en el siglo cuarto antes de Cristo en el año 384 y muere en la isla de Eubea sesenta y dos años después (322 a.C.) Podríamos considerarlo el último de los grandes filósofos especuladores de la antigüedad. A diferencia de Platón, su maestro, todas sus afirmaciones tenían base en la experiencia y la observación y aunque el primero dictaba sus teorías de forma más elegante, las obras del segundo fueron más útiles y contundentes para el desarrollo científico, en gran parte debido a su carácter enciclopédico.

Aristóteles fue maestro y amigo de Alejandro Magno y discípulo de Platón, desde los diecisiete años hasta la muerte de éste último. Una de sus principales obras filosóficas fue la llamada *Metafísica*, compuesta de cuatro libros aunque es en su obra llamada *Física* (de ocho libros) y *Del cielo* (de cuatro) así como en el libro titulado *Meteorológica*, donde se discuten las cuestiones astronómicas. En éste último sólo aborda de paso algo sobre los cometas y la Vía Láctea.

En el primer libro *Del cielo*, Aristóteles menciona que la cantidad de materia del Universo es finita pues de lo contrario, si se "tirara" una línea desde el centro de la Tierra a un objeto infinitamente lejano, no alcanzaría ésta a realizar un círculo en veinticuatro horas. Como el espacio sólo existe para contener a la materia, su tamaño será proporcional a ella y si la materia es finita, el Universo, por tanto, será también finito.

Aristóteles dice que son cuatro los elementos del Universo, obtenidos de la combinación de dos pares opuestos. El primero activo: caliente y frío, y el segundo pasivo: húmedo y seco. El Universo se toma entonces como finito y esférico, además de eterno, siempre ha existido y siempre existirá. Su forma, según Aristóteles, se debe a que la esfera es la única figura limitada por una sola superficie, que al girar ocupa siempre el mismo espacio continuamente; los cielos, de hecho, eran esféricos por necesidad "pues es (ésta) la forma más apropiada por su sustancia y también por su naturaleza primaria"²⁸.

Como en la propia concepción de Eudoxo, el Universo es un conjunto de esferas homocéntricas cristalinas e indestructibles, con movimientos perfectos y uniformes. La perfección se hallaba en los cielos; entre más externa una esfera fuera, tanto más perfecta y pura era. Los cielos giraban en la dirección más honorable: de este a oeste, y se componían de elementos propios a sus movimientos. En general, los cuerpos celestes carecían de un movimiento intrínseco, siendo las esferas de cada uno de ellos las que los transportaban por los cielos; al ser así, según Aristóteles, los planetas, al moverse, no producían fricción alguna entre sí, y, por tanto, no podían emitir ni la "música de los pitagóricos", ni ningún otro sonido.

Las estrellas, por ejemplo, eran consideradas, por Aristóteles, como entes esféricos que al ser llevados en conjunto por su propia esfera,

²⁸ Aristóteles, *Del cielo*, op. cit., p.378.

encendían el éter circundante con la fricción generada, lo que resultaba en su brillo y calor aparentes. Ya que se hallan tan lejos de la Tierra, nuestro poder visual era insuficiente y por lo tanto las veíamos "parpadear". En el antepenúltimo libro de su *Metafísica* es donde Aristóteles habla de los sistemas cosmológicos de Platón y de los pitagóricos así como el de Eudoxo y Calipo.

Aristóteles dice que hay un principio o causa motriz en la esfera más externa que se transmite de esfera a esfera consecutivamente, de afuera hacia adentro. Esta fuerza mantiene entonces a las esferas en movimiento y por ende a los propios cuerpos celestes. Para asegurar la transmisión de este impulso, Aristóteles añade individualmente para el sistema de las esferas de cada planeta otras esferas a las que designa como *no-giratorias*.

En el caso de Saturno, el planeta que se consideraba más lejano a la Tierra y por lo tanto más cercano a la esfera de las estrellas fijas, suponía cuatro esferas. Designemos a la más externa como I, a las dos siguientes II y III, y a la más interior IV. Resulta que Aristóteles añade una esfera designada como IVa dentro de la IV, con polos comunes a ésta pero con un giro en dirección opuesta que neutralizaba su movimiento y hacía parecer que cualquier punto de IVa se movía llevado por la esfera III. Colocaba así esferas anti-giratorias basado en este principio sucesivamente hasta llegar a la esfera I. Para Júpiter añade tres más y cuatro para Marte, para Mercurio, para Venus y el Sol. Las estrellas fijas sólo contaban con una esfera pues sólo una era suficiente para su movimiento.

La Luna también se queda con su sistema de esferas invariantes. El sistema, tal cual fue concebido por Eudoxo y Calipo, contaba ya con 33 esferas pero con las 22 de Aristóteles elevó su número a un total de 55.

En la disposición resultante, Aristóteles notaba que no existía regularidad en el número de esferas con la distancia, y sentía que debido a esto parecía no haber homogeneidad en la distribución de materia en el espacio. Aún así, afirmaba que esto era meramente aparente.

La Tierra descansaba inmóvil en el centro, en la región menos divina de todas, sin nada que ver con los eventos celestiales. El centro, decía, es sólo un extremo más del Mundo.

Los cuerpos celestes en su caída describían trayectorias rectilíneas, esto venía a demostrar, no sólo que tal movimiento era propio a ella sino además que la Tierra no se movía. El hecho era que si se arrojaba un objeto perpendicularmente hacia arriba con suficiente fuerza, éste siempre caería en el mismo lugar. Si la Tierra se moviese, tal objeto, al regresar, caería en un punto diferente pues ésta habría avanzado cierta distancia. De cualquier manera, en el caso de que la Tierra se moviera, estaría sujeta, al menos, a dos diferentes movimientos, como es el caso de los demás cuerpos celestes; y en tal caso, los movimientos de los cielos tendrían otro aspecto. Las estrellas, por ejemplo, se levantarían por un lugar y se pondrían por otro totalmente diferente al del día anterior.

Las trayectorias rectilíneas descritas por los objetos al caer tenían que ver con el hecho de que las partes de la Tierra siempre tendían a ella, de la misma forma que el fuego tendía hacia los

cielos en dirección del Fuego Esencial. La Tierra misma tendía también a su posición natural: el centro. Según esto, los cuerpos al caer hacia la Tierra caían hacia el centro del Universo y prueba de esto era que dos objetos que caían simultáneamente, lo hacían con trayectorias que guardaban un cierto ángulo entre sí y no paralelamente.

La esfericidad de la Tierra no estaba en duda para Aristóteles, prueba de ello eran la sombra de ésta sobre la Luna en los eclipses y el cambio que se observaba en los grupos de estrellas vistas en el horizonte y en el zenit en Egipto y en Grecia por ejemplo. El diámetro terrestre según Aristóteles era de 127,379 estadios, es decir, 20,062.21 km si suponemos que cada estadio equivalente a $157.5m^{29}$ y, como una referencia más a su tamaño y al de otros cuerpos celestes, la consideraba menor que muchas estrellas. A partir de este diámetro y hacia arriba se hallaban los otros tres elementos, el agua encima de la Tierra, luego el aire y más allá el fuego. Tales capas se entendían como regiones donde cada uno de estos elementos predominaban y no capas separadas entre sí.

El fuego de la parte superior no se hallaba "encendido" como lo vemos en la Tierra (a manera de llamas), se hallaba en un estado esencial.

La flama era sólo producto temporal de la transformación de elementos húmedos en secos. Aristóteles negaba que fuera de estas regiones hubiera fuego pues de lo contrario éste habría ya consumido todo en los cielos. En vez de fuego, el éter llenaba el espacio de forma heterogénea y con diferentes grados de pureza que variaban con su distancia a la Tierra (a mayor distancia, mayor pureza). Esta materia era esencial para la transportación del calor solar hacia la Tierra. Este calor se debía a la fricción generada por el Sol al ser llevado por sus esferas. No era intrínseco de él, sino del éter calentado que lo circundaba. La Luna y los demás cuerpos generaban "su propio calor" de la misma forma pero claro que en un grado mucho menor. En la parte superior de la atmósfera se producían los meteoros, los cometas y la aurora. Se debían a las evaporaciones que al elevarse se secaban, se calentaban y luego se encendían. La altura alcanzada era la diferencia básica entre cada uno de tales fenómenos.

Como comentario final hay que notar que Aristóteles tuvo muchos seguidores en su época y todavía aún más en los siglos subsiguientes y, como se verá, sus teorías se convertirán en la directriz de pensamiento durante mucho tiempo.

²⁹ Dreyer, op.cit., p.119.

IV. LOS PRIMEROS HELIOCENTRISTAS

En contra de las teorías y doctrinas de Platón y Aristóteles, Heráclides enseña que la Tierra gira en 24 horas sobre su eje, de este a oeste, mientras que los cielos permanecen inmóviles.

Heráclides nace en Ponto, pero vivió en Atenas gran parte del siglo cuarto antes de Cristo. En Atenas fue que se convirtió en discípulo del platonista Speusipo. Es probable, aunque no muy seguro, según nos dice Dreyer, que Heráclides haya sido discípulo de Platón y de Aristóteles aunque sus tendencias eran más bien de tipo pitagórico. Lo que se refleja claramente en su visión cosmológica. Por un lado su parte platonista le hace considerar al Mundo como un dios, algo así como una mente divina, pero por otro lado, debido a su parte pitagórica, toma a cada planeta también como dios o divinidad y cada uno como un Mundo en sí. Como la mayoría de los filósofos importantes, sus ideas del Mundo eran una síntesis de varias corrientes filosóficas adaptadas a una mentalidad propia.

Todas las obras de Heráclides están perdidas, pero según las referencias, que por cierto son abundantes y muy detalladas (particularmente las de sus contemporáneos), abarcaban gran variedad de temas y el estilo en el que estaban escritas era muy particular, pues Heráclides gustaba de adornar sus escritos con fábulas, cuentos y gran detalle.

Diógenes Laercio da una lista de sus obras completas, entre las que se encuentran *Sobre las*

cosas de los Cielos y Sobre las cosas del Hades. La primera, a pesar del título, parece no abordar cuestión astronómica alguna. Es sorprendente que aún teniendo ideas tan avanzadas no es mencionado nunca por Aristóteles. Cabe la posibilidad de que Aristóteles publicara su ya mencionado libro *Del Cielo*, aunque pudo no haber sido así y simplemente éste último se abstuvo de hacer algún comentario sobre tales tesis. Algunos investigadores se inclinan simplemente por la primera posibilidad, tal vez basados en el carácter enciclopédico de las obras aristotélicas y de las críticas que el mismo Aristóteles hace de las ideas pitagóricas referentes a sus concepciones cosmológicas; habría sido una ventaja para el historiador de la ciencia moderno haber contado con un análisis aristotélico de Heráclides, que seguramente nos habría dado una visión panorámica de estas tesis. Curiosamente en un comentario que Simplicio hace a ciertas afirmaciones de Aristóteles sobre los posibles movimientos de la bóveda celeste, se menciona a Heráclides. Simplicio nos dice que, al suponer la Tierra en reposo, Aristóteles plantea que para la esfera de las estrellas fijas y los planetas podría darse el caso de que ambos estuvieran en movimiento o en reposo, sin embargo, nos dice, algunos como Heráclides y Aristarco consideran a la Tierra en movimiento y a los cielos simplemente inmóviles, lo que le parece no sólo erróneo sino también inútil pues, según él, no se resuelve nada con ese mecanismo. Proclo, el filósofo neoplatónico ateniense, tiene un comentario parecido, dice que "Heráclides de Ponto, no escuchando a Platón, sostiene la teoría de que la Tierra se mueve en

un círculo". En un comentario al *Timeo*, Calcidio, otro neoplatónico, nos dice que "Heráclides sitúa a Venus girando en torno al Sol y no en torno a la Tierra"³⁰. Según Calcidio, si las cosas así sucedieran, Venus, en vez de mantener una distancia fija con respecto a la Tierra, se acercaría y alejaría sucesivamente de ella, y bueno, él no lo sabía, pero tenía razón, pues así sucede en realidad; pero él consideraba que ese detalle era invariable.

Los comentarios, en general, parecen no favorecer en absoluto a Heráclides. En cierta forma, muchos, como Simplicio, no tomaban muy en serio los comentarios como los de Heráclides, sólo por la "simpatía" que le tenían a Aristóteles y exactamente lo mismo sucedía con Platón y sus seguidores como Proclo. Se cegaban, y con razón, ante el hecho de que Heráclides fuera muy superior, en lo referente a cuestiones astronómicas, a una figura tan prominente y brillante como Platón.

El comentario de Calcidio supone un orden diferente para los planetas, aunque para entonces no se ve que los filósofos se hubieran puesto de acuerdo a este respecto. El problema estaba básicamente en un punto: ¿"quién" está más cerca de la Tierra?, el Sol, Venus o Mercurio. Como consecuencia de tal idea, Calcidio supone que el Sol se mueve en un círculo concéntrico a la órbita de Venus, la primera encerrada en la segunda. Quizás esto era sólo un intento de compensar en el modelo, la ya conocida velocidad variable del Sol. El historiador Martin supone que Calcidio sólo copió textualmente la

idea o del comentario a la *República* de Platón escrito por Adrasto (SIV a.C.), el discípulo de Aristóteles, o de un libro de Teón de Smyrna, quien vivió cien años antes que él. Martin apoya su afirmación en la tesis de que fue uno de los dos, Teón o Adrasto, el que plantea que el Sol, Mercurio y Venus (en ese orden) giran en círculos concéntricos (a modo de epiciclos en palabras más modernas) en torno a un centro común. Hay dos interesantes ideas sobre esto; esta disposición obedece seguramente al hecho de que Mercurio y Venus, a diferencia de los otros planetas, acompañan siempre muy cerca al Sol y con esta nuevo arreglo, nos dice Teón, las distancias angulares de ambos planetas con el Sol son a lo más 20 y 50 grados respectivamente. Este antecedente de los modelos de Apolonio (de Perga del siglo III, y que veremos más adelante) representa una verdadera ventaja en comparación con los modelos ya planteados. Calcidio y Teón atribuyen este arreglo a Heráclides, aunque lo cierto es que su autor podría ser probablemente algún astrónomo desconocido de Alejandría, pues tal arreglo era bien conocido entre sus muchos seguidores de la antigüedad como *El Egipcio*, confirmándolo así el escritor latino Macrobio (SIV y SV d.C.) en una de sus obras. Los egipcios eran entonces considerados padres de todas las ciencias y eran seguidos por muchos estudiosos, entre ellos Platón. La disposición que ellos daban al orden planetario comenzaba con la Luna como el cuerpo más cercano a la Tierra, luego ponían al Sol, después a Mercurio, a Venus, etc. Usando el arreglo "egipcio", la disposición sería parecida aunque, como los tres primeros estaban siempre

³⁰ Dreyer, op. cit., p.126.

en discusión, intercambiarían sus posiciones a lo largo del tiempo.

Macrobio dice:

"...pero la teoría no escapó a la habilidad de los egipcios siendo como sigue: El círculo por el cual el Sol se mueve, está rodeado por el círculo de Mercurio, siendo ambos encerrados por el círculo de Venus; por lo tanto, sucede que estas dos estrellas, cuando surcan la parte superior de sus círculos, se hallan sobre el Sol, pero cuando corren por la parte inferior se consideran debajo de él"³¹.

Como "padres de todas las ciencias", a los egipcios se les atribuía gratuitamente mucho del conocimiento de la época. La falta de pruebas nos inclinan más a pensar que Calcidio y Teón tienen razón y la conclusión, como dirían en las novelas, es que Heráclides es el padre de *El Egipto*.

Hay que apuntar que esta última afirmación debe tomarse con cierto cuidado, además hay que considerar que, según lo escrito, para Heráclides los modelos matemáticos o su concepción heliocéntrica tenían el objeto, en principio, de salvar el problema de una forma abstracta, mas no imponerse como la construcción real del Universo.

Se desprende que Heráclides comprendió mejor que nadie a Aristóteles, cuando afirmaba que la Tierra es el centro de todo y que todo gira en torno a ella o inversamente, y siempre y cuando ésta esté en reposo, se concluirá lo mismo en cualquiera de los dos casos; con la ventaja, por supuesto, de que suponer lo segundo simplifica notablemente el problema por ser ésta la disposición real.

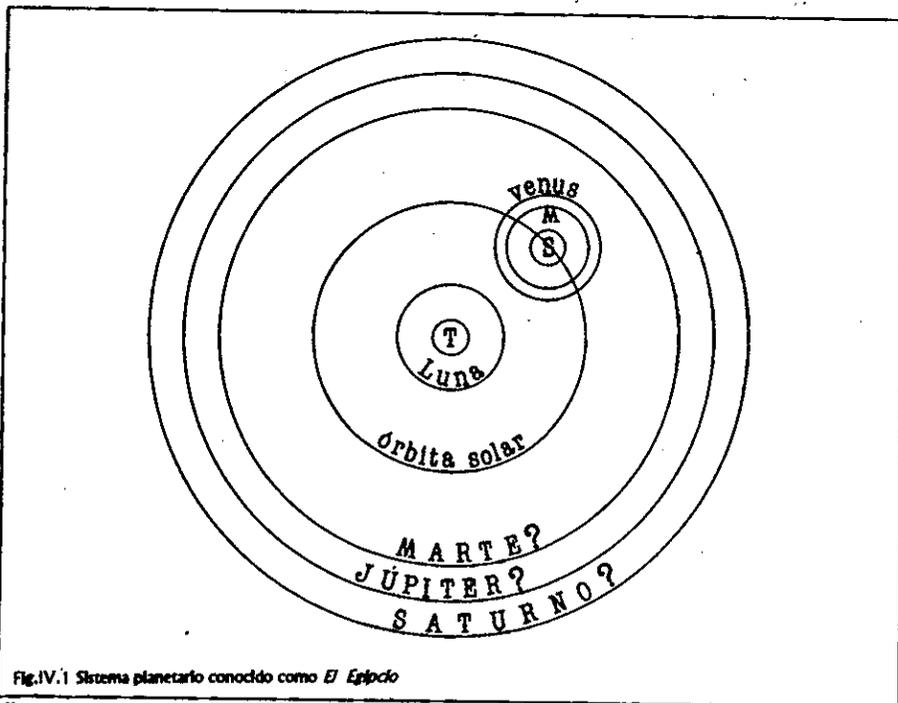


Fig. IV.1 Sistema planetario conocido como *El Egipto*

³¹ *Ibid.*, p. 129.

La teoría heliocentrista era profesada por Aristarco quien era muchos más joven que Heráclides. Aristarco había sido discípulo de Strabo (discípulo a su vez del naturalista sucesor de Aristóteles Teofrasto). Nació en Samos y vivió del 310 al 230 a.C. más o menos.³² Aristarco, como Heráclides, se considera más matemático que filósofo y a diferencia del segundo, si se conserva uno de sus libros, el llamado *Sobre las dimensiones y distancias del Sol y la Luna*. Independientemente de las especulaciones sobre los tamaños de ambos, Aristarco realiza el primer intento serio, en base a pruebas matemáticas también serias, para hallar los valores de tales tamaños. Arquímedes (287-212 a.C.), contemporáneo de Aristarco, aunque mucho más joven que él, en su libro *El reloj de arena* (también llamado *El Arenario*) hace un comentario incidental a las ideas de éste sobre el Universo y es posiblemente, este comentario, la mejor referencia que de él tenemos. Textualmente dice:

"Todos sabéis que el Universo (Cosmos) es el nombre dado por la mayoría de los astrónomos a la esfera cuyo centro es la Tierra. Esta es la versión común que habéis oído a los astrónomos. Pero Aristarco de Samos produjo un libro que consistía en algunas hipótesis en las que aparece, como consecuencia de suposiciones hechas, que el Universo (real) es muchas veces más grande que el que hemos mencionado. Sus hipótesis son que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, que la Tierra gira alrededor del Sol en la circunferencia de un círculo, quedando el Sol en medio de la órbita, y que la esfera de las estrellas fijas, situada cerca del mismo centro del Sol, es tan grande que el círculo en el que él supone que la Tierra gira, tiene con la distancia de las esferas

fijas, la misma proporción que el centro de la esfera tiene con su superficie".³³

Según el párrafo anterior, Arquímedes describe el Cosmos como la esfera con centro en la Tierra y radio igual a la distancia entre ésta y el Sol; la órbita solar se inscribe en la superficie de la esfera de las estrellas fijas y más allá de ella se hallan Marte, Júpiter y Saturno a distancias inconmensurables. Aquí se podría hablar de una analogía con "el Mundo pitagórico" dividido en el *Uranos, Kasmos y Olimpos*. Como el propósito de Arquímedes, en su libro, es calcular el número de granos de arena que cabrían en el Universo, debe, en principio, establecer la forma que tiene éste, lo cual lo lleva a considerar las hipótesis de Aristarco de quien dice supone al Sol como centro del Universo. Aristarco supone que la Tierra gira alrededor del Sol en una gran órbita, aún más grande que aquella en la que se suponía que el Sol giraba en torno a ella, y Arquímedes sólo expone la idea sin discutirla. En opinión de Stephen Mason, esta idea de Aristarco es la más original dada en el periodo alejandrino.

Plutarco, el fundador de la *escuela estoica*, en su libro *Sobre la cara del disco de la Luna* introduce a un personaje que, literalmente, voltea al Mundo de cabeza, sin por ello ser acusado de impiedad por mover el Fogón del Mundo, pues el hombre (Aristarco), para salvar los fenómenos, supone que los cielos se mantienen quietos y la Tierra se mueve en un

³² Según Ptolomeo, Aristarco observó el Solsticio del año 281 a.C.

³³ F. Durham & R. Purrington, *La trama del Universo*, FCE, México (1999), p.79. A su vez de Ptolemaeo en el *Timeo*, p.378.

círculo oblicuo al mismo tiempo que gira sobre su eje.

Al igual que en la cita de Arquímedes, se deja ver el heliocentrismo de Aristarco, aunque aquí se aprecia de forma más clara el que la Tierra no sólo se desplaza por el Universo, sino que además gira, al mismo tiempo, sobre su propio eje.

También los "doxógrafos" citan a Aristarco en un escrito en el que se discuten los eclipses:

"Aristarco pone al Sol entre las estrellas fijas, pero deja que la Tierra se mueva a lo largo del círculo Solar y (dice) que (el disco) se oscurece dependiendo de su inclinación". Muchos autores más hablan de Aristarco, Galeno, por ejemplo, menciona que "Aristarco (dice) que el disco del Sol es oscurecido por la Tierra"³⁴.

Un escolástico anónimo afirma que "...es opinión de Aristarco y sus seguidores que las estrellas y los cielos se mantienen quietos y que la Tierra se mueve de este a oeste y opuestamente"³⁵. Hay dos referencias más, una de Seleuco (SIIa.C.) y otra de Empíricus (SIIa.C.). La primera, muy parecida a la de Galeno, refiere la teoría heliocentrista y menciona que Aristarco se equivoca al proponerla, y la segunda sólo menciona el sistema.

Las referencias confirman la postura de Aristarco pero no nos dicen qué tan desarrolladas eran sus ideas heliocentristas o si realizó cálculos precisos al respecto. Lo que sí es seguro es que fueron rechazadas casi por todos

sus contemporáneos, al punto de ser acusado de impiedad. Por suerte para él, en esa época, tal acusación carecía de peso legal.

De su libro sobreviviente podemos concretamente tener un parámetro real de sus ideas. Al comienzo nos dice que la Luna recibe su luz del Sol, que ésta se aprecia en su fase media (medio llena) cuando el ángulo observado entre ella y el Sol es tres grados menor que un ángulo recto (i.e. 87) y que el diámetro de la sombra de la Tierra a la distancia a la que se halla la Luna es dos veces el tamaño de la Luna, suponiendo que la órbita lunar es un círculo perfecto.

Ayudado de la geometría de Euclides, Aristarco llega a dos importantes resultados. Primero, que el Sol está 19 veces más lejos que la Luna y segundo, que el diámetro del Sol es aproximadamente siete veces el de la Tierra. Aunque los resultados reales son 400 y 109 respectivamente, lo importante es el método aplicado y el intento en sí mismo, aunque el problema halla sido tomado como un ejercicio meramente geométrico. Habría que recalcar al respecto, que en el último resultado, el haber hallado que el Sol era más grande que la Tierra pudo haber sido una de las razones que llevaron a Aristarco a trasladar el centro del Mundo al Sol.

³⁴ *Ibid.*, p.79

³⁵ Orsyer, *op. cit.*, p.139

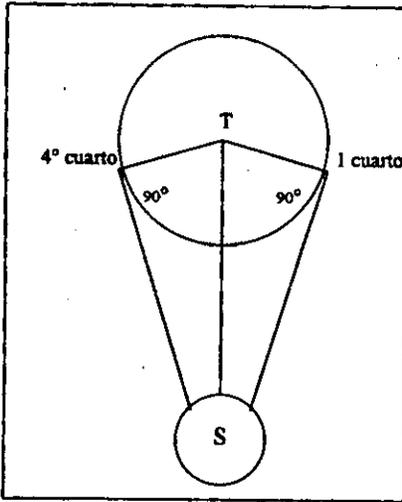


Fig.IV.2. Método de Aristarco para determinar las distancias relativas al Sol y a la Luna

Aristarco mide la distancia angular entre el Sol y la Luna cuando ésta estaba en su primer y cuarto cuartos, o sea, cuando exactamente la mitad de su cara estaba iluminada. Esto aseguraba que el ángulo fuera dos veces 60 grados, pero por algún motivo lo toma como 87^{36} y con este valor obtiene las distancias al Sol y ala Luna. Lo que obtiene simplemente son los cocientes de los tamaños de ambos con respecto a la Tierra, con ellos sólo se necesitaba saber el tamaño de la Tierra para conocer tales valores absolutos. Al parecer, Aristarco nunca se abocó a tal tarea, pero en cambio sí lo hizo uno de sus contemporáneos llamado Eratóstenes.

Para hallar las dimensiones de la Tierra lo principal es conocer su forma real. Para entonces ya todos los filósofos estaban de acuerdo en que la Tierra era una esfera perfecta. Las especulaciones filosóficas habían quedado atrás

en ese sentido. Desde tiempos presocráticos Tales y Parménides especularon sobre la forma esférica de la Tierra apoyados más tarde por los pitagóricos. Para la época de Platón, ya nadie, entre los filósofos, dudaba que así fuera excepto los discípulos de Epicuro (342?-270 a.C.) que a pesar de llamarse a si mismos filósofos tomaban con muy poca seriedad y sin mucho interés el estudio de los fenómenos naturales, como podría ser el caso en nuestros días de los pseudocientíficos dedicados a los fenómenos paranormales. En suma, sus conclusiones y teorías generalmente no tenían base o en su defecto eran bastante dudosas.

Para ellos la Tierra era plana debido al sedimento acumulado por la precipitación de los átomos. Epicuro decía que el Sol era "tan grande como parece ser". En comparación, la opinión de esta escuela carece de peso y su valor es puramente anecdótico histórico y ético.

Más allá de las especulaciones, Aristóteles prueba "satisfactoriamente" que la Tierra es esférica. La sombra circular que se observa durante los eclipses sobre la superficie de la Luna es obviamente resultado de un cuerpo esférico. Entre los egipcios y los caldeos no existe referencia a algún intento por dar un valor a las dimensiones de la Tierra, pero remontándonos al siglo sexto antes de Cristo, hallamos un geógrafo griego llamado Hecateo (de Mileto) que, suponiendo a la Tierra un disco plano, estima que su superficie debe ser algo así como 51 millones de kilómetros ($1/10$ de la superficie real terrestre), suponiendo un radio máximo de 8 mil kilómetros.

³⁶ c.f. Abell/Morrison/Wolff. *Exploration of the Universe*, New York (1987). p.18

Aristóteles supone la circunferencia de la Tierra en 400 mil estadios y Arquímedes supone un valor de 300 mil. El valor de los estadios no está aún bien determinado pero generalmente, para tal efecto, se usaban las dimensiones de un estadio olímpico común cuya medida, aproximadamente, es de 1/6 kilómetros (Mason utiliza $1\text{km} = 6.2\text{e}$). De acuerdo a esto el valor de Aristóteles es de 64 mil kilómetros y el de Arquímedes de 48mil. Como el valor real es aproximadamente 20 mil, el primero es tres veces mayor y el segundo 2.3 veces también mayor.

Posidonio (135-50 a.C.), el filósofo estoico de Apamea (Siria) apodado el Rodio, buscando probar que la Tierra no es plana, menciona que la cabeza del dragón, de la constelación del mismo nombre (Draco), pasa por el zenit de Lisimaquia en Tracia al mismo tiempo que en Cirene, al norte de Egipto, y Cáncer en el mismo punto. La diferencia en la declinación de ambas constelaciones es de 24 grados y la distancia entre ambas ciudades 20 mil estadios; se infería que la circunferencia terrestre debía ser 300 mil estadios, valor que coincidía con el de Arquímedes. Posidonio añade que la Tierra es sólo una ínfima parte del Universo y, de acuerdo al valor obtenido (finito), no puede ser plana. Eratóstenes realiza el mismo cálculo pero de forma más rigurosa.

Eratóstenes de Cirene (276-196 a.C.) era bibliotecario, jefe del museo de Alejandria, astrónomo y geógrafo de la escuela de la misma ciudad, pero es más conocido por sus trabajos en ésta última materia. El método de Eratóstenes es simple y brillante, y parece ser que escribió un

libro al respecto. El notaba que en Siena (Egipto, ahora Assuán), en el primer día de verano, los rayos del Sol caía perpendicularmente en el fondo de un pozo, pero simultáneamente, en Alejandria, que se hallaba al norte a considerable distancia, los mismos rayos caían, no perpendiculares como muchos esperarían, sino con siete grados de inclinación (a pesar de ser paralelos), proyectando, por tanto, una sombra. Geométricamente podemos considerar que los rayos del Sol caen paralelamente en ambas ciudades pues la distancia entre ellas es insignificante comparada con la distancia entre la Tierra y el Sol (150 millones de kilómetros).

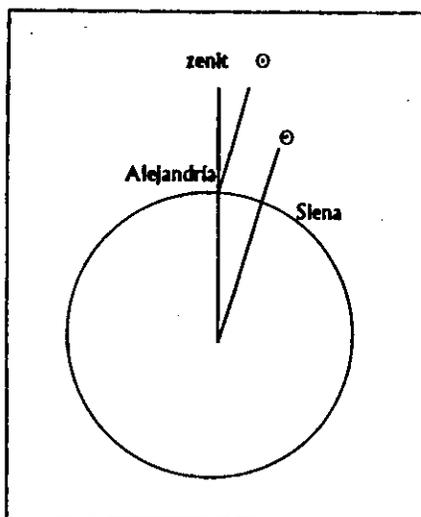


Fig.IV.3. Método de Eratóstenes para determinar el tamaño de la Tierra

La diferencia de siete grados implica que esa distancia no es más que 1/50 de la circunferencia de la Tierra. La circunferencia será así 50 veces tal distancia ó 250 mil estadios (después ajustados a 252 mil) aproximadamente 40 mil kilómetros, por tanto, un radio de 12,732

km., casi el doble del real. En este aspecto de las mediciones, parece que Eratóstenes no tuvo mucho cuidado.

Usando el trabajo de sus antecesores, Eratóstenes hizo un mapa de la Tierra conocida, dividido por líneas de latitud y longitud. El mapa lo separó además en cinco zonas climáticas: dos frías, dos templadas y una tórrida. El meridiano de referencia (como el de Greenwich en nuestro caso) lo colocó en Siena y Alejandría. Como paralelo de latitud fundamental tomó la línea de los 36 grados que pasa por el estrecho de Gibraltar y Rodas. Eratóstenes decía que "si no fuera por la vasta extensión del océano, sería posible navegar de España a la India siguiendo el mismo paralelo"³⁷.

Conocer el tamaño de la Tierra resultaba sumamente importante y útil para lograr una imagen más acabada del Mundo, pero los esfuerzos se seguían centrando en el mecanismo geométrico, y, en este momento de la historia, se preparaba el primer paso para los primeros modelos geométricos complejos que serían

desarrollados por hombres como Aristarco, a quien podemos considerar como el último de los grandes filósofos griegos anteriores a Cristo, después de él seguirán una gran cantidad de filósofos cuyas aportaciones sólo implicarán el desarrollo de las teorías que dominarían el pensamiento astronómico, entre ellas, las del mismo Aristarco y de otros tres grandes: Apolonio, Hiparco y Ptolomeo.

El primero, Apolonio de Perge (n220a.C.), en busca también de lograr un modelo geométrico que explicara las irregularidades planetarias, sugiere las dos más notables construcciones geométricas, conocidas como los modelos de *epiciclos* y *excéntricos* respectivamente.

Apolonio fue un gran matemático de la segunda mitad del siglo tercero y vivió gran parte de su vida en Alejandría. Era más conocido por sus trabajos relativos a las secciones cónicas, de hecho, gran parte del trabajo del matemático Euclides (SIII a.C.), autor de *Elementas*, base de la geometría plana actual, se debe a él.

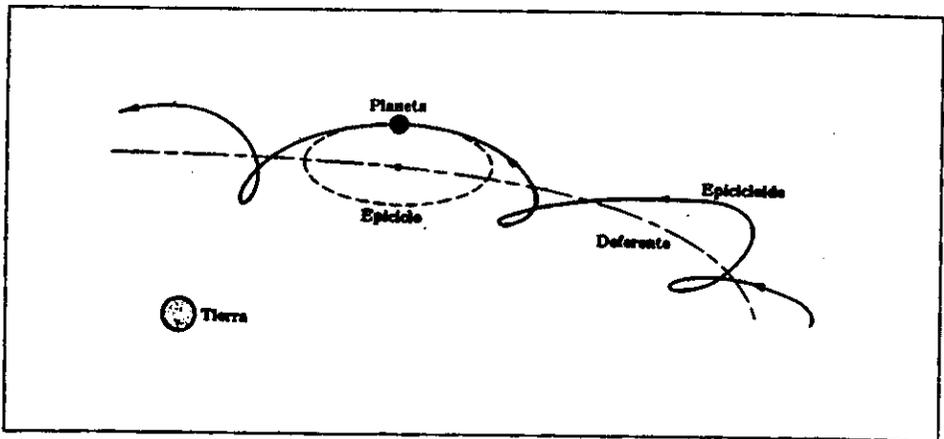


Fig.IV.4. Modelo epiciclotidal

³⁷ Mason, op. cit., p.65.

El modelo de los epiciclos añade una ligera variación al movimiento de un planeta. Recordemos aquí que el modelo de *El Egipcio* suponía que Mercurio y Venus giraban en torno al Sol y éste, a su vez, en torno a la Tierra. El modelo de epiciclos es algo parecido, pero se aplica, de forma general, a cualquier planeta. El planeta gira circularmente en torno a un punto C que a su vez gira, también circularmente, en torno a la Tierra. Al primer círculo se le llama *epiciclo* y al segundo, que es mucho grande que el primero, *deferente*.

Esta simple disposición generaba una trayectoria ciertamente complicada (parecida a la que se observa en el movimiento planetario) pero simplificaba notablemente los modelos ya existentes, sólo compárese con los de Eudoxo,

aunque las trayectorias resultantes son muy parecidas.

En el esquema se aprecia bien como la trayectoria se vería desde "afuera" al desplazarse el epiciclo en torno a la Tierra (T). Las partes retrógradas de la trayectoria se aprecian satisfactoriamente.

Equivalentemente, el modelo excéntrico simplemente desplaza el centro de la trayectoria circular del planeta, de la Tierra a un punto cercano a ella.

Estrictamente hablando, se trata de un sistema no geocéntrico. Aunque ambas teorías son equivalentes, la de los epiciclos tuvo mayor número de seguidores en la época de Apolonio, pues explicaba aparentemente mejor los movimientos retrógrados.

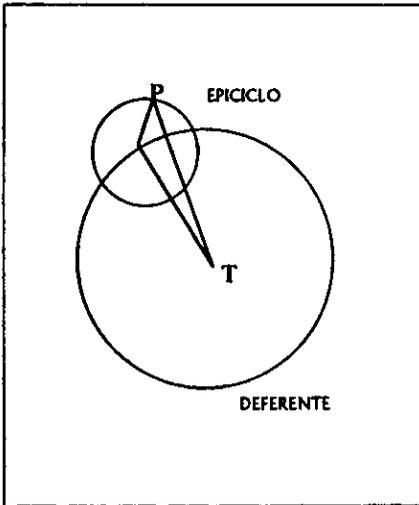


Fig.IV.5 Modelo de los epiciclos

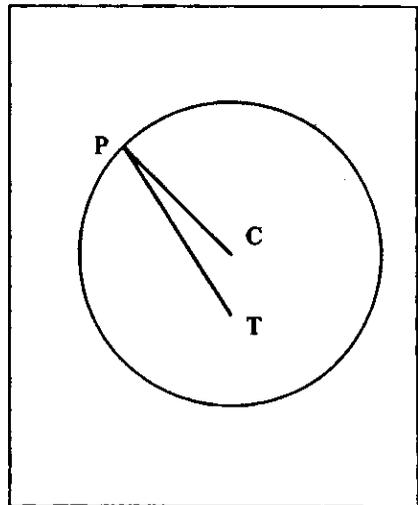


Fig.IV.6 Modelo excéntrico

Hiparco (190-120 a.C.) nace en Nicea (Bitinia) pero pasó su vida en Rodas, tal vez, la ciudad más próspera de Grecia. En esa época (SIIa.C.) sólo Alejandría, donde es muy posible que Hiparco haya pasado algunos años, rivalizaba con ella en el terreno intelectual. Hiparco fue simplemente el ciudadano que le dio más renombre a Rodas, por ser el más grande astrónomo de la época.

De todas sus obras sólo se conserva un libro que data del 140 a.C. en el cual expone los fundamentos de la trigonometría. Además de criticar a Eratóstenes duramente, se aprecia en su obra general, mucha preocupación y cuidado en el manejo de los datos, lo que redundó en una gran precisión en sus resultados. Fuera de este libro, contamos sólo con referencias, sobre todo de Ptolomeo. Las teorías, descubrimientos y datos de Hiparco y Ptolomeo, se confunden al grado de no saber que tanto se debe a uno o a otro.

Hiparco erigió un observatorio en su ciudad adoptiva y construyó algunos aparatos de medición con los cuales logró, para el 129 a.C., un catálogo de estrellas que constaba de más de 850 de ellas, ubicadas por coordenadas y divididas en seis categorías de acuerdo a su brillo aparente. La primera categoría era la de las más brillantes y la sexta la de las estrellas más débiles. Los datos que se tenían en Alejandría sobre astronomía desde hacía 150 años junto con sus propios datos y teorías, lo llevaron a darse cuenta que los cielos desde entonces habían "cambiado". De ahí dio el salto a su gran descubrimiento: la precesión de los equinoccios.

Siguiendo el método de Aristarco para determinar los tamaños y distancias de la Luna y el Sol, Hiparco obtiene mejores resultados que él. Mientras Aristarco usa el valor de 2 grados para el tamaño angular de la Luna y el Sol respectivamente, Hiparco usa $\frac{1}{2}$ grados. Hiparco también corrige el dato del tamaño de la sombra de la Tierra a la distancia lunar de 2 a $\frac{8}{3}$ (en tamaños terrestres) como debería ser. Era de esperarse que sus resultados fueran mucho mejores. Obtiene finalmente que la distancia entre la Tierra y el Sol era de 59 radios terrestres contra los 60 del valor real.

Ciertamente Hiparco desarrolla una aceptable teoría sobre los movimientos del Sol y la Luna con más éxito con el primero que la segunda. La herramienta introducida por Apolonio era muy poderosa e Hiparco se daba cuenta de ello. La combinación de la teorías de epiciclos y círculos excéntricos le dio muy buenos resultados. Desde un punto de vista puramente matemático, que seguramente era la visión de Hiparco, el problema se reducía a hallar la combinación adecuada de círculos.

En palabras de Ptolomeo, Hiparco confiaba en esta combinación de teorías, pero sólo en el caso de la Luna y el Sol. Según Ptolomeo, para Hiparco no existía una teoría suficientemente satisfactoria que fuera aplicable al caso de los cinco planetas restantes. Seguramente Hiparco buscó desarrollar tal teoría pero por lo que sabemos no lo logró.

Hiparco demuestra también que es indiferente el uso de una u otra teoría; ambas llevan al mismo resultado. La hipótesis con los círculos excéntricos dice que el Sol describe en el año

tropical un círculo con cierto radio r , con la Tierra a un distancia igual a una fracción de este radio, digamos e .³⁸ Ahora la hipótesis con los epiciclos nos dice que el Sol se mueve durante el año tropical en un epiciclo de radio e con dirección este oeste mientras que el centro del epiciclo, en el mismo periodo pero en dirección opuesta, describe un círculo de radio f con centro en la Tierra. Teón de Smyrna dice que Hiparco se inclinaba por esta teoría debido a que era más creíble y simétrico un arreglo con la Tierra como centro. Hiparco calculaba que el Sol, el punto más alejado (de la Tierra) de su órbita, llamado el apogeo (aquí A), se hallaba a $65^{\circ} 30'$.

Para la época de Hiparco se conocía bien el hecho de que las estaciones no se daban en periodos iguales, pues existen ciertas desigualdades que había que tomar en cuenta para describir con precisión el movimiento del Sol. Hiparco se dio a la tarea de medir minuciosamente tales desigualdades a lo largo del año. De antemano había supuesto que el centro de la órbita solar estaba desplazado de la Tierra, además había optado por el modelo de los

círculos excéntricos como su "modelo de cabecera". Según sus mediciones calculó la distancia entre la Tierra y el centro de esa órbita como $1/24$ de la distancia Tierra-Sol. Más tarde, profundizando en su teoría, descubrió que el Sol se hallaba más cerca de la Tierra en diciembre. Hoy en día, debido a la precesión y a su velocidad variable, el acercamiento máximo se da en enero.

Su teoría lunar no es tan buena como su teoría solar. También usa un círculo excéntrico, pero en este caso supone que el centro de la excéntrica gira lenta y circularmente en torno a la Tierra con un periodo de $18 \frac{2}{3}$ años. En realidad el diámetro de la órbita lunar que une los puntos más lejano y más cercano de ella (llamada línea del ápsides) tiene un giro de este a oeste con un periodo de sólo la mitad del valor obtenido por Hiparco, es decir, 9 años. Este giro provoca que los periodos de revolución del círculo deferente y del epiciclo difieran en más o menos tres grados. Diremos, para terminar este capítulo, que las teorías de Hiparco son decisivas en el pensamiento occidental futuro, tal pensamiento dominaría por muchos siglos, pero (como veremos inmediatamente) Ptolomeo termina de moldear e impulsar esas mismas ideas.

³⁸ El año tropical es el periodo en el cual la Tierra completa una revolución en torno al Sol con respecto a un punto de referencia en la esfera celeste llamado *Equinoccio Vernal*. El valor que Hiparco fija para e es 0.04186.

V. PTOLOMEO

Bajo el dominio de los emperadores romanos, el auge de la cultura griega disminuyó notablemente hasta el punto del estancamiento. Los romanos, por lo tanto, se dedicaron a la imitación (en el mejor de los casos) en el aspecto científico, sin lograr ninguna innovación y es paradójico el hecho de que los grandes avances en la astronomía y las matemáticas se dieran precisamente en estos periodos de decadencia científica, un periodo delimitado históricamente por el Periodo Helenístico (1325-146 a.C.) y el Periodo Grecorromano (146 a.C. al 476 d.C.).

Algunos parecen culpar a Platón y a sus discípulos por afirmar que en el mejor de los casos cualquier descripción humana del Universo será una mera aproximación. Esto provocó cierta desconfianza y desinterés en los estudiosos de los tiempos posteriores, debido a la gran influencia que tuvo Platón y su escuela, por la especulación científica y racional como herramienta para lograr un conocimiento verdadero del Universo. A pesar de ello, se dieron brillantes destellos. La ciencia en general, pero particularmente la astronomía y las matemáticas, parecían andar a marchas forzadas, impulsadas por unas cuantas mentes. Los científicos de entonces, como Hiparco, parecían darse cuenta de que algo andaba mal con sus teorías. El Universo daba la apariencia de no comportarse con la circularidad y uniformidad que las teorías planteaban; pero desafiar a Aristóteles estaba fuera de discusión y era más

fácil desoir a Heráclides y a Aristarco. Tal vez las teorías heliocentristas del segundo eran demasiado violentas para la época, pues requerían todo un nuevo marco de pensamiento. El que la Tierra se desplazara, hacía pensar que en los cielos se observarían cambios muy drásticos, a menos que las estrellas estuviesen muchísimo más lejos de lo que todos pensaban, y tal idea era inaceptable. De cualquier forma se buscaba, al menos, "guardar las apariencias" con teorías que aparentasen circularidad y uniformidad. Tales teorías eran las de los epiciclos, deferentes y excéntricas, desarrolladas por Hiparco, aunque corregidas y perfeccionadas por Ptolomeo. Esta forma de pensar se refleja claramente en la siguiente frase del mismo Ptolomeo: "Deberemos aceptar lo mejor que podamos, la hipótesis más sencilla a los movimientos celestes. Pero si éstos resultan insuficientes, deberemos escoger otros que convengan mejor"³⁹.

Claudio Ptolomeo nació y vivió en Alejandria, Egipto, bajo los periodos de los emperadores Adriano y Antonino. Se desconocen las fechas de su nacimiento y muerte, aunque si su primera observación astronómica dice haberla realizado en el onceavo año de Adriano (127 d.C.) y su última data del 150 d.C., su vida entonces debió haber transcurrido entre el 85 y el 165.

Ptolomeo no sólo compila todo el conocimiento astronómico de sus predecesores, se puede decir que lo mejora. Su trabajo más conocido es la *Sintaxis matemática*, conocida entre los árabes

³⁹ Ptolomeo, *Almagesto*, Enciclopedia Britannica, Great Books of the Western World Vol.9, University of Chicago (1952), Lib.I, p.6.

como *El Grande* o *Al-Majisti*; de ahí el nombre de *El Almagesto* que todos conocemos. El *Almagesto* consta de trece libros y es quizás la obra astronómica más importante de la historia.

Después de Hiparco, tuvieron que pasar 260 años para que el estudio de los cielos reviviera. En estos casi tres siglos, prácticamente no pasó nada, astronómicamente hablando, excepto por algunas observaciones realizadas por Posidonio (135-50 a. C.) y Agripa en Bitinia, que en el año 92 d.C. observó las ocultaciones de las Pléyades, así como también las observaciones de las ocultaciones de Spica y β -scorpi realizadas por el matemático alejandrino Menelao, en el año 98 d.C.

Ptolomeo, al principio de su primer libro, plantea un marco general de las ideas astronómicas y cosmológicas hasta entonces. Visualiza a la Tierra como una esfera en el centro del Universo, rodeada por cielos, también esféricos, que giran sobre su propio eje circularmente. El hecho de que las estrellas circumpolares se moviesen en círculos y de que las demás estrellas se levantasen y pusiesen en los mismos puntos era prueba contundente de tal afirmación según Ptolomeo. La Tierra se mantenía en el centro, inmóvil, por ser ésta su posición natural; de lo contrario, si se hallase fuera de ese centro, las diferentes partes de la bóveda celeste se hallarían a diferentes distancias de ésta y observaríamos diferencias notables en los tamaños de las estrellas de un lado y del opuesto. La inmovilidad de la Tierra era una tendencia natural de la misma debido a su composición. Como en las tesis aristotélicas, Ptolomeo supone que el movimiento es propio de

los objetos de naturaleza diferente a la térrea. Los objetos térreos contrariamente, cuando se hallaban en movimiento, tendían siempre a la inmovilidad, y tal era la razón por la cual "se resistían" y resultaba difícil ponerlos en movimiento. A mayor tamaño, mayor dificultad. El movimiento de la Tierra, por lo mismo, sería algo muy violento y por ello no se mueve. Ptolomeo tenía dos objeciones más a la posibilidad de movimiento de la Tierra; el primero nos dice que si un objeto fuese lanzado al cielo, siempre se dirigiría al oeste (si el giro fuese hacia el este), en segundo lugar, la fuerza generada por ese giro, sería tal que todo saldría expulsado hacia los cielos. En resumen las mismas ideas de Aristóteles. En muchas de sus teorías, Ptolomeo coincidía totalmente con Hiparco, es más, se dice que tenía una fe ciega en él. No sólo no cuestionaba sus resultados sino que además, modificaba los suyos para ajustarlos a los de él. Esto lo llevó irremediablemente a cometer errores considerables y es esta una de las razones por la que se le critica duramente haciendo pensar a algunos que él no hacía observaciones y tan sólo se dedicaba a computar tablas. Es obvio que no es así. Aunque muchos de sus cálculos tienen serios errores sistemáticos, su trabajo habla por sí solo. Es de gran relevancia y debe resaltarse lo que logra Ptolomeo en las teorías de la Luna y de los planetas usando su propia adaptación de los modelos de Apolonio.

El problema más sencillo de todos es el referente al Sol, pues sólo requería una sola excéntrica o el epiciclo correspondiente con la Tierra obviamente en el centro. Las cantidades

relevantes en la teoría solar son la oblicuidad de la eclíptica, la excentricidad de la órbita solar y los valores para la longitud del año. Los valores dados por Hiparco para los periodos entre el equinoccio de primavera, el Solsticio de verano y el equinoccio de otoño eran $94 \frac{1}{2}$ y $92 \frac{1}{2}$ días de donde se derivaba una excentricidad de $1/24$ (valores, por cierto, muy cercanos a los actuales), además de obtenerse un valor para la longitud del año haciendo comparaciones con sus propios valores, de los cuales obtiene el mismo valor que Hiparco (365d 5h 55.2m siete minutos mayor que el valor real). Comparando las observaciones propias de ciertas estrellas en los solsticios y equinoccios con las observaciones correspondientes de Hiparco, nota que había habido un avance en la dirección de los signos zodiacales, por ejemplo, la observación de Regulus, comparada con la de Hiparco, tenía un cambio de $2^\circ 40'$ a lo largo de 265 los años; supone entonces un "corrimiento" de 1° cada 100 años. Ese valor persiste cuando se comparan sus valores con los de otros astrónomos, específicamente en las ocultaciones y conjunciones con la Luna de las Pléyades, Spica y β -Scorpi, estas últimas, realizadas por Timocaris en Alejandría, Menelao en Roma y Agripa en Bitinia. En realidad el valor es de 1° cada 72 años pero tal error, aunque grave pues altera muchos de sus posteriores cálculos, no importa si tomamos en cuenta que confirma el descubrimiento de Hiparco sobre la precesión de los equinoccios.

Más compleja que la teoría solar, la teoría lunar es mejorada notablemente por Ptolomeo. La teoría lunar de Hiparco era satisfactoria para

la época, pero tenía serios puntos débiles. Hiparco simplemente usó, como vimos en el capítulo anterior, un epiciclo moviéndose circularmente a lo largo de una deferente con centro en la Tierra. Entre otras cosas, esta disposición, no explicaba el porqué se observaba un cambio aparente en el tamaño y brillo de la Luna. Inicialmente Ptolomeo confirma las teorías y resultados de Hiparco en este aspecto y en los casos que el considera necesario los corrige. Su punto de partida es una revisión de los movimientos lunares diarios con respecto a su longitud y relativos al Sol⁴⁰. Como el periodo sinódico y el año sidereal coinciden con los valores de Hiparco, se abstiene de modificarlos.

Usando los datos babilonios existentes de dos eclipses, uno del 721 y otro del 720 a.C., y comparándolos con tres observaciones hechas por él mismo, de otros tres eclipses (uno del 133, otro del 134 y el último del 136 d.C.) obtiene el periodo anómalo lunar⁴¹. El regreso al mismo nodo de la órbita lo calcula de la misma manera usando dos eclipses más, uno del 461 a.C. y otro del 125 d.C.

El mecanismo implementado por Ptolomeo para el movimiento específico de la Luna complica bastante su movimiento desde el punto de vista geométrico, pero explica mucho mejor el movimiento observado. Básicamente uno de los problemas era que la línea del ápsides se observaba que rotaba muy rápido.

⁴⁰ En el primer caso obtiene 13, 10, 34, 58, 33, 30 y 30 en grados y en el segundo 12, 11, 28, 41, 20, 17 y 59 también en grados.

⁴¹ I.e. el tiempo que tarda la Luna, desde el punto más alejado de su órbita (el apogeo) en regresar a ese mismo punto.

Explícitamente el centro de la deferente de la órbita lunar tendría una órbita propia en torno a la Tierra. Sobre la deferente gira entonces el epiciclo que lleva a la Luna. El movimiento resultante es un alejamiento y acercamiento sucesivos que sí explica el cambio en el tamaño aparente de la Luna.

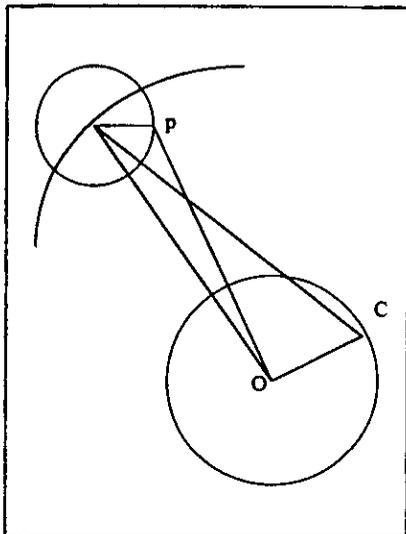


Fig.V.1 Movimiento lunar ptolemaico

Una vez que Ptolomeo consideró completa la teoría lunar se enfocó a la teoría planetaria con la que no estaba satisfecho y que quizás será la parte más importante de todas las aportaciones que haría a la astronomía y a la formación de un pensamiento cosmográfico más completo. Las cinco "estrellas" errantes, como él se refiere a ellas, restringen, según Ptolomeo, sus movimientos a la eclíptica al moverse en torno a la Tierra. Las deferentes de cada planeta guardan un ángulo particular con respecto a este plano. Tales ángulos eran tan pequeños para él, que

para efectos de cálculo no los toma en cuenta. Las órbitas planetarias eran más excéntricas que concéntricas a la Tierra para que así se pudieran compensar las desigualdades en el movimiento de cada uno de los planetas, con respecto a las constelaciones del zodiaco, que se deben realmente a la elipticidad de la órbita terrestre. El movimiento retrógrado y las dos desigualdades en las longitudes de las estrellas se explicaba con el movimiento de cada planeta en su epiciclo correspondiente. Para los planetas "exteriores", la línea que unía el centro del epiciclo con el planeta siempre se mantenía paralela a la línea que apuntaba hacia la posición promedio del Sol; mientras que para los planetas "interiores" el centro del epiciclo yacía en esta línea. Esta disposición parecía no bastar para Ptolomeo, pues se percataba de ciertos puntos que no eran explicables a través del movimiento excéntrico. El lugar en el que observaba cierto planeta y su lugar promedio diferían sensiblemente dependiendo de la distancia entre éste y la Tierra. En su punto más lejano, tal diferencia era muy grande, y en el más cercano mínima. Para explicar esta desigualdad Ptolomeo introduce un punto de "igualación" o *punctum aequans* entre ambos puntos de la órbita (o sobre la línea del ápsides). La desigualdad estaba aparentemente salvada si se igualaba la distancia entre la Tierra y el centro de la deferente (C en el siguiente esquema) con la distancia entre éste último y el punto ecuanter (E), i.e. $TC = CE$. Aunque este punto no parecía tener una relación directa con la teoría planetaria, la distancia entre el centro del epiciclo y E describía ángulos iguales en tiempos

iguales. E, era por tanto, el centro de los movimientos iguales y C el de las distancias iguales.

Ptolomeo, debe así tratar por separado el caso de los planetas exteriores e interiores. En la figura se observa de forma más clara como el centro del epiciclo se moverá uniformemente con respecto al ecuante y no con respecto a la Tierra.

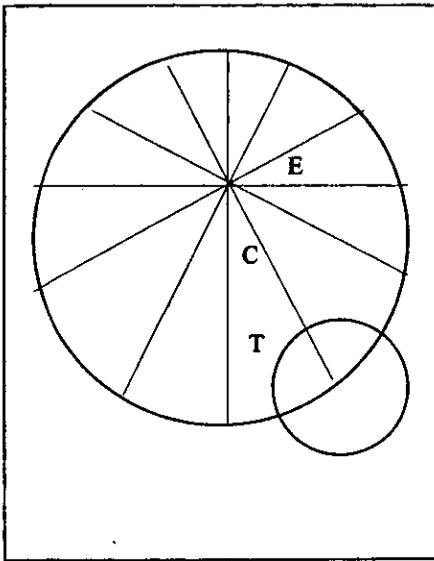


Fig.V.2 El movimiento general de un planeta

La diferencia de este modelo y el de Mercurio y Venus (los interiores) es muy grande, aunque guardando el mismo principio.

Este punto de la teoría es crucial, pues viola claramente la concepción que se tenía de la uniformidad que los cuerpos celestes guardan en sus movimientos, al menos con respecto a la Tierra.

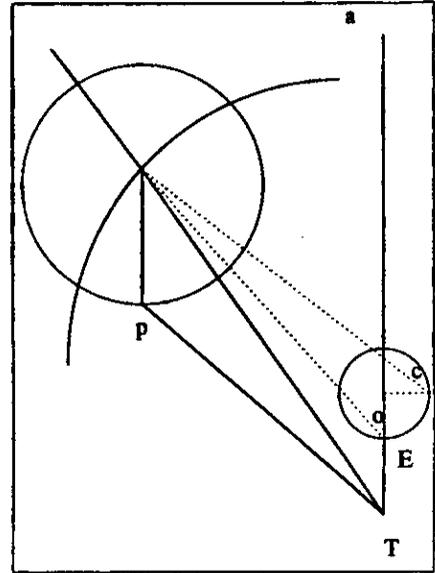


Fig.V.3 Movimiento de los planetas exteriores

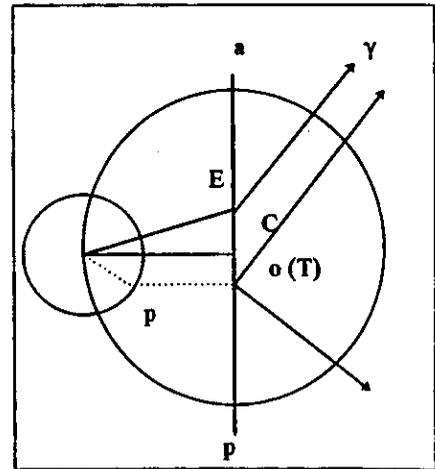


Fig.V.4 Movimiento de los planetas interiores

El sexto libro de Ptolomeo está dedicado a computar los eclipses solares y lunares. A diferencia de los caldeos, Ptolomeo no da solamente una secuencia de fechas de eclipses,

sino que de cada uno de estos da un tratamiento particular. Gracias a esto se podían observar las características particulares de cada uno y derivar importantes datos tales como las diferencias de longitud entre uno y otro.

En este mismo libro Ptolomeo "publica" el primer catálogo de estrellas (fijas) que se conoce. Para cada una de las 1022 estrellas del catálogo da sus coordenadas (en latitud y longitud) con respecto a la eclíptica, así como su grado de brillantez referido como magnitud. Las magnitudes, como en el caso de Hiparco, se designan como de primera, segunda y hasta sexta magnitudes; designación que se ha mantenido desde entonces. Hiparco mismo se dice que tenía su propio catálogo de 800 estrellas. Tales datos fueron seguramente copiados por Ptolomeo y corregidos en 1° según consideraba, basado en la precesión. En realidad Ptolomeo se queda corto 1° más. Para mayor precisión, Ptolomeo añade los términos *mayor* o *menor* para algunas estrellas y particularmente para seis: Aldebarán, Betelgeuse, Arcturus, Antares, Pollux y Sirio, y también les asocia un término de color, le llama *amarillentas* (*hypokirros*). Para las cinco primeras (estrellas de primera magnitud) el color coincide con el observado, pero Sirio no es amarilla sino blanco-azulada. Algunos argumentan que en estos casos dos mil años pudo haber cambiado su color, pero desde el punto de vista astrofísico tal variación de color tan dramática está excluida, pues llevaría, no miles, sino millones de años. Lo más probable es que Ptolomeo considerara tal coloración según esta estrella se veía en el

horizonte, enrojecida por efectos atmosféricos, como sucede con la Luna y el Sol.

La geometría era vista por los griegos como la única ciencia abstracta manifiesta en el mundo visible. La aplicación de la geometría a la maquinaria universal enfrentaba a los antiguos con el aspecto real de la ciencia, pues los productos matemáticos de la imaginación tomaban forma real en los movimientos celestes. Ptolomeo se percataba de ello al comienzo de su obra y por ello nos dice: "Estudiando las órbitas de las estrellas mis pies no tocan la Tierra y sentado a la mesa de Zeus mismo se me consiente con la ambrosía celestial"⁴².

Aún así, Ptolomeo insiste en que tales representaciones son sólo eso, con el único objetivo de simplificar y facilitar por tanto la comprensión de los movimientos celestes. Aunque su sistema parezca guardar poca uniformidad de movimientos respecto a la Tierra, esto sólo era un efecto geométrico y la Tierra se hallaba en el centro real de sus movimientos celestes. A pesar de todo, Ptolomeo no se había sacudido (al menos del todo), como muchos de sus predecesores, los aspectos teológicos y astrológicos de la concepción universal antigua.

A los trece libros de su *Sintaxis Matemática* le siguen cuatro más, que tal vez se separaron y titularon aparte de los anteriores por razones obvias y de hecho se ha supuesto que ni siquiera pertenecen a Ptolomeo. En estos cuatro libros llamados *Tetrabiblos*, Ptolomeo teoriza sobre la influencia de los cuerpos celestes, sobre la

⁴² Ptolomeo, op. cit., pp. 248-249.

Tierra, el hombre, los animales y los sucesos terrenales en general. Ptolomeo dice "... que cierto poder se emana y disemina desde el mundo eterno del éter sobre toda la Tierra y sus alrededores completamente sujetos a cambios; que los primeros elementos sublunares, fuego y aire se acompañan y cambian debido al movimiento del éter y que ellos acompañan y cambian todo lo demás, tierra, agua, animales y plantas..."⁴³.

En general Ptolomeo atribuye al Sol, a la Luna y a sus diferentes estados, así como a las posiciones de estos y de las estrellas, los eventos terrestres, desde el clima hasta el comportamiento de los hombres, su lugar de nacimiento, nacionalidad, etc.

De este aspecto de Ptolomeo se menciona muy poco, tal vez, debido a la ridícula idea de que tales concepciones podrían restarle mérito a su trabajo. La nueva visión del Mundo que

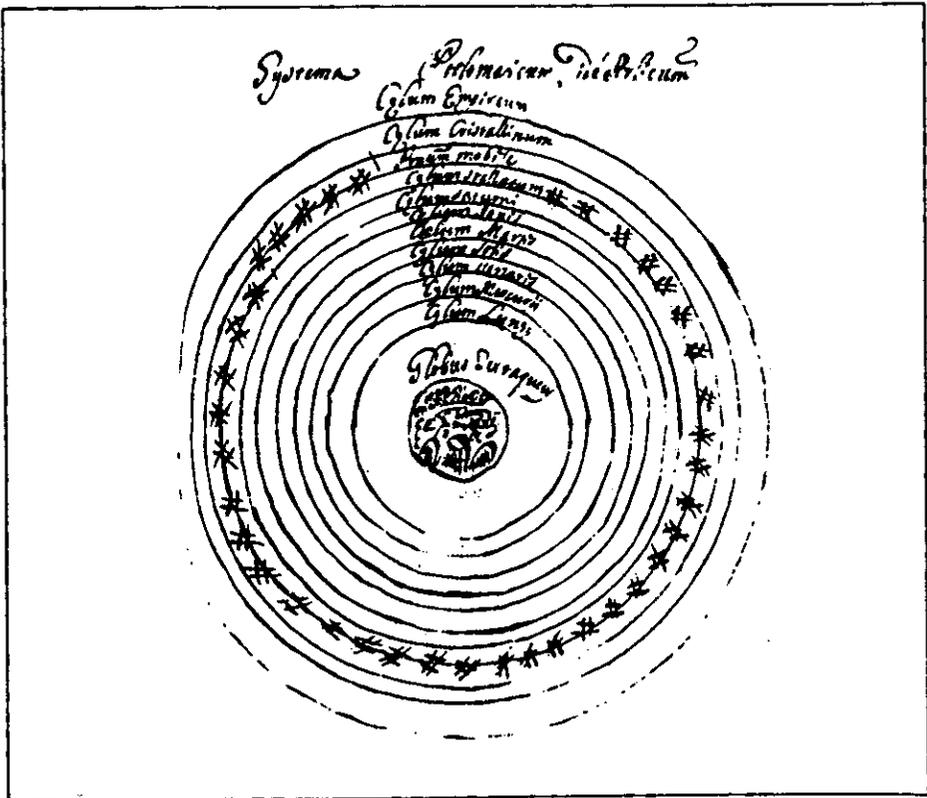


Fig. V.5 Representación del modelo de Ptolomeo,

⁴³ Ibid. p.249.

definitivo durante muchos años. Así pues, la geometría se establece como la solución a toda la visión cosmográfica. Muchos matemáticos como Pappus, Diofanto (325-409), Teón de Alejandría (fines del SIV d.C.) y Proclo (412 - 485), sucedieron a Ptolomeo, pero ninguno aportó nada nuevo a las concepciones filosóficas, cosmológicas o al conocimiento astronómico.

Los últimos vestigios de la gran obra alejandrina casi desaparecieron en el 389 d.C. con la quema de su biblioteca y los últimos

destellos de la filosofía griega murieron con los neoplatónicos (cuyo máximo exponente fue Proclo) cuando el emperador Justiniano los eliminó en el 529 d.C. El cristianismo se apoderó del Imperio Romano (y de Europa en general) sumido ya en la ruina y el caos. Las masas ávidas de esperanza y un mejor futuro lo abrazaron fácilmente dejando atrás sus antiguas creencias y filosofías. Todo se sumía en una oscuridad casi total, una noche ideológica que duraría casi un milenio.

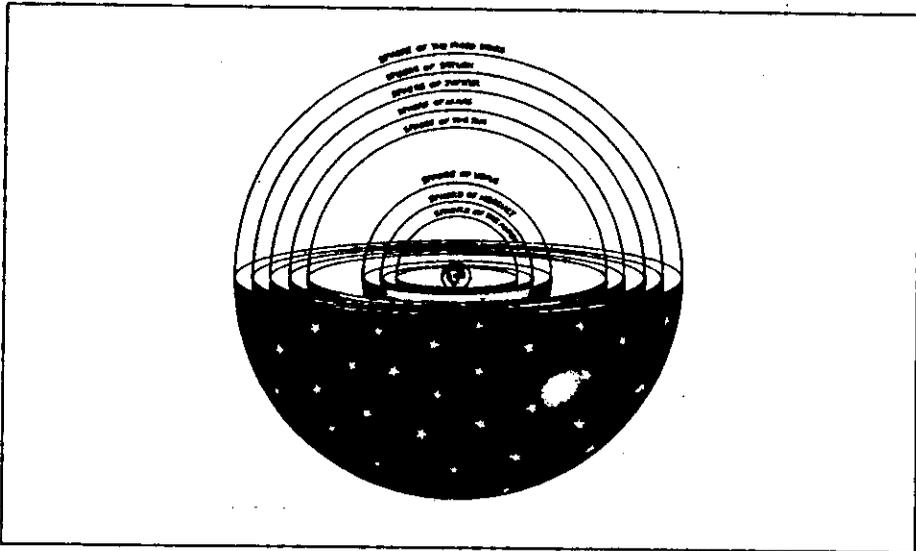


Fig. V.6 Otra representación del sistema ptolemaico

VI. EUROPA Y LA REGRESIÓN IDEOLÓGICA

El año 375 d.C. marcó el comienzo de la caída del Imperio Romano, que sería destruido en los siguientes cien años, empezando con la invasión de Europa por los hunos. Precisamente en el 476 cae el último de los emperadores y Europa fue dividida entre los conquistadores. El entonces imperio estaba ahora dominado por la ruina y la devastación. La economía quedó reducida a una pobre agricultura desarrollada por campesinos que eran gobernados por señorios y sacerdotes, ambos tan ignorantes como ellos mismos.

La ciencia quedó reducida a los monasterios, de hecho, eran éstos el único lugar donde se fomentaba el conocimiento, aunque reducido al estudio de algunos pocos escritos latinos. La civilización parecía extinguirse, pues los conquistadores se resistían a las culturas de Asia o a cualquier conocimiento; y los maestros que impartían el conocimiento tenían cierta aversión por cualquier cosa que proviniese de los griegos o romanos. El mantener la tradición de los antiguos fue la dura tarea de los neoplatónicos y de los pocos comentaristas como Martiannus Capella, Simplicio o Macrobio.

Una vez que la religión cristiana fue aceptada y adoptada por los conquistadores, la Iglesia cobró más poder. Se hicieron entonces traducciones literales de las escrituras y los líderes de la iglesia insistían en que así debía ser. Cualquier cosa que no coincidiese con ellas era rechazada. Obviamente esto ayudó a los bárbaros a desechar el conocimiento astronómico y cosmológico logrado en los últimos dos milenios. Sucedió entonces una regresión en este sentido; el conocimiento y las concepciones no eran muy diferentes a los de los sacerdotes de Babilonia y bueno, no era mucho lo que se podía esperar si estaban completamente basados en la Biblia.

Alejandro fue una de las excepciones; en ella se conocía bien la obra de los filósofos y los neoplatónicos, y debido a esa "tradición" no había oposición hacia el conocimiento científico griego. Una de los grandes retrocesos se dio en las ideas sobre la forma del Universo. En general, entre los filósofos, las ideas ptolemeicas eran bien aceptadas y el Universo y la Tierra eran considerados esféricos.

En el año 200 d.C., Clemente de Alejandría hace una alegoría entre el Tabernáculo hebreo y la forma del Cosmos que ganó gran popularidad. El Tabernáculo era el adoratorio "portátil" (que se menciona en el Éxodo) que llevaban los hebreos en su peregrinación; contenía, entre otras cosas, el Arca de la Alianza. Cada elemento del Tabernáculo, según Clemente, tenía una correspondencia directa con algún elemento del Mundo. Resultaba así un Universo con la forma de una caja rectangular. La idea de la Tierra (o del Universo caja) se reforzaba por el odio hacia la cultura griega y aparecieron

personajes que parecían especializarse en negar la concepción de la Tierra como esfera, entre ellos Lactancio (250-330 d.C.), un orador apologista cristiano. Lactancio, en sus siete libros sobre *Las divinas instituciones* o *Divinarum Institutionum*, escritas entre el 302 y el 323 d.C., se declara el primero y más acérrimo opositor a la idea de la esfericidad de la Tierra. En su tercer libro titulado *La falsa sabiduría de los filósofos*, ridiculiza tal doctrina y la existencia de las Antípodas. Las Antípodas, según los griegos, eran un continente que se hallaba en la parte opuesta de la esfera terrestre. De acuerdo a esta idea la lluvia y el granizo "caerían hacia arriba" con respecto al resto del mundo. Por otro lado se hallan otras posturas, aunque más escasas, como la de [San] Basilio (329-379), llamado *el Grande*, que en su ensayo sobre los seis días de la creación, donde muestra un gran conocimiento de la obra aristotélica y en sus comentarios a este respecto, se le observaba mayor mesura y precaución. Sorprendentemente, a pesar de esto y de comprender y aceptar muchas de las tesis de Aristóteles, está totalmente en contra de la idea de que los cielos sean esféricos, niega que haya más de un cielo y apoya la idea bíblica de la existencia de aguas sobre el firmamento, arguyendo que éstas son necesarias para que el Mundo no se incendie con el fuego celestial. Como la Biblia no es específica en la cuestión de la forma de la Tierra, el hecho de que sea esfera, disco o cilindro es algo que no debe interesarnos, pues no es necesario que lo sepamos. Aún así y con

todo esto, sus opiniones son algo tímidas y algunos investigadores como J. L. E. Dreyer⁴⁴ afirman que él nunca desechó las teorías griegas. Se puede decir que Basilio era una excepción, ya que en general, los opositores al sistema cosmológico griego era del tipo de Lactancio: obsesivos y algo neuróticos en sus comentarios. Otro ejemplo de estos es Cirilo de Jerusalén, contemporáneo de Lactancio, quien también insiste, aunque de forma más exagerada, que se debe apoyar ante todo la idea bíblica de las aguas supercelestiales.

Son muchas las opiniones sobre este tema pero una de estas opiniones que resumen con cierta claridad la idea concreta que los pensadores de esta época tenían sobre la forma y origen del Mundo es la de Severiano, obispo de Gabala y contemporáneo más joven que los dos anteriores, quien en su obra titulada *Seis oraciones sobre la creación del Mundo* bosqueja la obra de Dios, más no sin criticar duramente las filosofías griegas. En el primer día (nos dice) Dios creó el cielo, un cielo que está más allá del que vemos, con agua por encima. Este cielo estaba hecho de un fuego inmaterial que por obra de la Providencia nos transmitía su luz y calor. El cielo inferior fue hecho en el segundo día y a diferencia del cielo superior esta hecho de cierta agua congelada y cristalina con el fin de soportar todo el calor que recibía del Sol, de la Luna y del infinito número de estrellas. La forma del Mundo era la del Tabernáculo y por ende los cielos serían como las cubiertas de aquella tienda: "Es él...quien estiró el cielo como una

⁴⁴ cfr. Dreyer, op. cit., p.210

cortina y la tendió como una tienda ⁴³. En suma, y de forma más escueta, se diría que se hablaba de una caja dentro de otra.

Basado en que las escrituras dicen que "El Sol se elevó sobre la Tierra cuando Lot entró en Segor"⁴⁶, Severiano infiere, por un lado, que Dios creó a la Tierra plana y, por otro, que el Sol sólo bordea la Tierra elevándose un poco durante el día. Cuando no se veía, estaba oculto tras las montañas que se hallaban al norte, nunca pasando por debajo de la Tierra y se podía inferir qué tan largos serían los días con sólo observar el punto que el Sol tocaba en el horizonte al ponerse: "Cuando el Sol va más hacia el sur los días son más cortos y tenemos invierno y le toma más tiempo completar su jornada nocturna"⁴⁷.

Como vemos, este Universo-Tabernáculo no difiere mucho del Universo egipcio, pero fue bien aceptado por los líderes de la iglesia como el obispo de Tarso, Deódoro (m394), que en su libro *Acerca del fatalismo*, se declara abiertamente en contra de los geocentristas y apoya la idea bíblica de los dos cielos de Severiano, aunque no planos sino abovedados. El obispo de Mopuestia en Sicilia, Teodoro (350-428), también de acuerdo con Severiano, le añade al sistema entes angelicales pensados como motores naturales de la estrellas. Otra de las vertientes ideológicas de los eclesiásticos era la encabezada por Ambrosio de Milán (m397), de la iglesia occidental, quien sostenía, muy al estilo platónico, que el conocimiento de los cielos era completamente inútil aunque, como el

mismo Platón y a pesar de esa afirmación, tenía sus propias ideas del Mundo, sugiriendo que éste sí podía tener dos techos: uno interior circular y otro exterior cuadrado. Uno de sus discípulos Agustín (354-430), que tenía gran conocimiento de las filosofías, apoyaba la teoría de la existencia de agua sobre el firmamento, pero por su mismo "platonismo" le hacía conducirse con cierta cautela y moderación. Entre los pensadores medievales, existía la idea, y con cierta lógica, de que Saturno era el planeta más frío por su misma lejanía del Sol, pero Agustín creía, por el contrario, no sólo que este planeta no era el más frío sino que era de hecho aún más caliente que el propio Sol, manteniéndose "fresco" gracias a aquellas aguas supercelestiales. Las aguas de las que habla Agustín no eran precisamente líquidas sino más bien vaporosas. El hecho de tener una imagen clara del Mundo y su forma, según Agustín, era algo impensable, pues nuestra capacidad mental era incapaz de comprender del todo los hechos transmitidos por las escrituras y dudar de ellas estaba fuera de discusión y, por lo mismo, como su maestro lo afirmaba, era irrelevante conocer la forma de los cielos y no se inclinaba por ninguna en particular, en parte por que supuestamente ninguna de las formas propuestas coincidía con lo que las escrituras decían. A pesar de todo y aunque las escrituras eran su punto de apoyo, parece nunca haber tomado a la ligera las tesis griegas y prueba de ello era el disgusto que le provocaba el desprecio con que Lactancio lidiaba con ellas.

Como Lactancio, los padres de la Iglesia sólo se dedicaban a criticar y despreciar a los

⁴³ *Ibid.* p.211.

⁴⁶ Gen.XIX.23

⁴⁷ Ecles. 1.5.

filósofos y sus doctrinas y, en parte, debido a ello, su concepción del Mundo no iba más allá de una necia y forzada interpretación de la Biblia; ni siquiera daban apariencia de esforzarse por desarrollar un sistema cosmológico propio que si no superara al griego, al menos lo sustituyera para apoyar sus propias tesis. Esta tarea vino de alguien de mucha menor jerarquía a quien se le conocía por el apodo de *Indicopleustes* o *El Navegante* de nombre Cosmas, quien a pesar de sus extensos y numerosos viajes por tierra y mar tenía una mentalidad bastante estrecha. Cosmas, quizá nativo de Alejandría, fue, en principio, comerciante, y los datos que de él se tienen provienen de su propia obra como la llamada *Topografía*. Por un lado, desprecia el conocimiento de los "paganos" y por otro, alude a las teorías de los epiciclos. Lo que realmente extraña (sino sorprende) es que, a pesar de navegar extensamente por el Golfo Pérsico, el Mediterráneo y el Mar Rojo, nunca notó, ni mínimamente, la curvatura de la superficie terrestre. Su obra se compone de cinco libros, a los que posteriormente se les añadieron otros siete para "aclarar" ciertos puntos. En total, su obra parece haber sido escrita entre los años 535 y 547. Con sólo ver sus títulos nos podemos dar una idea de sus objetivos. El primero, por ejemplo, se titula *Contra aquellas que, deseando profesar el cristianismo, piensan e imaginan como paganos que los cielos son esféricos*. Según el aspecto de la Vía Láctea, "demuestra" que los cielos se componen de más de un elemento, además nos dice que tienen un movimiento de arriba hacia abajo que nadie ha percibido. Aunque alude a los epiciclos, piensa

que apoyar tal teoría implica estar en contra de "la idea bíblica" de que los planetas tienen alma y que son obra de Dios y, por ende, blasfemar contra él por restarle mérito a su creación. En cuanto a la Tierra, nos dice que es ridículo pensar que ésta se halle en el centro del Universo pues no podría flotar en ese punto debido a ser inimaginablemente pesada. Lo lógico y más obvio es pensar que su posición natural será el fondo.

La idea de las Antípodas viene a ser un tema muy recurrente entre los escritores medievales, tal vez por que parecía ser la demostración definitiva de la esfericidad de la Tierra. El aceptar que hubiese un continente "invisible" a nosotros, por hallarse del otro lado de la esfera, implicaba un giro absoluto a la mentalidad y doctrinas medievales. Los más cautelosos la escondían tras una espesa niebla o la apantallaban con el fuego y el calor del Sol, pero siempre aparecía como un continente isla al menos sobre la superficie de la plana Tierra medieval. Para Cosmas, como para el mismo Lactancio, tal idea era absolutamente ridícula. Lo que si le parecía esférico eran los cielos o al menos pareciera que mantiene la idea de las esferas celestiales, pues en su cuarto libro se pregunta a qué esfera subió Cristo y a cuál esperan subir los "buenos cristianos". Esto se refuerza cuando cuestiona el movimiento de estas esferas, pues no está de acuerdo en que ciertas esferas tengan un movimiento retrógrado. Nos dice que si una de las esferas obliga a las otras a moverse, lo lógico sería que el movimiento se diera en un sólo sentido. O que se movieran todas al este o todas hacia el oeste o

si no "¿Cómo pueden las esferas moverse hacia el este y al oeste al mismo tiempo?" Para él, quizá la respuesta a esto, estaba en que tal vez las esferas no eran las que se movían de forma retrógrada sino las mismas estrellas. Como en todos sus comentarios era radical, no podía "estar en medio", tenía que estar en uno de los extremos, por eso criticaba a los cristianos que aceptaban las tesis griegas: "No se puede servir a dos amos" decía. Sus tesis no tenían mucha constancia; en otro punto parece olvidarse de las esferas y afirma que el único medio de conocer la forma del Mundo es a través del estudio del Tabernáculo. Cosmas, entonces, retoma la idea de Clemente de Alejandría y la "extiende" un poco más. Según él, Moisés había dicho que la parte exterior de tal adoratorio era (de alguna forma) un patrón del mundo visible y, por su parte, la interior o la que se hallaba dentro del "velo", era un patrón del mundo de los cielos según la Epístola de los hebreos. Ese velo era el firmamento además de la división natural de ambas partes. La mesa del pan y sus bordes ondulados representaban a la Tierra plana bordeada por el océano. El borde exterior (con respecto al primer borde) de la mesa, representaba la existencia de otra tierra más allá del océano (¿las Antípodas?) y así sucesivamente, cada elemento tendría un significado cosmográfico.

Para completar su esquema, Cosmas considera a los eclipses producto de la oblicuidad que los cuerpos celestes adquirían al rotar en torno a la Tierra. A algunos les parecía ilógico, y por tanto imposible, que el Sol se ocultara tras la parte norte de la Tierra si el primero era mayor que

esta misma y por eso Cosmas dedica su sexto libro, sin mucho éxito por cierto, a explicar tal fenómeno. De hecho, concluye sorprendentemente que el Sol es muchísimo más pequeño que la Tierra. Hay dos valores que da para el tamaño de la Tierra en dos diferentes comentarios, el primero es de 1060 mi y el segundo de 680 mi de longitud, respectivamente. Tal vez lo que sí haya que reconocerle a Cosmas es la interpretación tan original, aunque torcida, de las escrituras. De sus libros en general se puede decir que ninguno tuvo gran importancia en su época aunque fueron bien conocidos y nunca se les tomó en serio entre los estudiosos.

Aunque pocas, sí hubo algunas mentalidades menos radicales que las de Cosmas o Lactancio que no temían aceptar algo, al menos, de las doctrinas griegas. Entre ellos estaba Juan Filopón quien fue un "gramaticólogo" alejandrino del siglo sexto. Filopón nunca temió comentar extensa y abiertamente la obra de Aristóteles y, gracias a esto, sus opiniones eran menos prejuiciosas, aunque heréticas, para muchos de sus contemporáneos. Ciertamente lo que más le disgustaba era el abuso que se hacía de la interpretación de las escrituras. Particularmente lo menciona en su libro *Sobre la creación del Mundo* criticando al teólogo sirio Teodoro de Mopsuestia quien, como vimos, exagera un poco en este sentido, para demostrar que los cielos no son esféricos y que las estrellas son movidas por ángeles. Otra de las excepciones es el obispo de Sevilla Isidoro Hispaleensis, del siglo séptimo (570-636), autor de cinco escritos entre los que se halla el conocido como *Etymologiarum libri*, una obra de

corte enciclopédico también conocida como *Orígenes* pues explica cada término a través de su supuesto origen. Nos dice que el Mundo tiene forma esférica así como la que le asocian los filósofos, es decir, cielos esféricos con una Tierra, también esférica, en su centro. La Tierra está así, dividida en cuatro zonas, tres de ellas conocidas (África, Asia y Europa) y una desconocida en el sur, más allá del océano y oculta por el intenso calor solar, donde se dice que se encuentran las Antípodas. Aún con tales opiniones, la posición de Isidoro era moderada en la época, sobre todo por tratarse de un obispo. Algo entre los "filósofos" más abiertos y los más radicales. En uno de sus tratados llamado *De rerum natura*, redondea su postura cosmológica diciendo que los cielos giran una vez por día, mencionando la teoría de las esferas celestiales, de agua y de fuego. La Luna la considera más pequeña y más cercana que el Sol, de hecho el "planeta" que supone más cercano, después de la Luna es Mercurio, luego Venus, el Sol, etc. También de los periodos de tiempo en que los planetas completaban sus círculo (órbitas) como 8, 23, 9, 19, 15, 22 y 30 años respectivamente. Todos excepto el de Saturno (que en realidad es 29.6 años) están exageradamente mal.

De cualquier forma los autores que más proliferaban eran aquellos como el monje Cosmas. En el siglo séptimo aparece una obra cosmográfica firmada por un tal *Æthicus* de Istria, traducida y abreviada (aparentemente del griego) por un sacerdote llamado Jerónimo. La obra de *Æthicus* es muy dispersa y sin mucho sentido. En su versión del Mundo persiste la Tierra como un cuerpo plano y el Sol como un

disco, en sus propias palabras: "plano como una mesa" (*mensa solis*). Este disco atravesaba la puerta del oeste para regresar a su punto de partida en el sur, oculto por una densa bruma que apenas dejaba pasar un poco de luz que la Luna y las estrellas reflejaban. Según este modelo, el Sol bordeaba a la Tierra que flotaba, como en los modelos babilonios y egipcios, sobre un abismo de agua. En la parte superior del Mundo, *Æthicus* coloca al Sol, a la Luna y a las estrellas, moviéndose libremente cerca de la Tierra, pero encerrados por seis cielos superiores que como cáscaras lo rodeaban "todo". Lo que obtenemos es un modelo no muy diferente a aquellos de 1500 años antes.

Una de las variaciones a este tipo de sistemas la da un geógrafo anónimo conocido como Ravena, cuyo trabajo era básicamente estadístico. Ravena dice que la Tierra es plana y circular, rodeada por el océano pero limitada al este por un desierto sin límites lo que es contradictorio. El océano que menciona Ravena no parece ser muy grande pues también supone grandes montañas (al norte) más allá de él, colocadas allí por Dios para que el Sol y la Luna pudieran ocultarse, pero la distancia entre nosotros y esas montañas era completamente inaccesible. Tal vez para que no haya duda de lo plano y de las dimensiones de la Tierra, Ravena dice que el Sol ilumina toda su superficie al mismo tiempo.

A donde quiera que se mire persiste la idea de la Tierra plana, por una parte, en busca de contradecir las doctrinas griegas y después de Isidoro nadie se atrevería a pensar a la Tierra como una esfera o de retomar el tema de las Antípodas, que también había quedado en la

bruma, pero el estudio de los escritos latinos estaba muy enraizado en los monasterios y recordemos que la ciencia, o al menos lo más cercano a ella, se hacía allí y lo que más se hacía era observar los cielos para fines muy prácticos, como saber las horas a las que debían levantarse o practicar los servicios religiosos, además de las fechas importantes como la Pascua. Las reglas para fijar la Pascua formaban, de hecho, parte de la doctrina cristiana; se necesitaba por tanto alguien que supiera algo de los movimientos celestes y que supiera hacer cálculos astronómicos. Entre estas personas estaba el monje inglés Beda (673-735), conocido como *el Venerable*, y quien había hecho una lista de fechas para la Pascua. La figura de Beda no sólo se reducía a esto, es la figura más importante después de Isidoro y podemos decir que tenía amplios conocimientos en general y particularmente de la obra de Séneca y Plinio, que se reflejan claramente en su obra. Beda nació en la parte norte de Inglaterra y pasó la mayor parte de su vida en los dos principales monasterios de esa región, en los cuales se habían importado, desde Roma, muchos textos importantes. Beda y su obra tuvieron gran fama en el siglo séptimo y esa popularidad provocó que aún cuatro siglos después de su muerte se siguieran firmando pergaminos con su nombre. Esto creo posteriormente gran confusión respecto a cuáles obras fueron escritas realmente por él, aunque su obra está bien delimitada ya que en un apéndice de su famosa *Historia eclesiástica* escribió una lista de todos sus escritos.

En su obra *De natura rerum*, el Venerable considera esférica a la Tierra y aborda otros

temas como el orden planetario y los temblores. Muchas de estas teorías fueron copiadas de la obra de Plinio. Vemos entonces, ideas como la de las aguas supercelestiales y algo sobre los tamaños relativos de la Luna, el Sol y la Tierra, y particularmente menciona que los dos primeros son mayores que la tercera. Tal vez de un papiro escrito por Eudoxo toma la distribución geográfica de la Tierra y en base a esa información concluye que sólo hay dos zonas habitadas y habitables. Referente a las Antípodas nos dice que sólo se trata de una fábula. De nuevo las Antípodas son un tema recurrente que se mencionará para desmentirlo o ridiculizarlo.

El abad de Aghabol, el irlandés Virgilio de Salzburgo, quien vivió por el 748 menciona, supuestamente, que "Existe otro Mundo y otras gentes bajo la Tierra". También en sus doctrinas enseñaba que las Antípodas si existían y posiblemente la esfericidad de la Tierra. Bonifacio, el dirigente de la iglesia alemana de la época, le pidió, al entonces Papa Zacarías, que Virgilio fuera expulsado. Por alguna razón se dice que esta acusación no procedió, pues un año después Virgilio se ordenó como abad.

Otra idea que Virgilio manejaba era la de las aguas supercelestiales que se filtraban a la Tierra a través de los múltiples huecos que tenía el firmamento. Como los otros autores, Virgilio argüía que Dios las había colocado ahí para enfriar el cielo. En esa parte del firmamento, inmerso en las aguas, se hallaba Saturno, que por lo mismo, se hallaba congelado. Por arriba de las aguas se hallaban "los poderes angelicales".

A estas alturas no podemos dejar de lado al Islam, y aunque se le dedica el siguiente capítulo especialmente, por representar otro tipo de pensamiento, dentro de este contexto es necesario mencionarlo aquí por completez, pues desde el 750 hasta el año 1000, los líderes de la ciencia eran básicamente los califas de Bagdad que, como veremos, establecieron observatorios en la misma Bagdad y en la ciudad de Damasco, ambas en el actual territorio iraquí. El Almagesto fue traducido al árabe en el 820 y como España, tras su conquista por los árabes, se convirtió en el centro intelectual musulmán, el pensamiento griego se difundió por la Europa cristiana aún contra y sobre el rechazo de los europeos medievales. La importancia de esto se refleja en el hecho de que mientras la biblioteca de París contaba con dos mil volúmenes, la de Córdoba tenía nada menos que quinientos mil.

A lo largo de los siglos noveno y décimo, cuando el comercio y el Islam estaban en su cenit, también los sistemas político y social de Europa pasaban por su mejor momento desde hacía mucho y por tanto el estudio de la ciencia y la filosofía despertaban de su largo letargo e intentaban remontar nuevamente al menos en las escuelas de las catedrales y en los monasterios; y aunque el griego, como lenguaje de la ciencia, se había perdido, existía ahora un creciente interés por los escritos latinos. El siglo noveno marcó, entonces, cierta recuperación. Había cierta esperanza pues en las mente monacales más sabias ya se había aceptado más o menos la esfericidad de la Tierra y se reinstaló el sistema geocéntrico tal cual lo habían concebido los griegos.

Es a partir de que el matemático Gerbert se convirtió en el Papa Silvestre II en el 999 ("cargo" que tuvo hasta el 1004) que la esfera queda definitivamente reinstalada como la forma "oficial" de la Tierra. Y de esta nueva forma de pensar resulta "el sistema cosmológico del huevo" de un autor de principios del siglo doce llamado William de Conches. La obra de este autor se titulaba *περι διδασκων διβε* o *Elementorum philosophiae libri VI* por un tiempo se creía que su autor era el Venerable Beda.

En general decía que el Mundo era como un huevo, donde la Tierra flotaba en el centro como la yema; la clara representaba al agua que la rodeaba y la cáscara al aire y al firmamento. Más allá de la cáscara estaba el éter o fuego en un estado tan sutil que no se encendía a menos que se combinase con otro elemento húmedo o denso. A la altura del aire se hallaba la Luna, luego Mercurio, Venus y el Sol que por cierto era ocho veces más grande que la Tierra. Los círculos de estos tres, es decir, sus órbitas o periodos con respecto al zodiaco, eran muy similares, por lo tanto, tales círculos no podían estar uno dentro del otro de modo que se intersectaban entre sí. La Tierra, según Conches, tenía dos zonas habitables. La primera habitada por nosotros y la segunda, aunque habitable, deshabitada y a 180° de latitud con respecto a nosotros.

A lo largo del siglo doce empezaron a llegar desde España a Francia traducciones de la obra de Aristóteles y fueron inicialmente prohibidas por la iglesia a riesgo de excomunión para cualquiera que se atreviera a leerlas o a comentarlas en público o en secreto. Sin

embargo, no pasó mucho tiempo antes de que se reconociera a Aristóteles como el más importante de los filósofos y el mejor aliado de los teólogos escolásticos. A finales este siglo la iglesia había logrado ya consolidarse como el poder espiritual que regía a la sociedad feudal, a los príncipes y caballeros, amén de las abadías y monasterios. Las catedrales góticas florecieron por toda Europa occidental y al mismo tiempo el Clero se ungió como la clase intelectual y también como líderes espirituales, administrativos y científicos. Con Urbano III la Iglesia tuvo su mejor momento, volviéndose una monarquía universal. Fue en esta época que se fundaron las órdenes de los Dominicos y Franciscanos que se encargaron de difundir el conocimiento a modo de doctrina que los obligaba a "destruir" aquello o aquellos que no coincidieran con sus puntos de vista (los primeros en gran medida y los segundos con mucho menor fuerza).

En el siglo trece, ya consolidado el trabajo de traducción, se dio lugar a la asimilación, la discusión, la crítica y el trabajo creativo, todo, claro está, dentro de las doctrinas de las esferas celestiales. Había obras de tipo enciclopédico como la llamada *Imago Mundi* de Honorio de Autun que sería, más o menos, del tipo de obras más común que se escribirían. La parte cosmológica de *La imagen del Mundo* fue copiada de la obra de Plinio y adaptada a la mentalidad medieval. Existían, según Honorio, dos cielos, ambos divididos por el firmamento; el cielo superior era el espiritual, y por tanto, desconocido por el hombre. El cielo inferior era esférico, estaba adornado por las estrellas

(redondas y de naturaleza ignea) y sobre este cielo se hallaba el agua en forma de nubes. Los ángeles vivían en el cielo superior que, a su vez, se subdividía en nueve órdenes.

Muchos copiaron a Honorio, entre ellos, el rey de Egipto Ptolomeo (1245) que también tituló su obra con el mismo nombre de la de su homónimo más famoso. Este *Almagesto* contenía ideas cosmológicas muy parecidas, y casi iguales, que las del mismo Honorio. Por otro lado, muchas de las nuevas traducciones que se hicieron en el siglo trece, fueron obra de Alberto Magno (1193-1280) y de Tomás de Aquino (1227-1271), el segundo discípulo del primero.

Alberto Magno fue un fraile dominico muy reconocido en su época, y junto con su alumno, fue el responsable, en gran parte, de la adaptación y difusión de la obra griega, particularmente la aristotélica; pero quizá el prototipo de la cosmovisión medieval del siglo trece es nada menos que *La divina comedia* de Dante. El Universo de Dante abarca tres regiones ya bien conocidas: Cielo, Purgatorio e Infierno; subdivididas, cada una, en círculos y/o esferas donde la interfase es la Tierra y la "escalera" al cielo es el Purgatorio. El Infierno es un cono invertido, dividido en nueve círculos, cuya cúspide es el centro de la Tierra; este centro era la representación de la decadencia y la corrupción totales. Sobre la Tierra estaba el agua, luego la esfera de aire, la de fuego o éter y después empezaba el cielo con su primera esfera o esfera lunar. Las siguientes esferas eran las de Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno; en total eran siete. Viene entonces la esfera de las estrellas que es también el octavo

cielo, luego el cielo cristalino, noveno cielo o primer cielo móvil, y finalmente el décimo cielo: el Empíreo, firmamento o cielo tranquilo. Las nueve esferas bajas eran movidas por las tres triadas de "inteligencias angelicales".

Para la época, la obra de Dante lo tiene todo, es el reflejo del pensamiento medieval completo. Dante, como alumno de Bruneto Latini, autor de obras enciclopédicas, conocía la obra de Ptolomeo. Ptolomeo era para Bruneto el rey de la filosofía y la astronomía. Dante hace, por cierto, una única alusión a la teoría de los epiciclos en el canto octavo del Paraíso.

Según la obra de Dante, los planetas, se movían en la eclíptica y el Sol tenía un movimiento espiral como se describe en el *Timeo* de Platón. Según Dante, la esfera lunar, es la que posee el movimiento más lento, lo que es lógico si consideramos que era la última en la cadena del impulso divino y, por tanto, la menos divina de las nueve esferas.

En su obra menos conocida *De aqua et terra*, Dante refiere que la Tierra y el agua son dos esferas diferentes cuyos centros coinciden. La Tierra, entonces, aparece claramente como una esfera en la obra de Dante en general, es más, al rebasar el centro de la Tierra, i.e. el noveno círculo, y disponerse a subir la montaña del Purgatorio, refiere (Dante) que Lucifer se ve de cabeza. La muerte de Dante Alighieri en 1321 marca el casi milenio de la ortodoxia cristiana como la religión del imperio establecida a partir del Concilio de Nicea (en el 325) donde se decidió, entre otras cosas, la postura que sería oficial en cuanto a la trinidad o unicidad de

Dios. Serían pues, mil años de estancamiento casi total.

Hay dos autores más que no podemos dejar de mencionar, el primero es Juan Sacrobosco y el segundo Roger Bacon. Sacrobosco (m1256) es un personaje muy importante, por ser él quien retoma la obra de Ptolomeo y Alfarghani (mSXII) describiendo todos los instrumentos geométricos usados por Ptolomeo (ecuantas, deferentes y epiciclos) y poniéndolo, con esto, nuevamente en primera fila aún sobre Aristóteles. Roger Bacon (1214-1294) también fue más allá de Aristóteles, estudiando extensamente a los autores griegos y árabes. Bacon siempre insistió en la experimentación pues, para él, era el único medio a través del cual la ciencia podía madurar y sería posible conocer el Mundo. La investigación matemática, debía estar sobre los prejuicios eclesiásticos. Claro que sus ideas se quedaron en la raya como las de todo hombre adelantado a su época. En sus ideas del Mundo secundaba a Ptolomeo; para darnos una idea de su visión diremos que para él, la Tierra era un punto insignificante en el centro de los cielos, una estrella de sexta magnitud (las más débiles de las visibles) era dieciocho veces mayor que ella y las de primera magnitud (las más brillantes) 107 veces mayor. Particularmente el Sol era 170 veces mayor. Estas cantidades las tomaban con un sentido volumétrico.

Bacon hace un verdadero análisis de la obra ptolomeica y evita hacer una interpretación literal de la Biblia, desafiando a la Iglesia. Para él, las incongruencias en que ésta caía, frecuentemente eran solamente salvables a través

de la ciencia. En realidad pocos hombres conocían la obra de Ptolomeo como Bacon y Tomás de Aquino. La mayoría la desconocía, sobre todo los líderes de la Iglesia. Como vimos, entre los siglos XII y XIV, la ciencia estaba dominada por la tradición aristotélica.

La mecánica, por ejemplo, estaba bajo la "teoría animista" de Aristóteles, sin embargo, éste último comenzó a ser duramente criticado en sus propios términos y terrenos al grado de debilitar sus posturas. Esto reflejaba una mentalidad más aguda y menos intuitiva que sembraba el camino al copernicanismo.

VII. PTOLOMEO Y LOS ÁRABES

En el siglo siete los árabes rompieron sus propias fronteras y comenzaron a extenderse en todas direcciones, conquistando a las civilizaciones que los rodeaban y diseminando en ellas su cultura, desde España hasta la India. Primero Egipto y Siria, que pertenecían, entonces, al Imperio Bizantino; luego Mesopotamia, que pertenecía a Persia. No queda claro qué llevó a los grupos que habitaban estas regiones a emigrar fuera de sus territorios; algunos lo atribuyen a un clima más duro de lo común que provocó una prolongada sequía. El hecho es que los árabes emigraron masivamente y marcaron indeleblemente al mundo entero.

A orillas del Mar Rojo, en Hejaz, al oeste de la actual Arabia Saudita, uno de los centros comerciales más desarrollados, se conjugaban el Cristianismo y el Judaísmo. Allí, Mahoma (o Muhammad), el hijo de un camellero (580-632) se erigió como profeta de una nueva religión, a principios del siglo séptimo. Esta nueva doctrina uniría a tribus de la región, hasta entonces rivales. Sirios, persas y hasta algunos grupos de judíos quedarían aglutinados en un grupo mayor que se conocería como "los árabes".

Tradicionalmente los árabes eran conocidos como duros guerreros y sanguinarios ladrones, pero en contraste y como una contradicción, poseían un florido lenguaje y una gran poesía. El

Medio Oriente quedó sometido a ellos a todo nivel. El recién creado "Islam" logró una nueva ideología que trajo consigo un gran impulso económico para la región. Tal eclosión comercial unió vastas y distantes regiones, y el sustento de tal economía era la religión, pues políticamente cada región se mantenía independiente bajo el gobierno de califas. Como siempre, la bonanza económica deja espacio libre para el desarrollo libre de las artes y las ciencias, y en el caso árabe, éstas florecieron en Siria, Mesopotamia, Egipto y Andalucía; enriqueciéndose además con el intercambio cultural con Occidente, como resultado inevitable del comercio. Pero un punto importante a favor de este desarrollo fue la protección y promoción que algunos de los gobernantes hicieron de las artes y de las ciencias. Los árabes entonces ganaron gran reputación como médicos y astrónomos, sobre todo. Para los árabes, como para muchas culturas del pasado, el interés en la ciencia, se basaba en la búsqueda por asegurar sus vidas, manteniendo la salud a través de la medicina y prediciendo el futuro con el conocimiento de las estrellas a través del estudio de la astronomía. La astronomía era tan importante como la medicina, pues los tratamientos médicos dependían de la posición de las estrellas. Estaban, por otro lado, las razones de tipo religioso, debido a que los musulmanes debían rezar con la cara hacia la Meca a determinada hora y en cualquier lugar del mundo en el que se hallasen. Había que considerar entonces, la posición de las estrellas, como un medio para lograr esto.

Con el auge del primer Califato en el siglo ocho después de Cristo, la ciencia hizo su

entrada formalmente cuando un grupo de cristianos nestorianos⁴⁸ perseguidos por la Iglesia, se refugiaron en Persia y fundaron allí escuelas, desde donde se difundió la ciencia. Los antecedentes que tenemos datan de cuando Alejandro, y otros gobernantes macedonios de la ciudad de Bactrinia (hoy norte de Afganistán), conquistaron la India, introduciendo indirectamente la ciencia que luego tuvo un cierto auge ahí. Otros antecedentes datan del siglo quinto al séptimo después de Cristo, cuando bajo la dinastía Gupta en Industán, surgieron varios autores de textos sobre astronomía y matemáticas; el más conocido de estos fue Brahmagupta. Por sus antecedentes, la visión del Mundo que se tenía era muy semejante a la de Ptolomeo, pero mucho menos elaborada y con algunas variaciones en ciertos casos. La Tierra se consideraba esférica (en algunos casos rotando) y los planetas en órbitas epicíclicas. Como el interés estaba centrado en la posición de las estrellas y en el cómputo y cálculo de los eventos celestes, la ciencia se enfocó más a la elaboración de tablas astronómicas. No existía una teoría árabe específica que explicara o planteara la cosmología formal, fuera del conocimiento heredado, como resultado de la influencia occidental. Se dice que en la India, en el 773, existía un hindú, anterior al califato de Al Mansur, que conocía bien los cielos, tanto, que supuestamente podía predecir los eclipses. Las primeras tablas astronómicas árabes que se hicieron datan del siglo noveno y fueron hechas

⁴⁸ Nestorianos era el nombre genérico dado a los seguidores de Nestorio, el patriarca del SV.

por el astrónomo Muhammad Ibn-Musa al-Khwarizmi. Una vez encendida la mecha del interés árabe por la ciencia y la filosofía, se hicieron numerosas traducciones de escritos griegos. El califa Harun al Rashid ordenó, durante su reinado, que se colectaran la mayor cantidad de manuscritos griegos posible. Su hijo y sucesor Al-Ma'man (813-833) estipuló, como parte de un tratado de paz con el Imperio Bizantino, la entrega, por parte de los bizantinos, de numerosos manuscritos griegos entre los que se hallaba la obra que posteriormente bautizarían como *El Grande o Almagesto* y cuya traducción árabe sería la que se difundiría por toda Europa.⁴⁹

La obra de Ptolomeo fue resumida por Al-Fraganus (Al-Farghani en árabe) y con ello se establecieron los fundamentos de la astronomía árabe. Paralelamente Abu Ma' shar, mejor conocido como Albumazar, escribió un libro, básicamente astrológico, dedicado a las posiciones de las constelaciones y los planetas, mas una interpretación de ambas. Esta obra fue más popular que el resumen de Al-Fraganus al punto de considerarse un texto común en la Europa medieval. Un dato interesante es que este libro fue uno de los primeros que se imprimieron en Augsburg Alemania en 1486. Posteriores a él, aparecieron numerosas obras sobre astrología, producto del auge del conocimiento árabe, y nacieron muchos autores que no sólo tuvieron gran fama en el mundo árabe, también tuvieron gran repercusión en Europa. Entre los autores más conocidos del siglo décimo, por sus obras,

⁴⁹ Una de estas traducciones, del 827, se halla en la universidad alemana de Leiden.

mencionaremos a Thabit ibn Qurra, Albatagnius y Al-Sufi. El primero, Thabit ibn Qurra ibn Marwan al-Sabi al-Hurrani (826-901), nació en el territorio de la actual Turquía y dedicó gran parte de su vida a la traducción de textos griegos al árabe, pero se le conoce más por su teoría de las "Trepidaciones". Esta teoría se refería a un movimiento de los cielos que se sumaba a la precesión de los equinoccios provocando una variación en la oblicuidad de la eclíptica³⁰.

Los árabes, en general, aceptaron sin problema el sistema ptolomeico pues en el Corán no había referencias a la forma o mecanismos del Mundo. La Tierra se tomaba como un cuerpo esférico y algunos se interesaron en determinar sus dimensiones, como el califa Al-ma-mun, que en su época ordenó que se confirmara el valor que daban los griegos. El método que aplicó fue medir un grado en la planicie de Palmira en Siria. Dos grupos de observadores partieron desde un mismo punto geográfico, unos al norte y otros al sur, y caminaron hasta que se apreciaba en los cielos un cambio de un grado en la latitud. La distancia que recorrieron en total fue de $56 \frac{2}{3}$ de millas árabes³¹. Los árabes tenían buenos aparatos de medición equivalentes a los cuadrantes, armillas y astrolabios ptolomeicos.

Otro de los personajes importantes de los siglos nueve y diez fue Albatagnius, cuyo nombre real era Muhammad ibn Jabir Sinan Abu-Andallah al Batani quien murió en el 928 y

fue considerado el más grande astrónomo entre los árabes. Hizo numerosas observaciones entre el 877 y el 919, con resultados generalmente contrarios a los ptolomeicos; hizo también muchas traducciones y difundió ampliamente la astronomía en Europa. Comparando sus observaciones del año 880 con las de Ptolomeo, derivó el valor del año en $365\text{d } 5\text{h } 46\text{m } 24\text{s}^{32}$, la longitud del apogeo en $82^{\circ} 17'$ ($16^{\circ} 47'$ mayor que el valor de Ptolomeo) y la eccentricidad en 0.0346 (valor exacto por cierto). Como todos los grandes astrónomos árabes de la época, Albatagnius hizo sus propias tablas y éstas fueron particularmente importantes, porque en ellas se introdujeron las funciones trigonométricas. Su catálogo de estrellas era básicamente el de Ptolomeo, excepto por una corrección que al Batani hizo debido a la precesión. Sus tablas resultaron ser muy complicadas, por tanto, difíciles de manejar y las de su predecesor Al-khwarizmi eran preferidas sobre las suyas, a pesar de que eran mucho menos precisas pero más fáciles de manejar. También por esa época, en Egipto, bajo la dinastía del sultán Al-Hakim, el astrónomo Ibn-Junis dio a conocer nuevas tablas que contenían teoría y métodos de cálculo, así como datos de numerosos eclipses, conjunciones y altitudes. Parte de estos datos fueron tomados por el mismo Ibn-Junis en el Cairo entre el 977 y el 1007; sus datos recopilados databan del 829.

A principios del siglo once se construyó en Bagdad, un observatorio por orden del príncipe turco Sharaf al-Dawla que atrajo un gran

³⁰ De $23^{\circ} 51' 2/3''$, que era el valor ptolomeico, a $23^{\circ} 34' 6'' 3/5''$.

³¹ Cada milla árabe equivale a 4000 "anas negras" (black ell's) y cada una de éstas a entre 37 y 45 pulgadas.

³² Pannekoek, op. cit., p. 67.

número de astrónomos (entre ellos Abu'l Wefa) que difundieron aún más la astronomía. En los reinos más alejados, como España, la astronomía no llegó sino hasta los siglos once y doce. Bajo el califato de Córdoba, la filosofía de Aristóteles era bien estudiada además de ser la base de las nuevas filosofías que ahí se generaban, entre ellas la de Muhammad Ibn Rushd, el conocido Averroes. La filosofía de Averroes consideraba que el movimiento circular de la Tierra en torno a un cierto centro era posible, si en ese centro se hallaba otro cuerpo tan sólido como ella misma. Esta idea se extendió por toda Europa y, por obvias razones, fue condenada por la Iglesia como herejía.

Hasta el siglo doce ésta parecía ser la única idea original de tipo cosmológico, y es que, aunque el mundo islámico desarrolló una astronomía, hasta cierto punto original e independiente, históricamente se perdió el interés por su estudio pues parecía adolecer de una teoría completa y formal a nivel cosmológico. Según lo que hemos analizado de la ciencia árabe, desde el siglo ocho al doce, los astrónomos de ese periodo aceptaban sin problema las ideas de Ptolomeo y no se abocaron al desarrollo de tales teorías. Con la publicación, en 1983, de Bernard Carra de Vaux, de la traducción de un escrito del astrónomo árabe Nasir al-Din al Tusi del año 1274, se abría una nueva puerta que exponía una ciencia más desarrollada y con algunos intentos de mejorar el sistema cosmológico ptolemeico. Algunos de los textos rescatados trataban sobre las deficiencias de los modelos ptolemeicos; en ellos se planteaban nuevos modelos para la Luna, el Sol

y los planetas. Aparecieron nombre como el de Ibn ash Shatir, cuyos modelos parecen ser los antecedentes de los copernicanos, y destaca como conjunto la escuela de Maragha.

Se dice que Hulagu, nieto de Gengis Kahn conquistó Bagdad, fundó la dinastía mongola de Il Kahn de Irán y estableció un observatorio astronómico en Maragha, hoy noreste de Irán, que quedó a cargo de Nasir al Din, quien tenía gran interés en muchos temas astronómicos, pero particularmente en las teorías planetarias. El observatorio de Maragha atrajo a astrónomos de lugares tan lejanos como China y España. A este nuevo centro de pensamiento científico se le llamó *La Escuela de Maragha*.

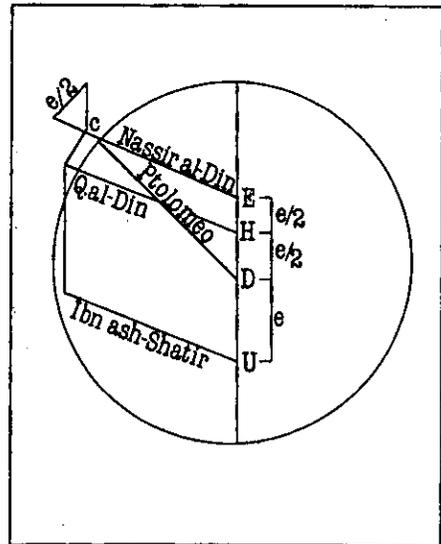


Fig.VII.1 Comparación entre las representaciones geométricas de Ptolomeo y las tres principales árabes.

Las obras de Nasir al Din al Tusi están contenidas en cuatro tratados, de los que sólo existen copias, de hecho, 86 manuscritos. El

primer tratado es únicamente introductorio, el segundo se refiere a la forma de los cielos y los dos últimos a geodésicas y distancias interplanetarias respectivamente.

Para efectos de comparación superpongamos los sistemas planetarios de estos tres árabes con los del mismo Ptolomeo (Fig.VII.1). Ptolomeo desplaza el centro de la deferente planetaria de la Tierra una cantidad "e" de U a D (a esta cantidad le llamaban *eccentricidad*) para explicar las irregularidades en los cambio de velocidad angular del centro del epiciclo al moverse alrededor de la Tierra. Particularmente para esa *eccentricidad*, Ptolomeo establece que resulta insuficiente y sólo compensa la mitad de esa velocidad angular, y es por eso que introduce adicionalmente el *ecuante* (E). Con ese punto, el modelo se ajusta más o menos a las observaciones, pero las velocidades dejan de ser uniformes.

Supongamos el movimiento del centro del epiciclo como el vector resultante de la suma de UD y DC. Si UD permanece estacionario, al moverse C, podemos mantener al vector DC con longitud constante pero a costa de no poder mantener la velocidad angular constante. Si equivalentemente suponemos el vector de movimiento como la suma de UE y EC, con EC estacionario, en este caso UE rotará con velocidad constante, pero a costa de variar su longitud sucesivamente. La escuela de Maragha parece haber notado esta deficiencia pero, más que buscar un modelo planetario que se ajustara a los prejuicios griegos, buscaban un modelo alternativo que reflejara con mayor fidelidad los

movimientos de los cielos, usando los principios griegos de las combinaciones de movimientos circulares constantes.

Para este efecto, el líder de la escuela de Maragha, utilizó un ingenioso teorema geométrico para desarrollar sus propios modelos cosmológicos. Al teorema se le conoce *Teorema de la Pareja Tusi*; plantea que si un círculo rueda, apoyado en el interior de la circunferencia de otro círculo cuyo radio es igual al diámetro del primero, entonces cualquier punto del círculo más pequeño describirá una línea recta que coincide con el diámetro del círculo mayor.

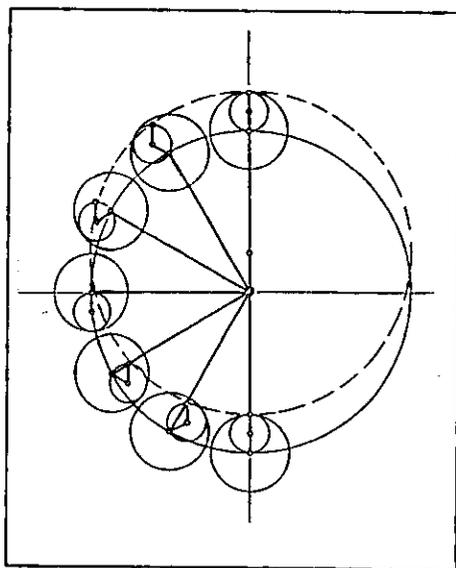


Fig.VII.2 Las parejas Tusi de Nasir al-Din

Supongamos una deferente y su epiciclo. Al radio de la deferente (que une su centro con el centro del epiciclo C) le añadimos dos vectores más pequeños e iguales entre sí, de modo que sus

longitudes sumadas serán un radio del epiciclo. El vector unido a C se moverá en el sentido opuesto a las manecillas del reloj con una velocidad v_1 , el segundo vector se moverá en la dirección opuesta y con una velocidad doble ($v_2=2v_1$). Al moverse ambos vectores dentro

del epiciclo, el punto a describirá un círculo interior cuyo radio será la mitad del radio del epiciclo y tendremos las condiciones del teorema anterior. v_2 siempre apuntará en la misma dirección y tal trayectoria coincidirá con el diámetro del epiciclo. Para todo el sistema, el punto a describirá un círculo del mismo tamaño que la deferente, pero desplazado hacia arriba una distancia igual al diámetro del círculo más pequeño.

Regresemos al primer diagrama. Vimos que uno de los problemas es la longitud variable del vector que nace en el ecuante. Para resolver ese problema en particular, Nasir al-Din fija esa longitud en 60 unidades y en su extremo opuesto al ecuante coloca una pareja de vectores Tusi (una pareja Tusi). La longitud de cada vector de la pareja se fija como la mitad de la excentricidad (por conveniencia las dimensiones se exageran en el diagrama). La trayectoria resultante de C coincide con la de Ptolomeo en los puntos importantes: el apogeo, el perigeo y la cuadratura apsidal; y el arreglo logra que la uniformidad de movimiento se conserve.

En el mismo diagrama aparece un vector etiquetado con el nombre de Qutb al Din; el vector nace del punto H, a diferencia de los otros que se apoyan en el ecuante, el centro de la deferente o la Tierra. H es el punto medio entre el ecuante y el centro de la deferente. En el

extremo opuesto del vector Qutb al Din, se coloca otro vector más, como el equivalente a las parejas Tusi de Nasir al Din. De hecho el primero hace una adaptación del modelo del segundo. En su discurso, él llama a los varios arreglos usados, "principios", a las parejas "principio de la (esfera) grande y la (esfera) pequeña o *als al-shaghira w'al kabira*. Equivalentemente, sustituye a este arreglo con lo que denomina "principio del protector y del director" y al vector HC, lo llama *Hamil al-mudir* o "portador".

Estas teorías de Qutb al din, se hallan en dos libros muy densos y complicados que se dieron a conocer en 1281 el primero, y en 1284 el segundo. El primero se titula *Nihayat al-idrak fi dirayat al-aflak* o *El limite del logro referente al conocimiento de los cielos* conocido más como simplemente *Idrak*, y el segundo *Al Tuhsat al Shahiya* o *El regalo real*. Ambos libros se organizan en cuatro tratados y están llenos de referencias a Nasir al-Din.

En general, el problema planetario presentaba gran dificultad desde los griegos, pero particularmente el problema de los planetas interiores era el más difícil por el hecho de que, a diferencia de los "exteriores", sus órbitas se hallaban contenidas realmente dentro de la misma y desconocida órbita terrestre.

Qutb al Din "resuelve" el problema de Mercurio, ajustando "arbitrariamente" el vector de la deferente en 60 unidades en promedio. La misma deferente es deformada alargándola 3 unidades, con respecto a esas 60, en el apogeo y el perigeo; aplastándola igualmente en la cuadratura apsidal. El óvalo resultante tiene 66u

de eje mayor y 54 de eje menor y en base a esto, la eccentricidad queda en 6 unidades. Para los demás planetas, el centro de la deferente quedará en el punto medio entre el ecuante y el centro del Universo.

Después de gran discusión, Qutb al-Din logra un aceptable modelo, "libre" de los efectos ptolomeicos. Por sencillez, basémonos en la figura siguiente (Fig. VII.3) que vemos consta de seis vectores (mas uno adicional para el epiciclo que no está representado), r_1 , que nace del centro de la deferente, apunta siempre a la posición promedio del planeta y su longitud es de 60 unidades. Los otro cuatro forman parejas (Tusi) y cada uno tiene longitud de $3/2$; en particular r_6 tiene una longitud de 3 unidades.

La primera pareja hace que la deferente se compacte y la segunda (que tiene un periodo de la mitad de la primera) hace que se estire una cantidad $c=3$ en el apogeo y el perigeo; y que se aplaste, en la misma proporción, por ambos lados.

El centro de las velocidades angulares iguales es el centro de la deferente. El último vector (r_6) desplaza, la ahora órbita oval, en 3 unidades sin distorsionarla y "mueve" el centro de la deferente también 3 unidades hasta hacerlo coincidir con el ecuante. Podríamos decir que este modelo es el máximo logro de la escuela de Maragha y es un hecho que está un paso adelante del modelo ptolomeico, gracias a las parejas de Nasir al-Din.

Los modelo lunares anteriores a los de Ptolomeo no eran muy satisfactorios y aunque el modelo ptolomeico de la Luna era bien aceptado, había varias objeciones en su contra. Primero, el mecanismo de Ptolomeo exageraba la eccentricidad de la órbita, alejando demasiado a la Luna de la Tierra; segundo, el movimiento del centro del epiciclo no era una combinación de movimientos circulares uniformes, y en tercer lugar, la anomalía⁵³ producía una oscilación en el apogeo del epiciclo.

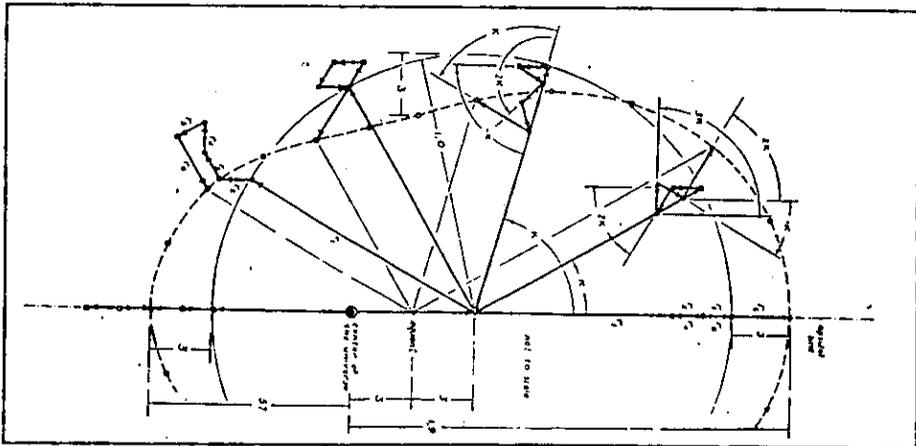


Fig. VII.3 Modelo de Qutb al-Din

⁵³ Medida a partir de un punto en el epiciclo que se determina proyectando una línea desde "el punto opuesto" y el centro del epiciclo.

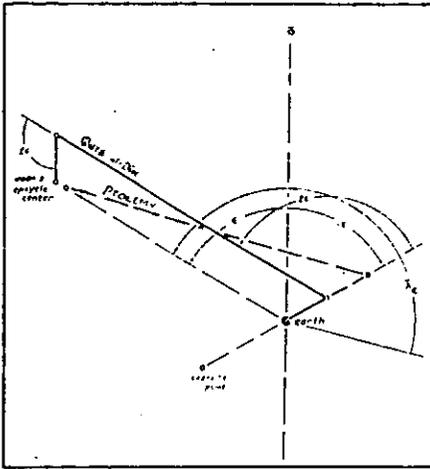


Fig.VII.4 Comparación de los arreglos usados por Ptolomeo y Qutb al-Din para el movimiento lunar

Usando el arreglo de la figura anterior (Fig. VII.4), Qutb al-Din elimina el segundo problema (el problema de la oscilación); el tercero no lo pudo resolver.

Por último, analizaremos el trabajo de otro brillante astrónomo del Islam del siglo catorce quien es considerado, por algunos estudiosos, como el precursor de los modelos copernicanos. Se trata del astrónomo damasceno Ibn ash-Shatir (1304-1375/6). En el libro llamado *Kitab nihayat as-Sulfi Tashin al-Usul* o *Un texto sobre las últimas cuestiones para corregir los elementos*, Ibn ash-Shatir plantea y desarrolla un modelo Solar y uno lunar usando los mismos principios de Ptolomeo, como sus antecesores. Otto Neugebauer insiste en que Copérnico, seguramente en su momento, conoció y estudió esta obra. Ambos modelos, excepto por

diferencias insignificantes, son idénticos como veremos más adelante.

Veamos el modelo solar de Ibn ash-Shatir. En este modelo (Fig. VII.5), el Sol se mueve en un epiciclo de centro *b* y éste se mueve, a su vez, circularmente en torno a *a* -que resulta el lugar promedio del Sol-. Este punto, también centro del epiciclo mayor, se moverá circularmente alrededor del centro del Universo *E*.

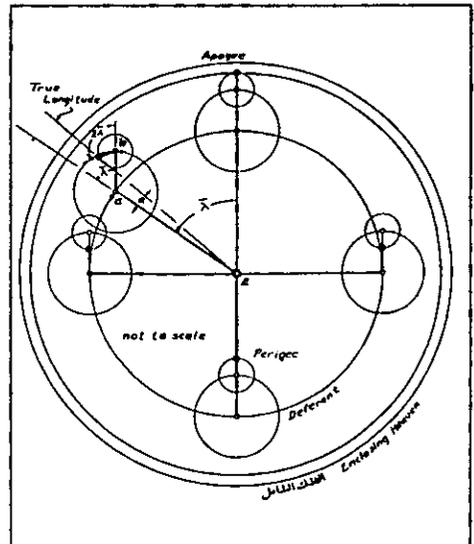


Fig.VII.5 Modelo solar de Ibn ash-Shatir

Ibn ash-Shatir supone que el epiciclo mayor rota con igual velocidad que la deferente pero en dirección opuesta. El segundo epiciclo (o el más pequeño) gira en la misma dirección del epiciclo mayor con una velocidad dos veces mayor a la del movimiento diario promedio. Comparativamente, Ptolomeo usa un sólo epiciclo o su equivalente excéntrica. Ibn ash-Shatir combina ambos modelos y añade otro epiciclo al

modelo resultante, "suavizando" el movimiento real observado.

El modelo lunar es muy parecido al del Sol, pero a una escala más pequeña debido a la cercanía de la Luna. Tenemos también una deferente cuyo centro será el centro del Universo y tendrá una inclinación de 5° con respecto a la eclíptica. Este primer círculo tendrá un giro de oeste a este llevando con él al primer epiciclo y éste al epiciclo más pequeño en el que va la Luna. Recordemos, del capítulo anterior, que Ptolomeo usa un sólo epiciclo y hace rotar el centro de la deferente lunar en torno a la Tierra en un círculo un poco más grande que el mismo epiciclo.

La actividad en la escuela de Maragha parece haber sido, casi en su mayor parte, filosófica y sin muchas pretensiones, aunque definitivamente están un paso más allá de Ptolomeo, especialmente en el aspecto geométrico y matemático.

No sabemos si hubo realmente un avance en la concepción del Universo, pues ya que la filosofía ptolomeica era bien aceptada, no se ve que hubiese interés en ese sentido. No hay duda del reconocimiento que se le hacía a la obra de Ptolomeo y prueba de ello es que la mayoría de los sistemas desarrollados están basados en ella. De los modelos podemos deducir que el cuerpo que se consideraba más cercano a la Tierra era la Luna y el más lejano el Sol. La Tierra (esférica), se hallaba desplazada del centro del Universo y en algunos modelos tenía rotación propia. Sobre las estrellas no se dice mucho pero quizá coincidían con el *al-falak ash-Shamil* o esfera celeste. Su naturaleza aparentemente no se menciona. Del orden de los planetas no se sabe nada tampoco, pero queda claro que estos se hallan entre la Luna y el Sol y, tal vez, aquellas cuestiones que no se mencionan explícitamente o que definitivamente no se mencionan, sean tomadas literalmente de la obra de Ptolomeo.

VIII. LOS PRECURSORES DE COPÉRNICO

La filosofía medieval, en la que dominaban los preceptos de Aristóteles, conocida genéricamente como Escolástica, en su momento, dominó y llegó a ser el poder máximo a todo nivel, pero poco a poco fue perdiendo poder y finalmente fue desplazada por una filosofía con una perspectiva "más humana" en la que el hombre (su posición en el Universo y su destino) era lo más importante y la fuente de estudio principal. Comparativamente, los escolásticos no lograron casi nada en lo que avances "científicos" se refiere. Su mentalidad cosmológica y cosmográfica fue dominada casi totalmente por las ideas de Ptolomeo y Aristóteles, que adoptaron sin más cuestionamiento, en un matrimonio indisoluble, con la idea de que en ese sentido todo estaba ya definido y concluido.

El impacto del humanismo fue muy favorable en Europa, y particularmente en Italia, impulsó grandes obras culturales.

Ahora (en los comienzos de la Baja Edad Media) parecía haber un interés más generalizado por la ciencia que crecía notablemente, sobre todo en las ciudades importantes, como una forma de lograr un mayor desarrollo económico.

Aunque el estudio de la ciencia seguía siendo el estudio de la ciencia antigua (griega), ahora se daba con un nuevo espíritu que generaba nuevas ideas y filósofos más críticos como Jean Buridan (SXIV), Alberto de Sajonia y Nicolás de Oresme

(m1382) de la universidad de París quienes fueron verdaderos precursores de los estudiosos del siglo XVI y los principales críticos de Aristóteles y su *Física*, aunque en sí, no lograron un sistema cosmológico que, al menos, igualara al de Ptolomeo.

Este nuevo resurgimiento del saber en esta época trajo consigo, también, la expansión de las artes y el comercio, la construcción de catedrales y la fundación de las universidades entre el siglo doce y el siglo trece. Fueron tres tipos de universidades las que surgieron, una eran las asociaciones eclesiásticas, que agrupaban a estudiantes y profesores bajo la supervisión de un canciller (Como la Universidad de París, la de Oxford y la de Cambridge), el segundo tipo eran las universidades civiles dirigidas por un rector que era elegido por los estudiantes (Bolonia y Padua). En tercer lugar estaban las universidades estatales que fueron fundadas por un monarca con el reconocimiento del Papa (Nápoles y Salamanca). La creación de las universidades fue de gran importancia y produjo, junto con la traducción de textos árabes, un breve auge por la experimentación que sentó las bases del llamado Método Científico. La figura más notable de este movimiento fue Roger Bacon, (a quien mencionamos brevemente en el capítulo VI), un franciscano de Oxford, quien criticaba a todo aquel que basara su saber en autoridades poco fiables y no en la experimentación. Sorprendentemente, Bacon hizo experimentos de óptica con lentes plano convexas sugiriendo que era posible la construcción de un "telescopio" con ellas. De hecho, con todo el estudio

científico experimental que hizo, sostenía que era posible la construcción de barcos y carnajes autopropulsados, así como "submarinos" e "ingenios voladores". Tales ideas no se popularizaron debido a que Bacon fue reprimido por el general de su propia orden, quien opinaba que sus ideas eran engañosas y peligrosas.

Otros grandes experimentadores fueron Pierre de Maricourt, Mondino de Luzzi (1275-90) y Ramón Lull (1232-1315). El primero experimentó extensamente con imanes y el segundo realizó numerosos trabajos prácticos en anatomía. Lull, como alquimista que era, planteaba que Dios había creado al mercurio para que éste fuera la materia prima del Universo. Decía, entonces, que las partes más sutiles del mercurio se separaban para formar a los seres angélicos. Del mismo mercurio, y de sus partes menos finas se construían los cuerpos celestes y las esferas celestiales; y de los más burdo de él se formarían los cuatro elementos y la quintaesencia con los que se contruían todas las cosas terrestres.

La alquimia se difundió extensamente por toda Europa, siendo los alquimistas una fuente principal del saber para las universidades y, a pesar de haber sido prohibida en 1317 por el Papa Juan XXII, se siguió practicando ampliamente.

Cuando Alberto Magno (1206-80) y Tomás de Aquino (1225-74) integraron la filosofía de Aristóteles con la teología católica comenzaron las discusiones sobre la teoría del "impetus". Tomás de Aquino afirmaba (sin alejarse mucho de las ideas aristotélicas) que el Universo era una

esfera llena de materia en todo su volumen siendo imposible el vacío, pues cualquier movimiento que se diera era resultado de un contacto físico directo o indirecto entre dos cuerpos, lo cual resultaba la primera y suprema prueba de la existencia de Dios, pues debía existir un primer motor, Dios, que imprimiera un impulso primigenio, el Primum mobile

En contra de tales ideas estaba Guillermo de Okham (1295-1394), partidario del nominalismo y precursor del empirismo, a quien se le llegó a conocer como el doctor invencible. Okham afirmaba que no era necesario el contacto físico para producir movimiento y sustentaba esta afirmación con el hecho de que un imán no necesita tocar un trozo de hierro para moverlo.

Okham, Buridán y Alberto de Sajonia estaban convencidos de la veracidad de la "doctrina de la rotación diaria", pero fue Nicolás de Oresme el primero que la adoptó explícitamente, asociándola a la teoría del impetus. Todos estos seguidores de esta teoría, estaban de acuerdo en que el Universo podría ser infinito en extensión y que era posible que hubiese otros mundos como los nuestros. Así pues, el sistema planteado abarcaba un Universo infinito con la Tierra girando en el centro una vez al día y, en el cual, los entes angélicos no existían.

La contraparte de esta teoría había sido planteada por Dionisio y Santo Tomás, y se reducía al sistema aristotélico cristianizado. Esta teoría ortodoxa planteaba a la Tierra inmóvil en el centro de un Universo finito. La Tierra era rodeada por esferas de perfección creciente que

se mantenían en movimiento gracias a seres de tipo angélico.

El contacto con el comercio oriental favoreció a Italia y Alemania, y sobre todo a sus principales ciudades. Los primeros astrónomos alemanes aparecieron a mediados del siglo XV y se dice, que son estos, los que pavimentaron el camino a hombres como Copérnico y Képler, entre ellos estaba Georg Peurbach.

Peurbach (o Purbach) (1423-1461) quien toma su nombre de su lugar de nacimiento⁵⁴, desde muy joven viajó por Italia y Alemania, y ya a los veinte había estudiado en la universidad de Viena donde poco después sería profesor. Peurbach estudió profundamente a Ptolomeo y fue, de hecho, el primer occidental en usar su teoría epicíclica (aunque con ciertas variaciones) en su libro *Therica novae planetarum* o *Nueva teoría de los planetas*.

Básicamente el sistema de Peurbach es igual al de Ptolomeo. Peurbach separa las regiones de cada planeta con conchas esféricas sólidas para dar suficiente espacio a sus órbitas excéntricas.

Junto con su alumno (y más tarde asistente) Johann Müller, más conocido como Regiomontano⁵⁵ (1436-1476), observaron eclipses, cometas y los movimientos solares. Gracias a tales observaciones fue que detectaron ciertos errores en las Tablas Alfonsinas.

Peurbach deseaba tener mejores traducciones de la obra de Ptolomeo y de otras igual de importantes, por lo que estaba obligado a ir a Italia. Fue allí donde conoció al cardenal

Besarion (griego de nacimiento), quien lo apoyó en sus viajes por Europa en los que colectaría numerosos textos griegos antiguos. Besarion y Peurbach compartían el interés por dar a conocer las obras griegas en occidente, y por tener traducciones más fieles de las mismas. Peurbach muere en 1461 antes de conseguir su empresa, pero su alumno, Regiomontano, se encargaría de continuarle. Fue más o menos por esta época que la impresión de libros empezó a hacer sentir su impacto debido a que los libros impresos evitaban (al menos en cierto grado) los errores del copiado en los monasterios. Regiomontano tenía su propia oficina de impresión donde pretendía imprimir, según una de sus listas, veintidos títulos, entre los que supuestamente se incluían a Ptolomeo, Aristóteles, Arquímedes, Euclides, Teón, Proclo, Apolonio y algunas de sus propias obras. Su primera publicación (en 1496) sería obviamente la Teoría Planetaria de su maestro que, por cierto, él mismo había completado. Regiomontano tuvo gran éxito con sus *Efemérides* en las que registraba las posiciones Solares, lunares y planetarias de los últimos 32 años, de 1475 a 1506. Regiomontano murió dejando mucho trabajo inconcluso y casi todos sus textos dispersos. Muchos de éstos serían impresos cuarenta años después. En 1505 aparecería la primera impresión en latín del *Almagesto*, pero la primera edición en griego tardaría hasta 1538.

No es mucho lo que avanzó Regiomontano en lo que a teoría planetaria se refiere, además de lo que su maestro hizo. Algo de lo que se le debe

⁵⁴ Purbach es una pequeña ciudad alemana ubicada cerca de la frontera con Austria.

⁵⁵ De hecho Johannes de Monte Regio o Regiomontanus.

reconocer es el que aceptaba total y abiertamente la teorías de Ptolomeo.

Su más importante logro fue su trabajo práctico en astronomía. Regiomontano reunió, en torno a sí, un círculo de estudiosos de la ciencia que además aportaban dinero para la impresión del trabajo, entre ellos se hallaban algunos que conocían bien el griego. Uno de éstos fue Bernhard Walther (m1504), que adaptó en su casa instrumentos de observación astronómica, convirtiéndola indirectamente en el primer verdadero observatorio donde trabajaron Regiomontano, él mismo y los demás estudiosos, hasta la muerte del primero. Walther seguirían entonces su línea de trabajo hasta el día de su propia muerte, en 1504. Para entonces tenía ya, cerca de 746 observaciones hechas; 615 de ellas eran relativas a las posiciones de los planetas, la Luna y las estrellas, y el resto referentes a las altitudes solares. Estas eran la primera serie de observaciones ininterrumpidas del renacimiento y serían, más tarde, utilizadas por Tycho Brahe y Kepler.

La ciencia de los escolásticos era, como ya vimos, totalmente teórica, la experimentación y la observación eran casi inexistentes. Parecía que ahora se daban cuenta del valor de la observación de los fenómenos, además entre los estudiosos se aceptaba bien y de forma generalizada a Ptolomeo, lo que implicaba aceptar la esfericidad de la Tierra y su posición en el Universo; claro que, en las mentes de la gente común, la Tierra seguía siendo ese gran disco flotante, como herencia de la pervisión medieval de la ciencia griega.

La nueva mentalidad permitiría que la ciencia remontara otra vez en Europa y ahora, gracias a la gran precisión de las observaciones de Regiomontano, se tenían nuevas herramientas y se había superado (al menos en ese aspecto) a Hiparco y Ptolomeo. Nuevamente las cuestiones calendáricas serían las que despertarían cierto interés en la ciencia. El calendario era un desorden, por ejemplo, según el vigente, el equinoccio vernal ocurría el 11 de marzo (y no el 21), y las lunas llenas se daban con tres días de anticipación, según lo calculado. La otra causa que motivaría el interés por la ciencia (particularmente la astronomía) sería la navegación; existía la necesidad de localizar un barco de acuerdo a su posición latitudinal. En general, para abrir nuevas rutas comerciales marítimas, se requería cierto conocimiento astronómico. Cada nuevo viaje proporcionaba un nuevo descubrimiento y particularmente los marinos percibían los errores en las descripciones antiguas de la Tierra, tales como la *Geografía* de Ptolomeo que pedía una corrección urgente. Un buen ejemplo de todo esto es "el descubrimiento de América".

Por estos años, de hecho a finales de 1486, Colón (¿1451?-1506) presentó a la corte de Salamanca su proyecto de ruta: "el proyecto colombino", (Copérnico contaba sólo con trece años) basado en dos suposiciones. La primera era la esfericidad de la Tierra, y la segunda, la distancia que él estimaba que había entre Europa y Asia. Su primera suposición era verdadera y ya bien aceptada, pero la segunda era falsa, pues la distancia supuesta era mucho menor a la que realmente existía.

El suponer a la Tierra esférica hacia posible pensar que se podría llegar a Asia desde occidente acortando las distancias, si el valor de Colón resultaba cierto. Colón suponía que la circunferencia ecuatorial terrestre era de 30 mil kilómetros, algo así como 10 mil kilómetros menos de los reales, basado en los cálculos de gente como Paolo Toscanelli (1397-1482), un médico, astrónomo y cosmógrafo italiano que nació y murió en Florencia y que a su vez fue influido por las historias de Marco Polo, quien había sido el primero en proponer la idea de arribar a oriente desde el occidente.

Toscanelli suponía que existían 160° de masa oceánica, veinte de los cuales estaban ya explorados, se refería con esto a las islas Canarias y a las islas Azores. Había 15° restantes correspondientes a la distancia entre Japón (o Cipango como Marco Polo le llamaba) y Asia; o sea $160^\circ - 20^\circ - 15^\circ = 125^\circ$ que concordaban con el valor de 120° de un famoso personaje de la época conocido como el "Marino Tiro" para la misma masa oceánica. A estos 120°, Colón le resta los grados que suponía entre Europa y la Canarias, y haciendo ciertos ajustes (inapropiados) obtiene que debe cruzar, para lograr su proyecto, entre 45 y 50° de océano. Como existía un pasaje bíblico (en Ezequiel, Cap.VII.28) donde se afirmaba que sólo un séptimo de la Tierra estaba cubierto de agua, todo coincidía y la idea de Colón se reforzaba. Sabemos bien y de sobra el desenlace de tal historia.

Al abrirse las nuevas rutas, se abrieron también los ojos de los navegantes a nuevas porciones del cielo, y una serie totalmente nueva y desconocida de constelaciones apareció.

Toscanelli no sólo inspiró y motivó a Colón para su búsqueda, también introdujo en la astronomía a Nicolás de Cusa (1401-1464). Cusa muere cuando Colón tenía supuestamente trece; entonces, en realidad Toscanelli influyó en Colón en sus últimos años. El Papa Pío II era amigo personal de Cusa y lo nombró cardenal, y como tal, él buscó la reforma de la Iglesia. En su libro *De docta ignorantia* expone algunas de sus especulaciones sobre el movimiento de la Tierra desde un punto de vista neoplatónico, pero sin dejar de lado su misticismo religioso. Cusa explicitaba las concepciones de los partidarios de la teoría del impetus, según él, la ignorancia informada es la incapacidad humana de concebir el absoluto o, en otras palabras, el infinito matemático. Al teorizar sobre el infinito cae en ciertas contradicciones, por ejemplo, nos dice que si una figura, digamos una línea, se hace infinitamente grande, será al mismo tiempo, triángulo, círculo o esfera. De aquí concluye que el Universo es infinito, y por lo tanto, carente de centro o de circunferencia, por lo cual la Tierra no puede estar en un centro que no existe. La frase con la que resumía esto decía más o menos: el Universo tiene un centro por doquier y una circunferencia en ninguna parte. Tal afirmación coincide, en principio, con las ideas modernas.

Todos los cuerpos (nos dice) tienen un movimiento propio y natural. La Tierra, como un cuerpo más, debe entonces, tener al menos un movimiento. De los movimientos existentes cada uno tiene un diferente grado de circularidad y perfección. La forma de los cuerpos mismos también existe en diferentes grados, la Tierra por

ejemplo, aunque noble y esférica, podría serlo más.

Cuando de Cusa dice que la Tierra se mueve, no queda claro si se refiere o no a un movimiento progresivo. Lo más probable es que no, pues en otro pasaje nos refiere lo siguiente:

"Dios dio a cada cuerpo cierta naturaleza, órbita y lugar; puso a la Tierra en medio y decidió que debería ser pesada y moverse en el centro del Universo (*ad centrum mundi moveri*) para que siempre se mantuviese en el medio y no se desviase hacia arriba o a los lados"⁵⁶.

Resumiendo, primero se olvida de la inexistencia de un centro para el Universo, debido a que es infinito, y en segundo lugar parece solamente referirse a un movimiento de rotación. De Cusa no tenía una base observacional para sus afirmaciones, sólo hacia especulación filosófica, excepto en ciertos y contados casos y de forma por demás vaga; uno de ellos es cuando se afirma que el Sol es mayor que la Tierra y ésta que la Luna. Supone, por otro lado, que todos los cuerpos celestes, incluida la Tierra, se constituyen de los mismos elementos, las diferencias entre ellos se deben, por un lado, a que en cada uno de éstos, la mezcla se da de diferente forma, y por otro, a que en cada uno existe un elemento predominante diferente. Además, cada uno de estos cuerpos, emiten su propia luz y calor. A este respecto nos dice que particularmente el calor y luminosidad solares se deben a que existe un aire, especialmente puro, entre la Tierra y el

Sol, aunque, si alguien se parase sobre la superficie solar no percibiría ni la luminosidad cegadora, ni el calor abrasador que desde aquí se observan.

En la última hoja de uno de sus manuscritos hallado más recientemente⁵⁷, pero fechado en 1444, Cusa expone de forma más clara sus ideas (sobre esto) en general. Abí nos dice que no hay movimiento circular exacto y que, por tanto, ninguna estrella realiza un movimiento perfectamente circular. La Tierra no puede estar fija (dice), pues tiene movimiento como el de las demás estrellas, girando en torno a los polos del Mundo, una vez en un día y una noche. En comparación, la octava esfera (o esfera de la estrellas fijas) gira al doble de velocidad (o sea, una vuelta en doce horas) y el Sol lo hace en poco menos que eso, supuestamente en vez de completar un círculo en las doce horas, completaba un círculo y $1/364$ parte de círculo adicional.

El que ambos giros, el de la Tierra y el de la octava esfera, se llevaran a cabo en la misma dirección (de este a oeste) resultaba, para el observador, en la aparente inamovilidad de la Tierra. Según este manuscrito, existía otro par de polos en el ecuador de la octava esfera, sobre los que la Tierra giraba en un día y una noche, y la misma octava esfera lo hacía en un periodo mucho más corto, tanto que un punto sobre su superficie tardaría cien años en moverse lo que el Sol en un día. Esta segunda rotación, en primer lugar, pretendía explicar por qué el Sol

⁵⁶ N. Cusa, *De docta ignorantia*, L.II. Cap.XI.

⁵⁷ Hallado por Clemens y publicado por él mismo en una obra sobre Bruno y Cusa. *Giordano Bruno y Nicolás de Cusa*, Bonn (1847).

no sólo se movía en torno a los cielos progresivamente, sino que además tenía cierto movimiento $23 \frac{1}{2}^\circ$ al norte y al sur del ecuador, además explicaría porqué la esfera de las estrellas se atrasaba un grado cada cien años.

Uno de los filósofos de la época que sin duda enseñaba que la Tierra se movía, antes que Copérnico lo hiciera, fue Celio Calcagnini (1479-1541). En el caso de Nicolás de Cusa tal tesis no queda bien clara pero con Calcagnini sí.

En una visita que Calcagnini hizo a Cracovia, Polonia, con motivo del casamiento del Rey polaco en 1518, se enteró que un canónico de la catedral de Ermland (dependiente de Polonia) y un doctor de la universidad de Ferrara, trabajaban en un nuevo sistema del Mundo basado en la idea de que la Tierra no estaba fija. Aparentemente Calcagnini escribió, antes de 1523, un ensayo titulado *Quod caelum stet, terra moveatur, uel de perenni motu terrae* que no se imprimió sino hasta después de su muerte junto con otros de sus escritos. El ensayo comienza diciendo que no son los cielos, el Sol y las estrellas los que giran a una velocidad tremenda, sino que es la Tierra la que lo hace. Esta se halla en el centro del Universo donde su peso y condición le impiden ir a otro lado. El centro de la Tierra (según Calcagnini) se hallaba en reposo, pero ella giraba como resultado del impulso celestial (el *primum mobile*) recibido; por tanto, no podría detenerse sin despedazarse. Los cielos, en cambio, por su pura y tígera naturaleza de quintaesencia, eran inamovibles.

Calcagnini añade otro elemento al esquema, tal vez porque se daba cuenta de que la rotación terrestre no lo explicaba todo; nos dice entonces

que el eje de la Tierra se inclina, ya sea a un lado o al otro, y esta inclinación explicaba los solsticios, los equinoccios y el incremento y decremento en las posiciones lunares, así como el cambio en la longitud de las sombras proyectadas. El matemático y astrónomo Francesco Maurolico de Mesfina (1494-1575) en su libro *Cosmografía*, crítica con cierta dureza, a través de sus personajes, a Calcagnini (aunque podría bien referirse a Copérnico) por sus "absurdas afirmaciones".

La primera edición latina de la *Sintaxis* de Ptolomeo apareció en 1515, pero era una traducción de traducción (a saber, del griego al árabe y de éste al latín) hecha por Gerardo de Cremona en el siglo doce. Tiempo después apareció una traducción, directamente del Griego, hecha por Georgios de Trebizond, en París en 1528 y en Basle en 1551; y (por fin) en 1538, en Basle, se imprimió la obra original en griego de los textos que Regiomontano había colectado. Esta vez, cualquiera que entendiera griego, podría consultar y analizar la obra, tal cual había sido escrita por Ptolomeo.

Los esfuerzos por tener una imagen real del Universo parecían enfilarse en la dirección correcta con Calcagnini, pero, existían también intentos por revivir la teoría de las esferas sólidas, que hacían principalmente los italianos Fracastoro y Giovanni Bautista Amici.

Girolamo Fracastoro vivió entre el 1483 y el 1553 en Verona y seguramente conoció personalmente a Copérnico, pues ambos estuvieron en Padua entre el 1501 y 1508. El primero era maestro de Lógica y el segundo era estudiante. Ambos, además, tenían un interés

común en la medicina y la astronomía. En Padua, Fracastoro tenía buenas relaciones con los hermanos Della Torre, uno de ellos, por cierto, colaborador de Leonardo da Vinci en sus estudios de anatomía, y el otro, Giovanni Battista, se dedicaba a la astronomía, en busca de un modelo cosmológico basado en las esferas de Eudoxo, prescindiendo, absolutamente, de los epiciclos y las excéntricas. Según la historia, el que Fracastoro se dedicara también a este problema, venía de una promesa que le hizo a Giovanni Battista, cuando éste último agonizaba. Fracastoro, en principio, sólo se dedicó a desarrollar lo que Battista había comenzado, pero cuando la obra, titulada *Homocéntrica*, estuvo terminada, Fracastoro se había alejado ya de la idea original.

La obra casualmente está dedicada al Papa Paolo III, al igual que el libro de Copérnico lo sería años después. Nadie parece haberle prestado atención a este libro, tal vez debido a que Ptolomeo se había ya establecido en las mentes de los hombres de esa época. El error de Fracastoro fue seguir el mismo método de Eudoxo y Calipo, a quienes cita frecuentemente, olvidándose de justificar los nuevos descubrimientos como la desigualdad zodiacal y la precesión.

Las ideas básicas que Fracastoro utilizó son el hacer que los ejes de las esferas contiguas mantuvieran 90° entre sí y que sólo la esfera mayor influyera a la menor, confiriéndole el impulso primario, de afuera hacia adentro y no al revés. Maneja conjuntos de cinco esferas a las que se refiere como sigue (tomadas en orden decreciente o de afuera hacia adentro):

1. Circumducens
2. Circitor
3. Contravectus
4. Anticircitor
5. Ultimus contravectus

Cada esfera tenía su velocidad particular. La cuarta y quinta esferas giran en sentido opuesto a la segunda y tercera respectivamente. La segunda y tercera esferas producen supuestamente una oscilación o "trepidación". También afirma que los puntos del equinoccio describen realmente pequeños óvalos y no círculos.

En total, Fracastoro utiliza nada más 79²⁸ esferas, lo que hace a su sistema definitivamente más complejo que el ptolemeico. Las esferas se distribuían como sigue: 8 esferas para el movimiento de las estrellas, 6 para la rotación diaria y la precesión, 10 para Saturno, 11 para Júpiter, 9 para Marte, 6 para el Sol, 11 para Venus, 11 para Mercurio, 6 para la Luna y una esfera sublunar. Al final Fracastoro y Giovanni Battista Amici intentaban, en vano, darle vida a algo que ya estaba más que muerto.

Los precursores de Copérnico fueron realmente pocos, hablando claro, de este periodo. En cierto sentido, hasta a Leonardo da Vinci se le atribuyó este papel de precursor pues supuestamente también apoyaba la idea de que la Tierra se movía. El genio y versatilidad de Leonardo hacen fácil pensar que así fue, pero en realidad es una confusión que se dio a partir de un

²⁸ Dreyer, op. cit., p.301

manuscrito del mismo Leonardo. En tal manuscrito, fechado en 1510, Leonardo demuestra que un cuerpo que describe una espiral (o algo así) y moviéndose hacia un "globo" que "gira", tal como la Tierra; desde el punto de vista de un punto en su superficie, parecerá describir una línea recta que pasa por el centro de ese globo. Quizá Leonardo simplemente compara tal globo giratorio con la Tierra en cuanto a su forma se refiere, aunque

conociendo su gran trabajo, bien podría antojarse maliciosa tal comparación. Muchos investigadores se inclinan por la primera opinión.

El primer paso ya se había dado para lograr una cosmología más avanzada. La Tierra en movimiento giratorio preparaba el terreno para algo más radical, tan radical como las teorías de Filolao el pitagórico de hacía dos mil años atrás.

IX. MIKOLEJ Y LAS REVOLUCIONES DE LAS ORBES CELESTES

Mikolej Kopernik nació el 19 de febrero de 1473 en Torún (Thorn); era descendiente de una familia de inmigrantes alemanes. Thorn, era parte, junto con Danzig y Cracovia, de numerosos poblados conformados por inmigrantes y que más tarde se convertirían en territorio polaco aunque en ese momento se hallaban bajo el dominio de la Orden de los Caballeros Teutones. Tal vez, debido a estar conformados tales pueblos enteramente por inmigrantes, estaban, en cierta forma, libres de la tradición y del prejuicio y eso los dotaba, en cierto grado, de mentes algo más abiertas.

Copérnico estudio astronomía y astrología en la universidad de Cracovia y a los veintiséis años viajó a Italia para estudiar jurisprudencia y regresó un año después para estudiar medicina en la universidad de Bolonia.

En este último viaje de tres años y medio fue que tuvo cierto acercamiento con la nueva mentalidad renacentista al estudiar astronomía, griego y a Platón con Domenico de María Novara, con quien después trabajó estrechamente. A partir del estudio del griego se familiarizó con las fuentes originales, tanto griegas como latinas, y quizás fue esto lo que le despertó una nueva forma de concebir al mundo y sus mecanismos o, tal vez, sólo le fortaleció sus propias ideas. El mismo Copérnico nos dice que

los que le dieron valor para trabajar su teoría fueron indirectamente hombres como Hicetas, que suponía a la Tierra en movimiento, los pitagóricos, que suponían que la misma describía una órbita en torno a un Fuego Central, Heráclito y Ecfanto, que planteaban la teoría de que la Tierra giraba sobre su eje y Aristarco, quien sustentaba una teoría que era combinación de todas las anteriores, es decir, que la Tierra giraba sobre su eje al tiempo que se desplazaba en una órbita en torno al Sol.

Se dice que Copérnico desarrollaba sus ideas cosmológicas en sus ratos libres. En realidad, su trabajo era prácticamente teórico, sus observaciones fueron escasas y su objetivo no iba más allá de lograr un modelo cosmológico tan completo como el de Ptolomeo, pero que salvara las irregularidades que en él persistían y con el cual se pudieran predecir fenómenos futuros.

Copérnico dudó, por años, acerca de si debía o no publicar sus ideas. Según él mismo, no mueve años, sino cuatro veces nueve. Finalmente, después de esos supuestos treinta y seis años, y motivado por sus amigos clérigos como el obispo de Kulm y el cardenal Schoenberg de Capua, se decidió a dar a conocer sus teorías (a pesar de prever el rechazo debido a los tantos prejuicios medievales que aún persistían) en un documento que distribuyó entre ciertos amigos y astrónomos llamado el *Comentariolus* o breve comentario (1512). En él, exponía sus ideas sobre las formas y mecanismos del Mundo en siete tesis, que serían, más tarde, los pilares de sus teorías sobre la nueva imagen del Universo:

- 1) No hay un sólo centro para todas las esferas.

2) El centro de la Tierra no es el centro del Mundo sino sólo de la gravedad y de la orbe lunar.

3) Todas las orbes circundan al Sol que yace en el centro de todo, tal que el centro del Mundo está situado en el Sol.

4) La relación de las distancias del Sol y la Tierra con la altura del firmamento es más pequeña que la relación del semidiámetro y la distancia solar, tal que su razón con la altitud del firmamento es imperceptible.

5) Lo que parece el movimiento del firmamento no se debe a él sino a la Tierra, por lo tanto, la Tierra, junto con sus elementos más cercanos, rota en un movimiento diario entre sus polos invariables. El firmamento entonces, está inmóvil y el último cielo es permanente.

6) Lo que nos parece un movimiento con respecto al Sol no se debe a él mismo sino a la Tierra con la cual giramos, como cualquier otro planeta, en torno a él. Por tanto, la Tierra realiza varios movimientos.

7) Lo que aparece como retrogradación y progreso en los planetas no viene de ellos mismos sino por parte se la Tierra. Su sólo movimiento es suficiente para explicar muchos y diferentes fenómenos.

Es claro que estas siete tesis son totalmente innovadoras, pero al conocerlas, no podemos evitar preguntarnos cómo Copérnico llegó a ellas y las desarrolló, tomando en cuenta que sus antecedentes eran tan escasos y escuetos, aún considerando los trabajos de Hicetas, de los pitagóricos, de Heráclito y de Ecfanto quienes le atribuían cierto movimiento a la Tierra, y ciertos hechos astronómicos como aquella

coincidencia entre el periodo del Sol alrededor del Zodíaco y el periodo de revolución del centro de los epiciclos de Mercurio y Venus también en torno al Zodíaco. Aún así, con sólo ver al cielo percibimos el abismal salto conceptual entre la idea de que el cielo es lo que se mueve y el que la Tierra sea la que realmente no está fija. Quizás uno de sus puntos de partida fueron los cambios de brillo en los planetas. Marte, por ejemplo, tenía un cambio muy notorio de las noches a las mañanas, lo cual implicaba una muy sensible variación en su distancia con la Tierra, hecho difícilmente explicable con la teoría ptolemeica, así pues, no queda bien claro como llegó a tales conclusiones.

De cualquier forma, los ingredientes se conjuntaban para dar vida a la gran obra copernicana. El elemento decisivo en la historia fue la visita que el joven matemático Georg Joachim (de Witemberg, alias Rheticus o Rético) le hizo a Copérnico en 1539 para estudiar y aprender sus teorías con las que se entusiasmó tanto, que escribió una versión de la obra copernicana con el título de *Narratio Prima* al año siguiente. Tal "obra" fue publicada ese mismo año en Danzig y marcó el comienzo del reconocimiento hacia Copérnico por importantes personajes como Erasmo de Reinhold, quien decía que Copérnico era el nuevo Ptolomeo.

Copérnico, entonces, le confió su obra, ya acabada, a su amigo Rheticus, para que la hiciera imprimir en Nüremberg. El libro, como tal, apareció en 1543³⁹, pero no tal cual le fue

³⁹La obra original, por cierto, se conserva en la biblioteca de Nostitz (en Praga) y su contenido y observaciones nos hacen pensar que su antigüedad no va más allá de 1529, lo que contradice aquella frase de Copérnico que decía

entregada a Rheticus, sino que se le añadió un prefacio, casi a modo de disculpa por lo que se iba a leer, titulado *Sobre las hipótesis de este trabajo*, además se le extendió el título a *De revolutionibus Orbium Caelestium o Sobre las revoluciones de las orbes celestiales*. Tales añadidos fueron obra de un ministro y teólogo luterano llamado Osiander, sin embargo entonces, y por mucho tiempo, se pensaron obra del mismo Copérnico, restándole cierta seriedad a su trabajo a pesar de tener un estilo muy diferente al de él. El libro le fue dedicado al Papa Paulo III con lo que se demostraba que aunque Copérnico nunca se compenetró en los hábitos religiosos, buscaba evitar cualquier confrontación con las doctrinas teológicas.

El *Revolutionibus* resultó ser un libro técnico en extremo y que exigía la previa lectura del *Almagesto*, pero, claro, lo que saltaba más a la vista en él, era la postulación del heliocentrismo, los nuevos valores asociados a las órbitas planetarias y el nuevo mecanismo para las representación de los detalles de los movimientos planetarios, todo pensado no sólo como un modelo para explicar los mecanismos universales sino como la imagen real del Mundo.

En su parte introductoria, Copérnico plantea las bases de su sistema, apoyado en las incoherencias de las teorías de Ptolomeo y Eudoxo. Según Copérnico, el sistema Ptolomeico era arbitrario y asimétrico: "un sistema de esta índole no parecía ni lo bastante absoluto ni lo

bastante grato para el espíritu".⁶⁶ El Mundo es esférico así como la Tierra misma y por ser esfera tendrá movimientos propios de las esferas, i.e., en círculos. Los cuerpos celestes como tales tendrán varios movimientos circulares y uniformes o compuestos de éstos. En cierta forma, según esto, las irregularidades eran relativas, asumiendo que se debían a que existían otros polos para el movimiento o a que la Tierra no era el centro de los círculos de todos los cuerpos celestes. Algo debía ser, pues (decía) la razón rechaza las irregularidades.

El principio de estas ideas era simple, cada cambio observado se originaba ya sea por el movimiento del mismo objeto o del mismo observador o aún, de ambos. Si se suponía entonces, el movimiento de la Tierra, todos los movimientos se daban realmente en dirección opuesta. Si el Cielo lo contenía todo, no era concebible atribuirle el movimiento a él y su contenido, sino al mismo contenido; y si así fuera se debería rechazar la idea de que la Tierra ocupa el centro del Mundo.

Asociar un movimiento a la Tierra no implica que éste deba ser violento, pues es algo natural a su forma. Lo natural es contrario a lo violento y no altera por tanto el orden y la perfección. En parte, este movimiento no se percibe porque el aire y las nubes que circundan la Tierra son arrastradas con ella y esto nos da ese efecto de reposo.

Ya que no hay objeción para el movimiento de la Tierra, debía entonces considerarse ésta como

que su libro había esperado treinta y seis años para ser publicado.

⁶⁶ *Comentarios*, publicado dentro de *Copernican treatises*, Edward Rosen, New York, Columbia University Press (1939), p.57

un planeta más, con, tal vez, otros movimientos asociados a ella (de hecho un triple movimiento). Para reforzar la idea de que la Tierra no era el centro de todo, Copérnico aludía siempre a las irregularidades de los movimientos planetarios y a sus distancias que parecían variar constantemente, lo que no se observaría si el Universo fuera en verdad geocéntrico.

Copérnico menciona que hay otros centros de gravedad aparte de la Tierra, explicando la gravedad como la tendencia de las partículas para combinarse en una esfera. Si los planetas eran esferas también, era natural que tal tendencia fuera propia de ellos. Nos dice: " Yo, al menos, soy de la opinión de que la gravedad no es nada más que una tendencia natural implantada por la Providencia en todas las partículas para unir las en un todo con la forma de una esfera y es creíble que esta tendencia sea también innata del Sol, la luna y los otros planetas; por tal efecto retienen su forma redonda mientras completan sus circuitos de varias formas ".⁶¹

Asumiendo la inmovilidad del Sol y transfiriendo su movimiento a la Tierra, los levantos y puestas de las estrellas se explicaban debido a tal movimiento, igual que las estaciones. La conclusión es que el Sol está en el centro del Universo.

El mismo Copérnico en un pasaje del *De Revolutionibus* nos dice:

"En el centro de todo se encuentra el Sol, ¿quién colocaría esta lámpara de templo tan hermoso en otro lugar mejor que este, desde el

cual pueda iluminarlo todo al mismo tiempo?..."⁶²

Y a pesar de esto, si observamos los esquemas desarrollados por él, hay un cierto desplazamiento del Sol y el centro siempre queda vacío. La cuestión es que para efectos prácticos, Copérnico supone al Sol en el centro, pero cuando hace el análisis de movimiento para cada planeta reconoce la ventaja de desplazarlo del centro, era este el primer paso hacia las elipses.

Quedaba por determinar el orden de los planetas, que siempre se ponían de acuerdo a sus periodos de revolución: Saturno, Júpiter y Marte para los primeros tres en orden de decreciente lejanía. Mercurio y Venus siempre habían estado en la discusión de si uno u otro iba primero que el Sol. Ahora con el Sol en el centro (con las reservas correspondientes) el problema quedaba resuelto; los más cercanos eran estos dos últimos en ese orden seguidos por la Tierra y precedidos por los tres primeros en orden invertido. La Luna, junto con todo lo que se hallaba "por debajo" de ella, era acarreada por la Tierra, pues ésta sí giraba en torno a ella. Todo estaba contenido por la esfera de las estrellas, inmóvil y que se contenía a sí misma. Como referencia a su tamaño, Copérnico nos dice que es tan grande, que el tamaño de la órbita terrestre es, en comparación, despreciable. Así, quedaban por debajo todos los planetas realizando revoluciones con periodos, de 30 años en el caso de Saturno, 12 para Júpiter, 2 para Marte, 1 para la Tierra, 7 meses para Venus y 80 días para Mercurio, con centro en el Sol.

⁶¹ Dreyer, op.cit., p.324

⁶² Copérnico, *De Revolutionibus*, p.526.

“Así en efecto, el Sol, como sentado en un Solio real, dirige a la familia de astros que lo rodean”.⁴³

Los anteriores son los argumentos que Copérnico daba a favor de sus tesis y aunque aquellos contra Ptolomeo eran meramente filosóficos, la simplicidad de su sistema hablaba por sí sola; tenía una completa armonía y su impacto conceptual iba más allá de lo que su mismo autor podía en su momento visualizar. Cabe decir que la representación genérica que Copérnico hacía, implicaba esa conveniente

simplicidad que a muchos convencería. Claro, era algo de trampa, pero eso le representaba la oportunidad de demostrar la conveniencia de hacer girar a todos los planetas en torno al Sol, con éste fuera o en el centro.

Las tesis de Copérnico representaban en principio y en sí, un reto a la concepción humana y aparentemente, desde el punto de vista de la época, estaban en contra de la experiencia.

Para entender la gran simplificación que representaban las representaciones de Copérnico, revisemos sus sistemas geométricos. La Tierra ahora giraba en torno al Sol.

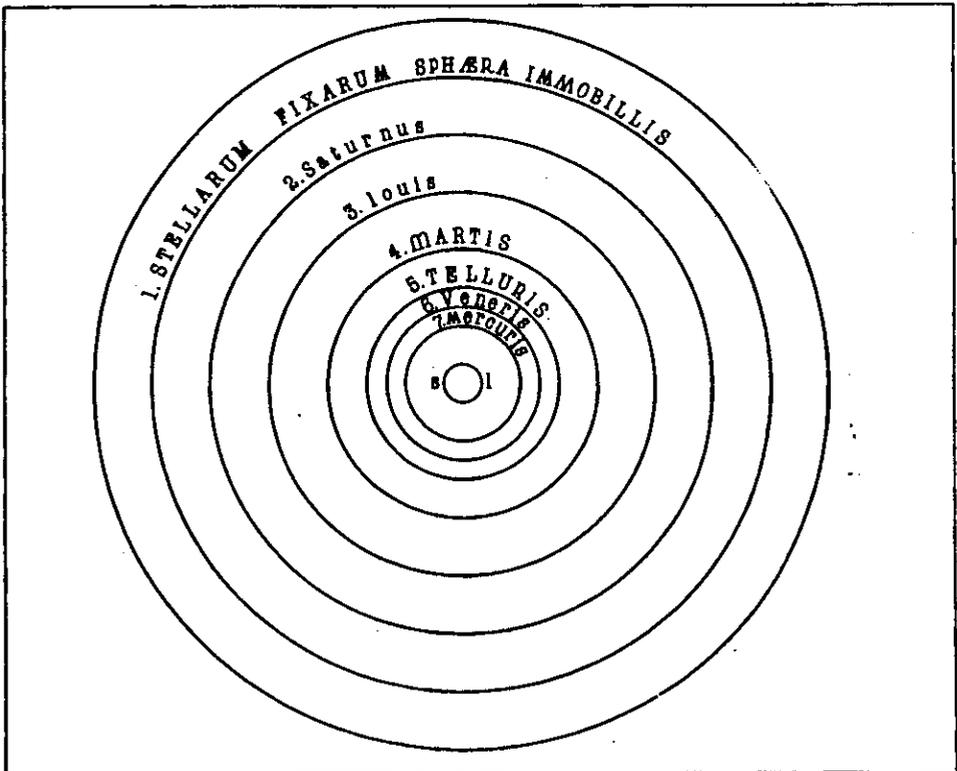


Fig. IX.1. Sistema planetario copernicano

⁴³ Ibid. p.35.

Aquí, en el esquema, el Sol se halla en el punto S que es también el centro del mundo. En torno al Sol un cierto punto A giraba describiendo un círculo sobre el que a su vez giraba otro punto (B) siendo éste el centro de la órbita de la Tierra, es decir, el punto T que describe un círculo mucho mayor. T y A se movían de este a oeste y B en dirección opuesta. El periodo de A era 53 mil años, el de B 3434 años y claro, el de T era de un año. Apuntemos aquí que este segundo periodo corresponde precisamente al periodo de variación que presenta la oblicuidad. Los círculos aquí se han exagerado pues si el segmento BT fuera tal cual se ve en la página, o algo así como siete centímetros, el círculo medio debería representarse con un radio de 0.09cm y el círculo más pequeño con uno de 0.013cm. Para

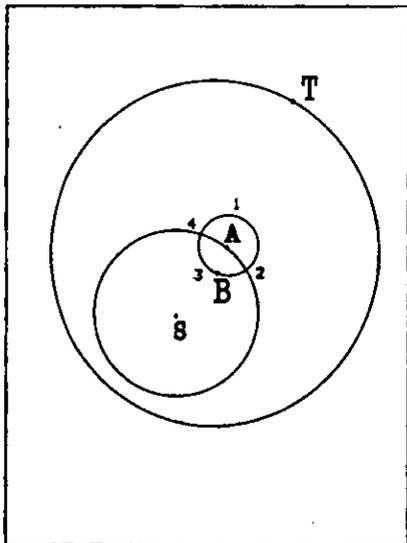


Fig. IX.2. Arreglo para el movimiento de la Tierra

redondear digamos que, según el esquema, la excentricidad máxima se da cuando B está en el punto 1 y la mínima en el punto simétrico opuesto del círculo más pequeño.

En lo referente al movimiento de la Tierra, Rheticus hace un juego de correspondencias interesantes⁴⁴ en su *Narratio Prima*, nos dice, que cuando la Tierra estaba en 1 (según la Fig. IX.2) el Imperio Romano se inclinaba hacia la monarquía en el año 64, cuando estaba en 2 (punto de excentricidad media) el mahometismo se erigió en un gran imperio y en 3 supuestamente (para el siglo XVII) se derrumbaría por gracia de Dios y cuando la Tierra alcanzara nuevamente 1 vendría Cristo, pues se hallaría ésta en el mismo lugar de la creación lo cual coincidiría con los cálculos de Elías i.e. el Mundo duraría seis mil años.

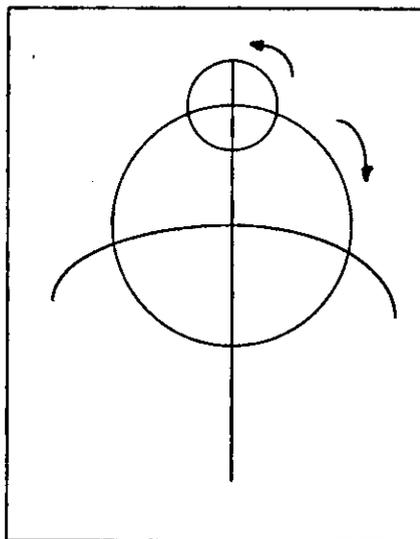


Fig. IX.3. Arreglo para el movimiento lunar

⁴⁴ Dreyer, op.cit., p.332.

El movimiento de la Luna de Copérnico (Fig.IX.3) es mucho más simple que el de Ptolomeo. El centro de la deferente es T-centro de la Tierra- y en su circunferencia se mueve el centro del primer epiciclo de oeste a este. El centro del segundo epiciclo se mueve en la circunferencia del primero en dirección opuesta y sobre su circunferencia se mueve la Luna.

A Copérnico, el mecanismo del ecuante le parecía una violación a la tesis del movimiento circular uniforme por lo cual buscó un mecanismo que lo sustituyera y que funcionaba como se observa para los planetas exteriores:

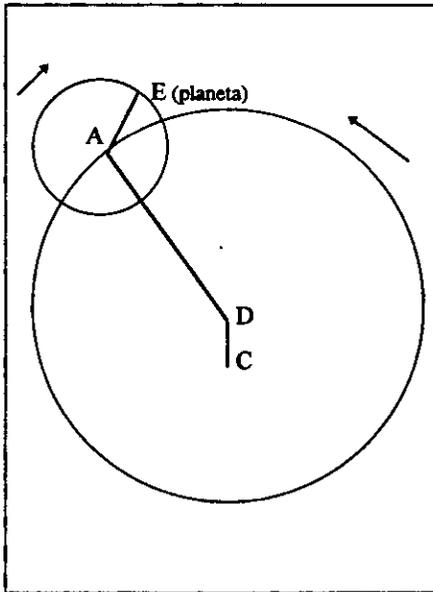


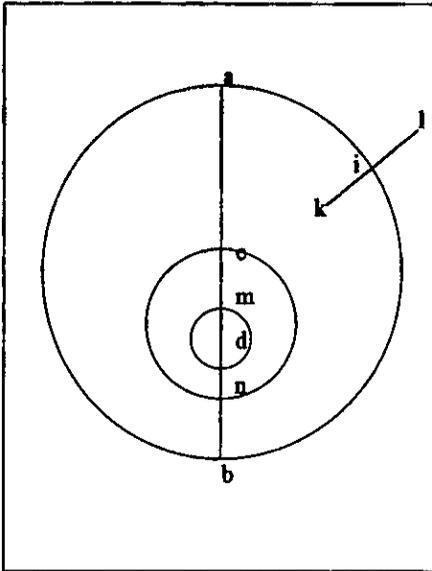
Fig.IX.4 Arreglo para el movimiento de los planetas exteriores.

Como Copérnico siempre refería los movimientos planetarios a la Tierra, se representa en el esquema su órbita como el círculo con centro D (Fig.IX.3). El planeta (exterior) se mueve entonces en un epiciclo con centro en A, que a su vez giraba sobre el círculo excéntrico, de oeste a este, con centro en C.

Las relaciones asociadas a este sistema (para efectos de proporción) las da Copérnico como que el radio del epiciclo es un tercio del segmento CD ($AE=1/3CD$), donde CD es la excentricidad de la deferente. En realidad, como ya se ha mencionado, Copérnico sólo expresa de forma "diferente" a Ptolomeo y esto se demuestra si observamos que la suma $cd+ae$ es en realidad la excentricidad del ecuante de Ptolomeo.

Con Copérnico, los epiciclos ptolemeicos de Mercurio y Venus se vuelven nuevas órbitas respectivamente para cada planeta en torno al Sol pero a pesar de eso el mecanismo sigue siendo tan complejo como el mismo de Ptolomeo. En el caso de Venus, el problema no era tan serio pues su órbita mostraba una excentricidad pequeña y Copérnico lo resuelve al estilo de Apolonio, con una excéntrica móvil dejando que el centro de la órbita de Venus se moviera alrededor del centro medio de la órbita planetaria en un pequeño círculo que tenía el doble de la velocidad angular e igual dirección.

En términos de la Tierra obtiene el siguiente arreglo (Fig.IX.5):



FLIX...5. Arreglo para el movimiento de los planetas interiores

El círculo externo será la órbita de la Tierra; cada vez que ésta pasa por el diámetro ab (ápsides) el centro del círculo (círculo mediano) estará en el punto m. Aquí m coincide, o se halla muy cerca, de la posición promedio del Sol. El radio del círculo menor será de 1/3 de la excentricidad promedio.

Mercurio, por su parte, tiene una gran excentricidad por lo cual había que ajustar el sistema. Para Mercurio, entonces, el centro del círculo menor sería n cuando la Tierra cruzara la línea ab. Mercurio, en vez de moverse sobre la excéntrica (círculo mediano), se movía a lo largo del segmento kl, de atrás hacia adelante con respecto al centro del sistema, pues tal segmento era como una extensión del diámetro que al

moverse siempre apuntaba hacia n. quien en realidad giraba era i, punto medio de kl, sobre la excéntrica.

El libro de Copérnico no era sólo un comentario del Almagesto, como las obras anteriores a él, era completamente original e innovador pero tal vez su principal defecto era el no cuestionar las observaciones de Ptolomeo y en general Copérnico parecía tratar de no alejarse mucho de él.

A pesar de no explicarse muy bien la velocidad variable de los planetas, Copérnico salva con cierto éxito el problema considerando que los cuerpos celestes se movían circularmente, lo que representaba un elemento importante en su percepción de los mecanismos universales.

“Ciertamente, el movimiento uniforme del epiciclo debe darse en relación al centro de su deferente, y la revolución del planeta relativa a una línea a través de éste y el centro del epiciclo. Aquí, sin embargo (en la antigua teoría), permitían que un movimiento circular pudiera darse uniformemente con respecto a un centro diferente al propio... Estas y otras cosas similares nos inducen a considerar la movilidad de la Tierra...”⁶⁵

Copérnico desarrolló una buena forma de deshacerse del ecuante y siguiendo este principio hizo nuevos cálculos de los datos de Ptolomeo para las oposiciones de Saturno, Júpiter y Marte; así como para sus propias observaciones de tres oposiciones que hizo entre 1512 y 1521. La supresión del ecuante representó, en sí misma,

⁶⁵ Copérnico op.cit., Lib.V, Cap.2.

un gran avance y una gran aportación para la simplificación de los modelos.

En realidad, el centro del mundo se toma como el centro de la órbita de la Tierra y no el Sol mismo (S), con lo que parece como si se olvidara lo dicho antes respecto al Sol. La cuestión es que de forma indirecta, Copérnico sigue planteando su sistema con respecto a la Tierra (algo bastante lógico pues aquí habitamos) manteniendo de cierta forma una concepción geocentrista, lo que sucedía entonces era que el centro de la órbita terrestre coincidía con el Sol. En realidad, los resultados de Copérnico son los mismos que los de Ptolomeo pero expresados de forma diferente; por ejemplo, para Saturno halla 0.0854 y 0.0285 en lo referente a excentricidad y epiciclo, Copérnico, por su parte, halla los mismos valores (aunque corregidos); se ponen algunos, en la siguiente tabla para efectos de comparación:

	Ptolomeo		Copérnico	
	ϵ	σ	ϵ	σ
Saturno	0.0854	0.0285	0.0854	0.0285
Júpiter			0.0687	0.0229
Marte	0.1460		0.1500	0.0500

Resumiendo el sistema, aunque el ecuante desaparece se siguen haciendo en él combinaciones de círculos y, en suma, siete círculos para Mercurio, cinco para Venus, tres para la Tierra, cuatro para la Luna y cinco para Marte, Júpiter y Saturno.

Vienen a ser un total de 48 círculos, lo cual no era, precisamente, una gran simplificación al sistema ptolemeico, tomando en cuenta que, ya antes, Peurbach había obtenido un modelo geocéntrico de 40 círculos; la cuestión era que la representación general, conceptualmente hablando, era más simple, y que los fenómenos se explicaban con mayor simplicidad. Aquí arrancaba la reforma del pensamiento y concepción del Mundo.

X. LA NUEVA COSMOLOGÍA

Entre 1543 y 1609, es decir, desde la publicación del *De revolutionibus* hasta la publicación del libro de la *Astronomia nova* de Kepler (en el cual introduce las elipses), se suceden grandes acontecimientos y cambios. Uno de los factores más importantes en la revolución astronómica fue, indiscutiblemente, el uso del telescopio en la observación y la depuración y mejoramiento del sistema copernicano que Kepler hizo. Ahora ya se podía decir que el *De Revolutionibus* había sustituido al *Almagesto* de Ptolomeo, pero ambas obras seguían siendo la base y punto de partida de los nuevos trabajos y teorías.

En 1551, Erasmo Reinhold (1511-1553) preparaba unas nuevas tablas astronómicas a las que tituló *Tabulae Prutenicae* y cuyo objetivo era sustituir a las ya obsoletas *Tablas Alfonsinas*. En realidad tales tablas no eran más que las mismas de Copérnico mejoradas, pues sus valores eran los mismos aunque más precisos.

Aún no era muy claro si el sistema copernicano representaba, para los hombres como Erasmo de Reinhold, la imagen real del Universo, o sólo un artificio geométrico que explicaba la mecánica celeste, pues no debemos olvidar que, para muchos, Copérnico era solamente un gran matemático.

Independientemente de esto, sus ideas repercutieron, en su momento, por toda Europa.

Entre los ingleses de la época, algunas de las grandes mentes se declararon abiertamente seguidores de Copérnico, tal es el caso de matemático y astrólogo John Dee, Thomas Digges, William Gilbert y Robert Recorde, éste último, autor de algunos libros de aritmética y del libro conocido como *El camino hacia el conocimiento*. Los cuatro estaban convencidos de que la Tierra se movía. Thomas Digges, en particular, opinaba que el sistema de Ptolomeo era "la unión de cabezas y miembros de diferentes cuerpos" (frase usada por el mismo Copérnico-) y eso lo hacía erróneo, y era también la razón, por la que Copérnico se había sentido motivado a desarrollar una nueva teoría del Mundo. Según un libro de 1576, Digges afirmaba que el Universo era infinito y que se hallaba poblado en su mayoría por estrellas invisibles para nosotros, ciertamente una teoría muy avanzada para su tiempo. Gilbert, por ejemplo, autor del libro *De Magnete*, que se publicó en 1600, pensaba (como lo dice en su libro) que la Tierra era un gran imán, y que su rotación, o "la revolución magna diaria", como la llama, se debía precisamente, a la energía magnética. Gilbert particularmente apoyaba, como se ve, la idea del movimiento terrestre, pero parecía no decidirse entre el sistema copernicano o el ticomico.

Entre los alemanes, en la universidad de Wittemberg y bajo la tutela de Philipp Melachton (1497-1560), se crea un círculo de intelectuales que estudiaban e interpretaban el

De Revolutionibus en busca de refutar sus tesis con un espíritu racionalista.

De manera algo más flexible, algunos miembros de este "círculo de Wittenberg" creían que debían tener preferencia por ciertos modelos copernicanos, especialmente aquellos en los que se reemplazaba el ecuante por arreglos de epiciclos.

Melachton, en general, buscaba una reforma en la educación, para así impactar la estructura y contenidos del aprendizaje en las universidades protestantes alemanas y realizó, así, prefacios para las obras de Reinhold y Sacrobosco.

De dicha universidad surgieron personajes como Rético y el mismo Erasmo de Reinhold. Melachton impulsó el estudio y enseñanza de la astronomía y las matemáticas. Su visión del copernicanismo (compartida por casi todos los de su grupo) era que éste se trataba sólo de un vano intento por revivir las teorías de Aristarco y, por lo mismo, las rechazaba sin darse cuenta que se trataba de algo totalmente original y con bases más sólidas.

En Alemania, en general, Copérnico, no tuvo muchos seguidores. Entre los pocos que se dieron estaba Urstisius de Basle (1544-1588) a quien podemos catalogar como un ferviente seguidor copernicano que le tenía por un genio, (decía) "un verdadero genio divino quien en nuestro siglo, intentó la restauración de la astronomía no sin éxito"⁶⁶.

Michael Mästlin (1550-1631), maestro de Kepler y copernicano declarado, fue de los

primeros en enseñar el nuevo sistema. Fue él quien publicó el *Mysterium Cosmographicum*, primera obra de Kepler, y una nueva edición de la *Narratio Prima* de Rheticus, donde se exponían las principales hipótesis copernicanas. El convencimiento de Mästlin por esta nueva teoría era tal que sentía que ya todo estaba hecho, que los argumentos de Copérnico eran muy sólidos y no había ya más nada que añadir. Le disgustaba el que las teorías copernicanas hubieran sido condenadas, pues no había nadie que presentara un argumento válido en su contra, de tipo astronómico o de tipo matemático.

En Italia la situación no fue muy diferente, había importantes personajes que apoyaban a Copérnico. Giovanni Battista Benedetti (1530-90) era de los que refutaban a Aristóteles y criticaba los errores en los que caía al hablar del movimiento de los cuerpos. Se puede decir que era un copernicano, apoyaba la teoría y hasta suponía que los demás planetas estaban habitados. Al igual que éste, otro filósofo italiano, Francesco Patrizio (1530-97) apoyaba la idea de la rotación terrestre, pero, tal vez, el más famoso copernicano sea Giordano Bruno. Giordano Bruno (1548-1600) fue prácticamente un apóstol de Copérnico, que siempre alabó su genio al grado de considerarlo "un enviado de los dioses"⁶⁷, y que se dedicó a propagar sus ideas a lo largo de sus viajes.

Bruno consideraba que el Universo era infinito y que se componía de una infinidad de mundos

⁶⁶ Dreyer, op. cit., p.335, tomado de *Questiones novae in theoreticis novae planetarum*, Basle, 1573, p.46

⁶⁷ Giordano Bruno *La cena de las cenizas*, (Introducción, traducción y notas de Miguel Ángel Granada), Madrid (1987), p.67

de los cuales, la Tierra, era uno más de ellos. Sostenía que la forma de la Tierra no era del todo esférica, pues se hallaba aplanada en los polos, que el Sol poseía un movimiento de rotación propio y que las estrellas fijas eran otros Soles como el nuestro. Como se esperaría de alguien que tuviese esas ideas (y otras peores, pues todo lo que generaba la mente de Giordano Bruno, era la antítesis de lo establecido, así pues, cualquier idea que surgiera y estuviese en contra de los dogmas, como el propio copernicanismo, sería apoyada por Bruno) Bruno fue condenado por hereje, específicamente, y, como reza la acusación muy al estilo inquisitorial, "hereje impertinente, pertinaz y obstinado"⁶⁸, por lo mismo, todos sus libros debían ser quemados públicamente en la Plaza de San Pedro, e inscritos en el "Índice de los Libros Prohibidos" conocido como El Index a secas.

Bruno nació en Nola, un pueblo pequeño cercano a Nápoles, fue ordenado sacerdote en 1572 y comenzó su carrera de prófugo de la Inquisición en 1576. En realidad, y sin exagerar, su copernicanismo no era el mayor de sus problemas, su verdadero problema era apoyar las tesis de Arrio, un hombre del siglo cuarto que negaba a la Trinidad.

Para Bruno, el heliocentrismo era la primera etapa de la restauración científica. Poner al Sol en el lugar que le correspondía (al menos conceptualmente) significaba hacer a un lado la errónea y falsa "arquitectura cosmológica del aristotelismo", por lo que para él, Copérnico

representaba un héroe, "un enviado de los dioses" por haber logrado tal tarea "heroica".

Bruno (o "el Nolano", como se llamaba a sí mismo) rebuscaba la teoría copernicana y la mezclaba con su especial misticismo religioso en lo que más tarde llamarían su "Teoría Animista". Esta teoría postulaba que el Universo infinito era un animal dotado de alma. El alma se entendía como el principio y causa vitales de su movimiento con lo que la teoría del Primum mobile resultaba inútil e innecesaria. El movimiento era pues, algo intrínseco y necesario (para la propia renovación), no sólo del Universo, sino de todos los seres animados como él mismo, y para tal efecto, no requerían de efectos externos. En él, además, coexistían infinidad de Tierras que resultaban asimismo, animales igualmente dotados de alma.

En general pues, las teorías cosmológicas brunianas giraban en torno a las Copernicanas, y básicamente eran una interpretación filosófica de ellas. Cabe decir que Bruno muere quemado o, en palabras de C. Solis (en su introducción a los *Discorsi*⁶⁹) y, de una forma un tanto más elegante, "fue sometido a un interesante experimento de combustión" en la Plaza Campo dei Fiori el 17 de febrero de 1600 después de haber sido juzgado (por ocho años) y condenado. Se cuenta que se le colocó una prensa de madera en la lengua para evitar que hablara durante su ejecución, aunque también se dice que se fue no sin maldecir e insultar a sus ejecutores.

⁶⁸ *Ibid.* p.9

⁶⁹ G. Galilei, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid (1981), p.25.

El panorama de la segunda mitad del siglo XVI fue muy poco favorable para la ciencia por los tantos problemas sociales y políticos en Europa; problemas como aquellos entre católicos y protestantes, por lo que ésta permaneció inmutable casi en todos sus aspectos; el geocentrismo seguía dominando y al copernicanismo sólo se le prestaba atención para burlarse de él o para despreciarlo; por ejemplo, Lutero decía:

"El tanto [Copérnico] altera toda la ciencia astronómica, pero, como las Santas Escrituras nos muestran, fue a la Tierra, y no al Sol, a la que Jehová ordenó estar quieta"⁷⁰.

De entre todos los clérigos, sólo uno parecía apoyar a Copérnico; lo sorprendente es que se trataba de un monje agustino español de Toledo. Recordemos que la Inquisición española fue una de las más -sino la más- duras y agresivas. Este monje era Didacus a Stunica (de Stúfiga) un doctor de la universidad de Toledo, quien publicó un comentario al libro de Job en Salamanca en 1584. Sus argumentos eran que las doctrinas copernicanas explicaban mejor los fenómenos de precesión y el porqué el Sol se hallaba cuarenta mil estadios más cerca de lo que antes se pensaba; afirmaba también, audazmente, que los pasajes bíblicos referentes al movimiento solar eran en realidad pasajes sobre el movimiento terrestre. Claro que su libro ganaría un lugar en el "Index" no sin algo de ayuda, por la necesidad de Galileo, como veremos más adelante.

Una de las personas del siglo XVI que más se dedicó al estudio de la naturaleza fue el danés Tyge (Tycho en latín) Brahe (1546-1601) quien de niño fue secuestrado literalmente por un tío suyo que no tenía hijos, en busca de un heredero a quien dejarle sus cuantiosas propiedades. Tycho nació noble, tres años después de la publicación del *De Revolutionibus* y fue siempre un noble. Se dice que aunque en su juventud estudiaba jurisprudencia, por lo cual fue enviado a Leipzig, su verdadero interés estaba en la astronomía y en la astrología que estudiaba secretamente en sus ratos libres. Una de sus pasiones eran los horóscopos, con los que más tarde ganaría gran prestigio, al grado de que algunos grandes pensadores de la época buscaban su consejo astroológico. En realidad Tycho tuvo mucha suerte con esto de la astrología pues sus ambiguas predicciones eran, en muchos casos, relativamente acertadas y le ganaron favores, seguidores y admiradores.

Su postura básica era que las estrellas y sus movimientos estaban regidos por leyes eternas y divinas, por lo cual infería que ellas dominaban a la Tierra en todo sus aspectos. "Científicamente", Tycho pensaba que si se podían desentrañar tales mecanismos celestes, seguramente el hombre podría tener control absoluto sobre su destino.

El 11 de noviembre de 1572 apareció una nueva estrella en la constelación de Casiopea que Tycho descubrió cuando regresaba de su laboratorio. Esto era todo un suceso, pues, según Aristóteles, los cielos eran inmutables, por lo tanto, todo aquello que pareciera "cambiante" pertenecía seguramente a la región sub lunar,

⁷⁰ Dreyer, op. cit., p.335.

pero al medir repetidamente el "imperceptible" paralaje de tal "estrella" no se observaba cambio en su posición con respecto a sus compañeras.

A la estrella, que era tan brillante como Venus y aun visible durante el día, se le consideró, por un lado, un mal presagio, pero otros la etiquetaron como la nueva estrella de Belén que anunciaba la segunda venida de Cristo. El hecho innegable era que no pertenecía a la región sublunar y se concluía, en contra de todas las posturas, que los cielos no eran, en absoluto, inmutables. Con el paso del tiempo, la nova perdió brillo, se hizo amarilla, luego roja y finalmente perdió color hasta desaparecer en 1574.

La cuestión era que este simple hecho había sacudido a las doctrinas filosóficas, generando una avalancha de escritos constituidos en un gran porcentaje de especulaciones ridículas. Tycho mismo afirmaba, en una de sus escritos, que tal estrella era el resultado de la condensación de la fina materia de la Vía Láctea que al desaparecer había dejado un hueco en ella. El libro lo tituló *De Nova Stella* y apareció en 1573.

Entre las obras que se publicaron al respecto estaba la de Thomas Digges *Alæ sen scalæ mathematicæ*⁷¹; uno de los objetivos de Digges con esta obra era el de apoyar y demostrar el sistema de Copérnico, midiendo el posible paralaje anual de la "nueva estrella", algo que por cierto nunca logró. La postura de Digges respecto al Mundo era que tenía una extensión infinita y que estaba constituido en su mayor

parte por estrellas invisibles. Digges fue de los pocos fervientes creyentes en el movimiento de la Tierra.

El libro de Tycho, *De Nova Stella*, consolidó su reputación. En 1577 apareció un cometa en el que no se observaba paralaje y que constituiría otra evidencia en contra de la idea de los cielos inmutables. Hasta entonces, para Tycho, como para muchos otros personajes de la época, los cometas eran vapores luminosos de la atmósfera y por definición aristotélica pertenecían a la región sublunar, pero las evidencias le hicieron concluir que éste se hallaba más allá de la Luna, para su pesar, o su fortuna, en aquella región inmutable. Su conclusión fue que se hallaba a tres distancias lunares de la Tierra, moviéndose circularmente en torno al Sol, fuera de la órbita de Venus y con un movimiento retrógrado. Como sus datos no se ajustaban muy bien a tales conclusiones, en una segunda conclusión, nos dice que tal órbita "no es perfectamente circular sino más bien oblongada como la figura comúnmente llamada óvalo"⁷². Esta es, de hecho, la primera vez que un astrónomo supone una órbita diferente a un círculo perfecto sin suponer que es en realidad producto de una combinación de círculos perfectos.

Tycho fundó el observatorio llamado Uraniborg en la pequeña isla de Hveen cerca de Copenhague, que le fue ofrecida por el rey danés Frederick II, quien, por cierto, tenía gran interés en la ciencia y en los trabajos de Tycho.

Ya instalado en su observatorio, Tycho se rodeó de asistentes y discípulos, y generó un

⁷¹ *Ibid.* p.347.

⁷² *Ibid.* p.366.

gran auge por la observación astronómica y una auténtica revolución en la misma. En Uraniborg se diseñaban todos los instrumentos de observación que se usaban, desde los más grandes hasta los más pequeños y de fácil manejo. Tenían, por ejemplo, muy buenos cuadrantes, estos eran unos artefactos que se usaban para medir altitudes. Hubo uno de éstos, en particular, de casi tres metros, que se hizo famoso por un retrato que se hizo de Tycho sentado en él dirigiendo y haciendo anotaciones.

Otros de los instrumentos que diseñaban y usaban eran los sextantes y las armillas. Los primeros se requerían para medir la distancia entre dos estrellas y las segundas para obtener las coordenadas ecuatoriales. Cada instrumento se diseñaba para lograr la máxima precisión posible. En su libro *Astronomiæ instauratæ mechanica* o *La mecánica de la restaurada astronomía* (publicado en 1598) Tycho describe, con gran detalle, todos los instrumentos usados en su observatorio. Los resultados de sus observaciones referentes al Sol, la Luna, las estrellas fijas, la nova de 1572 y los cometas, se hallan en otro de sus libros titulado *Astronomiæ instauratæ progymnasmata* o *Preliminares para la restaurada astronomía* publicado en partes a partir de 1588 y publicado completo hasta 1602, después de la muerte de Tycho.

Uno de los intereses más fuertes de Tycho era poder determinar las coordenadas de las estrellas fijas, con la mayor precisión que se pudiera por las continua necesidad que tenía de ellas para determinar las posiciones sucesivas de la Luna y los planetas los cuales se hacían respecto a ellas. Las declinaciones las obtenía directamente

midiendo la altitud en el meridiano con respecto al gran cuadrante. Las ascensiones positivas debían leerse directamente en la armilla o computadas con fórmulas trigonométricas, a partir de las distancias medidas con un sextante.

El catálogo de estrellas de Tycho fue el primer catálogo completo moderno y reemplazó al de Hiparco y Ptolomeo, superándolo notablemente en precisión. Era el resultado de un trabajo duro, cuidadoso y muy perseverante, convirtiéndose así, más tarde, en la principal fuente de consulta por mucho tiempo. Marcaba en sí el comienzo de una nueva etapa en la astronomía práctica y en la visión del Universo; aunque en muchos aspectos Tycho se apegaba, en su catálogo, a las viejas costumbres.

En 1603, en Baviera, se publicó un atlas celestial con todas las estrellas estudiadas por Tycho; tal atlas se denominó *Uranometria*. La observación de los cometas fue también de gran importancia en Uraniborg; cuando aparecía uno se determinaba su posición tan frecuentemente como fuera posible, generalmente midiendo la distancia con respecto a las estrellas fijas más prominentes.

Al morir el rey Frederick II, que había fungido como protector de Tycho Brahe, éste se vió en problemas, pues el gobierno quedó a cargo del joven príncipe Christian IV que, no sólo no tenía el mismo interés en la ciencia que su padre, sino que además no estaba dispuesto a seguir financiando el trabajo de Tycho. Esto se debía, en parte, a la arrogancia y extravagancia de Tycho, que le resultaban insoportables y, también, por que él siempre gastaba lo más que se pudiera en sus investigaciones. Esta situación

lo obligó a abandonar Dinamarca en 1597 en busca de un nuevo apoyo que halló, después de algún tiempo, con el emperador Rudolph II, que ciertamente no estaba en muy buenas condiciones económicas. Finalmente, tras su búsqueda, Tycho se estableció en Praga en 1599 con gran parte de sus instrumentos y archivos, dos años antes de su muerte, que sucedería en octubre de 1601. En sus últimos años de vida Tycho se dedicó enteramente al análisis de sus propios datos reunidos a lo largo de toda su vida como astrónomo y a su muerte dejaría involuntariamente todo su trabajo (datos y tablas) en manos del que fue su asistente en estos años, Johannes Kepler. Kepler, prácticamente "hurtó" estas tablas con la idea de que sólo él valoraría el peso de tal obra y sabría, entonces, darle un buen uso. Es bien sabido que esto fue clave para Kepler, que sin tales antecedentes no habría nunca llegado a postular sus tres famosas leyes. Cabe decir que, en sus treinta años de investigación y observación, aunque tuvo siempre una postura astrológica, Tycho Brahe realizó todo lo realizable en su posición, su trabajo fue magnífico, brillante y sin rival alguno, pues su motivación principal era la ciencia en sí misma.

En la obra ticomónica hay una interesante mezcla de geocentrismo y heliocentrismo, aunque su visión de la mecánica celeste sea totalmente equivalente a la copernicana, excepto en lo referente a las estrellas fijas. En el octavo capítulo del libro sobre el cometa de 1577 Tycho introduce su propia visión de la mecánica de los cielos que él dice haber obtenido por "inspiración divina" cuatro años antes de escribir

su libro, pero da un planteamiento más amplio en su libro *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus* que apareció en 1603 distribuido sólo entre algunos amigos de Tycho; de este libro sólo se conserva la portadilla y el colofón.

Tycho rechaza la idea copernicana de la Tierra girando alrededor del Sol; el sólo hecho de que la Tierra, un objeto tan grande y pesado, se moviese, le era ridículo, además de que no coincidía con las tesis bíblicas. Pero bueno, parecía pensar que si se tomase tal idea como válida, se esperarían cambios muy bruscos en las posiciones de las estrellas, y la ausencia de paralaje en éstas implicaría que se hallarían a una distancia impensable. Opta entonces por generar un modelo geocéntrico que se ajustara a sus datos.

El modelo resultante, aunque más bien un híbrido cosmológico, fue muy bien aceptado y hasta promovido, particularmente, por los jesuitas en contra del copernicanismo. El modelo tenía dos ventajas principales, primero, no se contraponía a las tesis bíblicas ni a la sentencia inquisitorial emitida en 1616⁷³ y, segundo, tenía las ventajas del modelo heliocéntrico. En él, encontramos que la Tierra sigue siendo el centro del Universo y todo sigue girando en torno a ella, pero con ligeros cambios. La Luna gira muy cerca de la Tierra, y el Sol bastante más lejos. En este caso todos los planetas giran en torno al Sol y, junto con él, en torno a la Tierra. Esto nos recuerda en cierta medida el modelo conocido

⁷³ El 24 de febrero, en la que se declaraba a la teoría copernicana absurda y formalmente herética y de la cual hablaremos en el siguiente capítulo.

como *El Egipcio*. Su sistema tuvo gran promoción cuando se dió la discusión del cometa de 1577 y resultó, mucho más adelante, una muy buena opción para los geocentristas que se dieron cuenta que el fenómeno de las fases de Venus (descubierto por Galileo) y el sistema ptolomeico eran incompatibles.

No es extraño que Tycho haya optado por tal disposición siendo que su meta era lograr un modelo cosmológico que se ajustara a sus datos;

de hecho, cuando Kepler llegó a trabajar con él, lo puso a buscar un modelo tal, particularmente para el caso de Marte, y el modelo logrado por Tycho se ajustaba bien a los datos y fenómenos conocidos (excepto por "ciertos detalles") en la época. Tycho no lo sabía (ni lo sabía), pero este joven que venía de la nada, lo sustituiría a su muerte en la corte del emperador Rudolph II y sería pieza clave, como él mismo, de la gran revolución científica

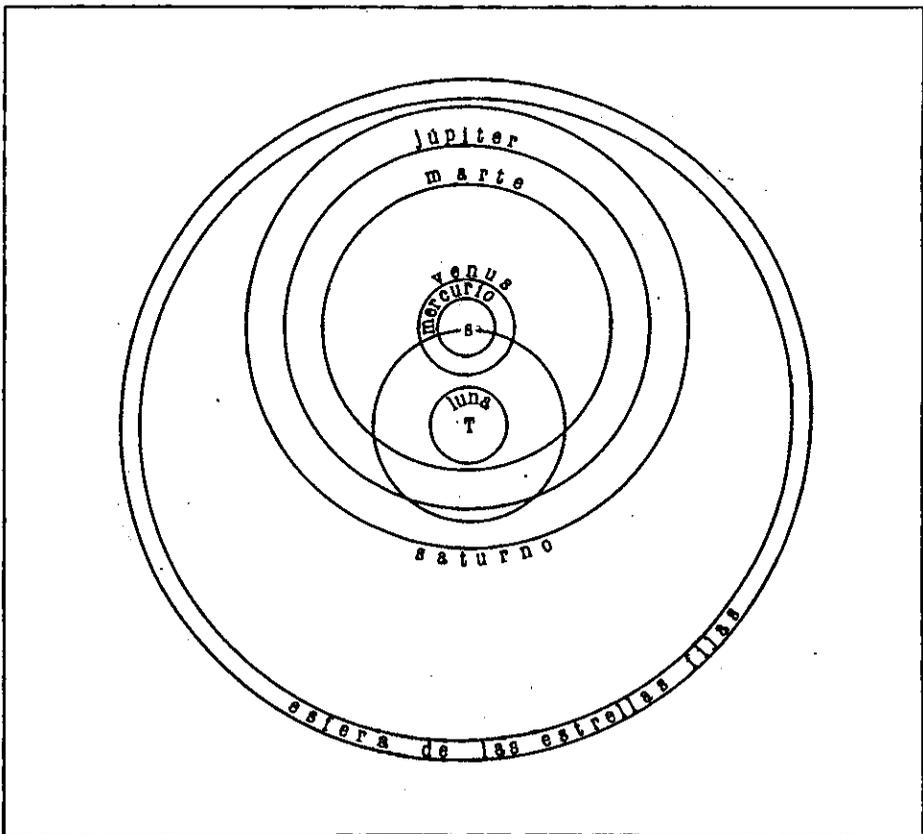


Fig.X.1 Sistema planetario tícónico

XI. LA TRANSICIÓN EPISTEMOLÓGICA

Según palabras del mismo Kepler, su vida fue trágica, su infancia se sucedió dentro de una familia muy pobre y él, como niño, era muy frágil y enfermizo y siempre, desde entonces, se sentiría rechazado por sus compañeros. Ésta es la imagen que de sí mismo tenía el hombre que cambiaría definitivamente la visión cosmológica del Mundo. Kepler se hallaba en la interfase de lo viejo y de lo que sería nuevo, dando pie a una nueva revolución en el pensamiento cosmológico.

Kepler nació al sur de Alemania en 1571, en Würtemberg, y gracias a que provenía de una familia de protestantes pudo estudiar desde niño y llegar a la universidad de Tübingen donde conoció a Michael Mástlin quien lo contagió con su copernicanismo. Sería a partir de entonces que Kepler se convencería de que el sistema copernicano no era otro que la imagen real del Universo.

Kepler comenzó su carrera como matemático en Graz en 1594, en adelante dedicaría su vida enteramente a la ciencia. Sólo dos años después, a los 25 años, publicaría la primera de sus grandes obras *Prodromus dissertationum cosmographicarum continens mysterium cosmographicum* donde nos plantea explícitamente la mecánica y forma de los cielos, además de publicar sus primeros "grandes descubrimientos", comparar los sistemas de

Ptolomeo y Copérnico y explicar el porqué prefería el del segundo.

Kepler, aquí, hace notar la conveniencia de suponer que la Tierra se mueve para efectos de explicación y simplificación en el problema cosmográfico. El objetivo de Kepler fue siempre lograr una teoría que englobara a todos los miembros de la familia solar tomando como base la distribución natural de cada uno de ellos, y en el *Misterio cosmográfico* hace su primer intento en este sentido tratando de conectar las distancias planetarias entre sí. La convicción que lo impulsaba era que existía una razón concreta que explicaría el porqué de tal disposición y de tales valores observados, pero siempre creyó que esta razón era en principio divina.

Para su objetivo ensayó varios caminos. En el primero, parece ser que introdujo planetas adicionales entre las órbitas planetarias de Marte y Júpiter, y Mercurio y Venus en busca de cierta relación, tal vez, trigonométrica.

En cierta conferencia que daba, sobre los ciclos planetarios, se le ocurrió aplicar un método geométrico a este mismo problema y le vino a la mente una teoría a la que llamó *Inter Sólidos orbis*. La teoría nos decía que las esferas de los seis planetas se circunscribían e inscribían intercalada y sucesivamente con los cinco sólidos perfectos de Platón¹⁴, con un orden preestablecido. Entre Saturno y Júpiter se hallaba el cubo, entre Júpiter y Marte el tetraedro, entre Marte y la Tierra estaba el dodecaedro, el icosaedro entre ésta última y

¹⁴ Originalmente Kepler concibió el modelo con figuras planas y luego, debido a que no ajustaban del todo bien, se le ocurrió usar los sólidos.

Venus; y, finalmente, entre Venus y Mercurio el octaedro. Específicamente, la esfera de Saturno se circunscribía en el cubo, en el que a su vez se inscribía la esfera de Júpiter; ésta misma circunscribía a un tetraedro que inscribía a la esfera de Marte, y así sucesivamente. La excentricidad de la órbitas planetarias, implicaba implícitamente que las esferas debían poseer un cierto espesor que diese suficiente espacio a los mismos planetas para moverse libremente. Según como se observaban las distancias planetarias, existían ciertos problemas a esta nueva teoría, pues las esferas sucesivas no se tocaban entre sí, como en los otros modelos de esferas, por lo cual, según Kepler, debía compensarse, tal problema, con los propios sólidos. Entonces Kepler se enfocó en el cálculo de los grosores de las esferas obteniendo los radios internos de las mismas para que todo el arreglo coincidiese. Aunque finalmente obtuvo un modelo que, al menos, en principio le satisfacía, le intrigaba el porqué, precisamente, los cinco sólidos habían sido dispuestos de tal forma. En su explicación, suponía que éstos, se dividían en dos tipos, primarios y secundarios. Los primarios eran los tres primeros, el cubo, el tetraedro y el dodecaedro, los secundarios eran entonces, los dos restantes, el icosaedro y el octaedro. La Tierra, como hogar del hombre y creación a imagen y semejanza de Dios, era la interfase de ambos tipos; el cubo, por su parte, se situaba en una posición, también privilegiada, conteniendo a los otros cuatro, supuestamente por ser la más conveniente debido a ser la única cuya base la generaba.

Kepler tenía una mente muy dispersa, obsesiva y absolutamente mística que continuamente se contradecía, pero, su obra en muchos aspectos es genial. En su libro *El sueño (Somnium)*, título original en latín, publicado (postumamente) en 1634, se aprecia la clara imagen que tenía del Universo (pese a la época). *El sueño*⁷³ es un corto relato, un tanto autobiográfico y fantástico, de un joven llamado Duracotus, hijo de un vejeterio de 150 años que murió cuando él tenía tres, y una bruja impetuosa que en un arranque de furia lo vende a un marino que lo llevaría por mar a Dinamarca y luego a la isla de Hveen, donde conocería al obispo Brahe. El punto es que a su regreso a su país, a los catorce, Duracotus, gracias a un conjuro, viaja a la Luna (en el libro el planeta Levanía). Kepler describe así, los pormenores de su trayecto desde un punto de vista físico (prácticamente la atracción de la Tierra, la "ingravidez", etc) y ya, sobre la superficie de Levanía desarrolla toda una astronomía particular a ese "planeta".

Cuando Tycho Brahe, a los 53 años (a dos años de su muerte) incluyó a Kepler en su equipo de trabajo, él contaba con 29. Arthur Koestler nos dice:

"Por último, entonces, el cuatro de febrero del año 1600, Tycho Brahe y Johannes Keplerus, cofundadores de un nuevo Universo, se encontraron cara a cara: nariz en alto con cabeza gacha. Tycho tenía 53 años, Kepler 29. Tycho era un aristócrata, Kepler un plebeyo; Tycho era un creco, Kepler un ratón de iglesia; Tycho un gran danés, Kepler un caso familiar. Eran opuestos en todo aspecto salvo uno: la disposición cólerica e irritable que compartían. El resultado fue de constante

⁷³ Kepler, *El Sueño*,

fricción, acaloradas disputas seguidas por tibias reconciliaciones".⁷⁶

Kepler se mostró como el más hábil de los "computadores" de datos y, por ello mismo, se le encargó el cómputo de la órbita marciana "en torno al Sol". Recordemos del capítulo anterior que, en el sistema ticomónico, aunque no era éste un sistema "totalmente" heliocéntrico, los planetas (excepto la Tierra), giraban en torno al Sol. Kepler mismo, apostó a uno de los matemáticos de Tycho (Longomontano) que resolvería la teoría marciana en una semana. Ciertamente no fue así, pues demoró finalmente casi cinco años. El objetivo del problema era encontrar la órbita real y "verdadera" de Marte.

Ahora, desde nuestra óptica moderna, el trabajo de ambos, es decir, de Kepler con Tycho, no fue tan satisfactorio como pudiera esperarse de dos genios, quizá debido a sus puntos de vista cosmográficos, Kepler era abiertamente copernicano y Tycho insistía en ser geocentrista.

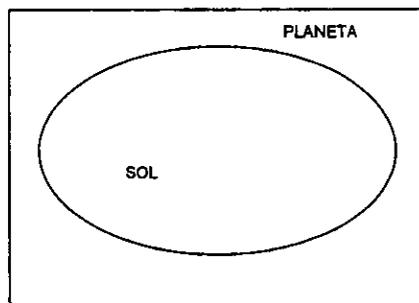
A la muerte de Tycho, Kepler fue nombrado matemático imperial de Rudolph II. Kepler se hace de las tablas de Tycho (Tablas Rudolfinas), pero contra la voluntad de la familia de Tycho que estaba en la misma pelea. A pesar de que Kepler no creía en las teorías de Tycho confiaba ciegamente en sus datos, porque sabía con qué cuidado habían sido tomados.

Después de su *Mysterium cosmographicum*, Kepler publicó otras dos obras, también de gran importancia, *Astronomia nova* en 1609 y *Harmonice mundi* en 1619. En la primera se

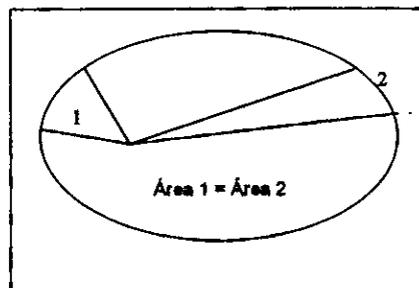
hallaban "escondidas" dos de sus tres grandes leyes de movimiento planetario. El *Harmonice mundi* nació a partir de la guerra que, prácticamente, Kepler libró con Marte y en ella se hallaba su Tercera Ley.

Sus tres leyes, a las que por lo visto consideraba de poca importancia, se ajustaban bastante bien al modelo copernicano y demostraban la inutilidad de los demás sistemas y, además, daban la pauta definitiva para una nueva y más real visión del Mundo.

Las tres leyes de Kepler que a primera vista "parecen tan inocentes como la Fórmula $E=mc^2$ de Einstein"⁷⁷, nos dicen:



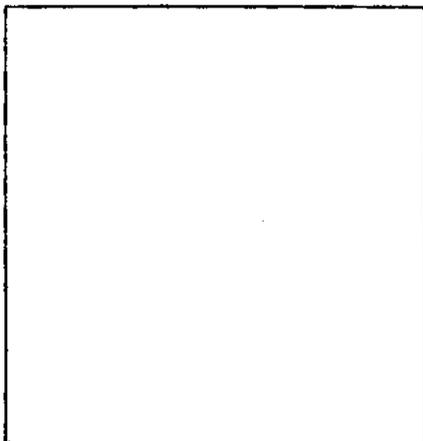
1ª ley: Cada planeta se desplaza en una órbita que es una elipse, con el Sol en uno de sus focos.



⁷⁶ A. Koestler *Los Sonámbulos*, (Conacyt, México 1981), p.297.

⁷⁷ *Ibid.* p. 307.

2a ley: Una línea trazada del Sol a un planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales.



3a ley: Los periodos de los planetas aumentan uniformemente con la creciente distancia desde el Sol, siendo el cuadrado del periodo proporcional al cubo de la distancia media del planeta al Sol.

Kepler dice haber llegado a sus primeras dos leyes a partir del trabajo realizado con el problema de Marte. En busca de la solución a éste, Kepler predijo las posiciones marcianas, calculó las distancias entre Marte y el Sol heterodoxamente por triangulación, pues la costumbre era apoyarse en los cambios aparentes en el brillo. También halló que el plano de la órbita de Marte mantenía un ángulo constante con la eclíptica y con ello derivó las latitudes del planeta. Para explicar mejor el movimiento de Marte a lo largo de su órbita, Kepler añadió una nueva constante excéntrica, pero como, aunque pequeño, seguía habiendo cierto error, se le ocurrió desechar al círculo como imagen de la

órbita planetaria. Ya liberado del "prejuicio del círculo", al menos para efectos cuantitativos, buscó una figura que se ajustara y llegó así a considerar a la elipse. La elipse (en su primera ley) representaba no sólo un reto a lo establecido, sino a la propia imaginación. Era irreverente terminar de despojar al Mundo de "su perfección restante", no sólo no éramos el centro del Universo, sino que para acabar con el cuadro ni siquiera nos movíamos "correctamente", ni nosotros, ni los demás cuerpos celestes, "nada ahora era privilegiado, el Mundo había perdido su maquillaje"⁷⁸. Kepler se mostraba particularmente perturbado por estos resultados, su búsqueda lo había llevado hacia el óvalo: "sólo una carretada de estiércol"⁷⁹, en sus propias palabras.

Es importante hacer notar que Kepler tenía cierta idea de la influencia que el Sol ejercía sobre los planetas, no al estilo de Newton, pero sí de forma similar. La idea de Kepler (inspirado en los trabajos de William Gilbert), en este sentido, era que el Sol era algo así como un imán giratorio que "mantenía" a los planetas de igual forma que los imanes comunes a las "agujas flotantes". Al menos sabemos que ya para 1596 manejaba esta idea, en cierta forma su *Inter solidos orbis* es un intento de acercarse al problema, pero es la Tercera Ley con la que aterriza para enfilarse por el camino correcto. La Tercera Ley precisamente nos refiere una regularidad de la que, si no se tenía conocimiento o al menos certeza, se sospechaba de ella. La importancia, en general, de las leyes,

⁷⁸ Pannekoek, op.cit., p.

⁷⁹ Koestler, op. cit., p. 323.

estaba en el hecho de que eran aplicables a todos y cada uno de los planetas y, de hecho, a todo el Mundo. Kepler se dedicaría a refinar el sistema de Copérnico y, en gran parte, a "limpiar" los restos de "ptolomeísmo de él.

El personaje complementario de Kepler en esta transición a la ciencia moderna y al nuevo pensamiento cosmológico fue Galileo. Galileo Galilei nació en el mismo año en que muere Miguel Ángel, mismo año, también, del nacimiento de William Shakespeare, 1564. Su trabajo sería principalmente la erradicación del aristotelismo del pensamiento científico, lo cual logró, indiscutiblemente, con sus descubrimientos y la introducción de la experimentación como herramienta fundamental en la física.

Galileo nació en Pisa y fue educado por jesuitas. Originalmente estudiaba medicina, pero al "descubrir" las matemáticas y las obras de Arquímedes, abandonó los estudios y, para 1589, se había convertido en profesor de física de la Universidad de Pisa, donde supuestamente realizó su famoso experimento de la caída de los cuerpos, con lo que demostraría que su velocidad es independiente de su peso; la leyenda cuenta que dejó caer desde lo alto de la torre inclinada dos bolas de metal de diferentes pesos. Pero lo que realmente hizo fue algo equivalente haciendo que las bolas se deslizaran hacia abajo en un desnivel, lo cual resultaba más conveniente, debido a que se podían apreciar mejor los efectos deseados. Bien sabemos que la tradición aristotélica tenía por principio el que todas las leyes del Universo en general, se podían obtener a través de un razonamiento

puro, sin tener que realizar ninguna observación, así pues, parece que, para el tiempo de Galileo, a nadie se le había ocurrido revisar si dos cuerpos de diferentes pesos, caerían o no, a diferentes velocidades. Este experimento sólo sería una muestra del trabajo que realizaría Galileo toda su vida: destruir la filosofía y física de Aristóteles como dogma esencial en las ciencias, lo que significaba hacer a un lado una gran cantidad de prejuicios.

Galileo sería profesor de Pisa por tres años hasta que aceptó otra plaza en la universidad de Padua, donde ejercería por 18 años. El clima intelectual y de libertad veneciano le fue muy favorable. Fue en 1602 cuando tuvo noticias del telescopio holandés construido por un fabricante de lentes llamado Zacharias Jansen, quien los vendía en las ferias como juguete. Pero el hecho es que no había sido él el inventor, sino otro fabricante de lentes, no holandés, sino italiano. En fin, Galileo se dio a la tarea de construir uno propio con un poder de treinta aumentos y se le ocurrió la brillante idea de usarlo como herramienta de observación astronómica, con lo cual daba un giro completo al concepto mismo de observar. Tal vez su personal visión y uso del telescopio sea una de las más grandes contribuciones de Galileo, de hecho, elevó al telescopio de su escala de "juguete" a la de importante herramienta de observación astronómica. Gracias a él, y a pesar de su pobre resolución, descubrió detalles insospechados del Universo que terminaron por debilitar las tesis ptolomeico-aristotélicas. Basta mencionar su descubrimiento de la "geografía" lunar (Nos habla, por ejemplo, de las montañas de la Luna y

demuestra que ésta y la Tierra no son básicamente diferentes), en 1610, que ponía a la misma Luna a la altura de la Tierra, y por ende, a ésta, a la altura de los demás planetas; o el descubrimiento de aquellos cuatro planetas que orbitaban Júpiter, los cuales, convenientemente para su incierta posición, bautizó como las *Estrellas Mediceas*, ahora conocidos como Europa, Ganimedes, Calisto e Io, o, genéricamente, como los satélites galileanos⁸⁰.

Otro importante descubrimiento fue el de las fases de Venus, que de acuerdo a las ideas de Ptolomeo sería imposible, primero porque tal hecho implicaría que Venus rota en torno al Sol, y segundo, porque se decía que los planetas emitían su propia luz, las fases, por tanto, no podían darse en ellos por no ser cuerpos opacos.

Es sorprendente el trabajo que Galileo realizó con su telescopio, tomando en cuenta lo primitivo que era y que sus lentes no eran del todo buenas. Kepler mismo admite que a él nunca se le ocurrió construir un telescopio y usarlo para tales efectos, pues suponía, como muchos, que la atmósfera sería un problema para la observación. Otros consideraban al telescopio un instrumento poco o nada confiable, argumentando que deformaba la realidad. Respecto a ésto Galileo nos dice:

“Sé que tan difícil es deshacerse de las opiniones sostenidas por muchos siglos, y seguramente, si no hubiera visto tan lejos...”⁸¹.

⁸⁰ En el *Siderius Nuncius* o *Mensajero sideral* (1610), nos refiere estos primeros descubrimientos.

⁸¹ Pannekoek, op. cit., p.230

Kepler tenía plena confianza en las observaciones y descubrimientos de Galileo; cuando tuvo conocimiento de la “geografía lunar” se le ocurrió que la Luna estaba habitada⁸². La postura de los aristotélicos, en este sentido, era que ésta tenía una superficie cristalina que no era del todo uniforme, siendo densa en ciertas partes y no tanto en otras; esto daba ese efecto de irregularidad a su superficie.

La “comunicación” que tuvieron Galileo y Kepler fue estrictamente epistolar, pero ambos estaban de acuerdo (y lo comentan entre sí) en que debían restaurar la astronomía y la visión del Mundo en general; esto, claro, les llevó a compartir enemigos. Galileo en cierta carta dice:

“Mi querido Kepler, ¿qué diriais de los sabios de aquí, que repletos de pertinacia del áspide, se han negado rotundamente a echar una mirada por el telescopio? ¿Qué hacemos con ellos? ¿debemos reír o llorar?”⁸³.

Galileo impuso una forma de investigación a partir de la observación y supo aplicar brillantemente las matemáticas a su conveniencia. Imponía, ante todo, el uso de la lógica y el razonamiento; en *Il saggiatore* nos dice:

“...yo digo que no quiero ser de los que desconocedores e ingratos hacia la Naturaleza y hacia Dios, que me ha dado sentido y razón, quieran poner tan grandes dones a la falacia de

⁸² Esto se aprecia claramente en su “cuento” *Somnium*, del que ya hablamos. Kepler estaba seguro de que, también, existía vida en Júpiter. Su argumento “fuerte”, para apoyar esta idea, era la existencia de las cuatro lunas que se observaban y que desde el mismo Júpiter debían ofrecer un espectáculo tan magnífico para el cual Dios, necesariamente, debía haber creado espectadores.

⁸³ De Santillana, *The crime of Galileo*, p.9

un hombre y creer ciega y cobardemente aquello que oigo decir, y hacer...."⁸⁴.

Los jesuitas mismos, defensores de Aristóteles, terminaron (al fin) convenciéndose de que sí existían en realidad "los planetas jovianos" y de algunos otros descubrimientos de Galileo, pero sólomente hasta que mejoraron sus propios telescopios y observaron por sí mismos, aunque invariablemente, seguían afirmando que ni las montañas en la Luna, ni las fases de Venus, ni los satélites de Júpiter eran prueba de que la Tierra se moviera, y desde su óptica tenían razón o, al menos, podemos decir que tales "hechos" no eran una prueba contundente.

Así pues, el uso del telescopio se generalizó, se corroboraron las observaciones de Galileo y se dieron más descubrimientos para pesar de Galileo, quien se consideraba la única persona con derecho a descubrir a través del telescopio. La discusión, entonces, se redujo a la propia interpretación de las observaciones, lo que definiría finalmente si la Tierra se movía o no. Para Galileo, y para Kepler, el movimiento de la Tierra alrededor del Sol era un hecho por muchas de las razones ya expuestas, aunque, extraña y erróneamente, para Galileo, la prueba definitiva eran las mareas, que según él se producían por el irregular movimiento de la Tierra en el espacio. Esta afirmación (o teoría) quizá sea uno de los más grandes errores en el discurso de Galileo, pero no opaca sus demás teorías.

⁸⁴ G. Galilei, *El ensayador*, Aguilar, Argentina, ediciones, Buenos Aires (1981), p.281.

En 1611, Galileo va a Roma con el objetivo de ganarse a los influyentes padres del Colegio Romano, es muy bien recibido y se le permite exponer sus nuevos descubrimientos, entre ellos el de las manchas solares.

En 1614 se publicaría un libro llamado *Mundus Jovialis* o *El mundo de Júpiter* escrito por Simon Marius, donde se confirmaría el descubrimiento de la lunas de Júpiter, y se reafirma la importancia de tal descubrimiento. Marius menciona que en 1609, cuando obtuvo un telescopio holandés, se dedicó a la observación, descubriendo, antes que nadie, y antes que el propio Galileo, los satélites de Júpiter. Aunque tal afirmación no era susceptible de ser probada, lo cierto es que obtuvo valores más precisos para las revoluciones de éstos.

Galileo se declara a sí mismo copernicano en una carta enviada a Kepler⁸⁵ en 1613 donde refiere el descubrimiento de las manchas solares; uno de los argumentos a favor del copernicanismo era el hecho de que las estrellas fijas, aún a pesar del telescopio, se seguían viendo como puntos brillantes. Galileo, observando el movimiento de tales manchas, deduce que el Sol tiene una rotación propia, aunque en el lado opuesto, y representando a los escolásticos, el padre Scheiner declara, en una publicación anónima⁸⁶, que sólo se trataba de objetos oscuros circundando al Sol.

El *Siderius Nuncius*, el libro donde expone sus primeros descubrimientos con el telescopio,

⁸⁵ Galileo y Kepler nunca se conocieron personalmente, pero Kepler tenía una profunda admiración y respeto por Galileo y su obra, algo que ciertamente no era correspondido.

⁸⁶ Titulada *Historia y demostraciones referentes a las Manchas Solares*, que sólo se distribuyó entre amigos.

fue muy bien aceptado y le dio a Galileo una posición privilegiada en Florencia, que supo aprovechar bien, aunque, por otro lado, puso al *De Revolutionibus* en el centro de la atención. Su fama y prestigio, a la larga, se le revirtieron, pues así como se le reconocían y elogiaban muchos de sus descubrimientos, igualmente se le repudiaba su postura heliocentrista.

La lucha que librara Galileo se llevó a los terrenos teológicos, y él, con gran confianza en sí mismo y subestimando a sus opositores, intentó encontrar, sin éxito, apoyo (en la Biblia) a las tesis copernicanas, sin saber que secretamente se le denunciaba ante el Santo Oficio que, para entonces, ya lo tenía en la mira. En 1615, Galileo debe ir a Roma otra vez para aclarar su situación y hacerles ver que, él, no era más que un católico devoto que no buscaba poner en conflicto las verdades naturales y aquellas reveladas, pues, ambas, resultaban ser la misma cosa.

La causa de este llamado fue la denuncia que un fraile dominico interpuso contra Galileo ante el Santo Oficio apoyado en su orden. Absurdamente, uno de estos dominicos llegó al punto de exigir el encarcelamiento de Copérnico (quien, por cierto, había muerto hacía 72 años). El Santo Oficio falló en contra de Copérnico y no en contra de Galileo. Se decretó así, que la afirmación de que el Sol está en centro del Mundo es tonta, filosóficamente absurda y formalmente herética, además de ser un error de fe. Con esto, Galileo, aunque a salvo, quedaría aparentemente desarmado e imposibilitado para transmitir o enseñar sus teorías heliocentristas, a

menos que lo hiciese, como si sólo se tratasen de hipótesis matemáticas.

Así pues, gracias a la persistencia de Galileo, el *De Revolutionibus* y cualquier otro libro del tipo, ingresaría (en 1616) al Index, hasta ser corregidos. Ahora, con el *De Revolutionibus* proscrito, Galileo dedicaría todos sus esfuerzos en contra de Aristóteles.

El 18 de noviembre de 1618 aparecieron tres cometas en el cielo, dos de los cuales se desvanecieron en muy poco tiempo. El cometa restante sería el primero en ser observado y estudiado con el telescopio y resultaría un talón de Aquiles virtual de los escolásticos del Colegio Romano. El arma de éstos sería la obra de Horatio Grassi Sovonensis, jesuita vocero del Colegio, llamada *Disputatio astronomica* en defensa del sistema de Tycho Brahe. Galileo contesta a esta obra usando a su amigo Mario Guiducci, quien publica *Discorso delle comete* donde expone sus tesis y ataca a los defensores del Sistema Ticomónico. Esta obra enciende la mecha de una bomba que le estallaría a Galileo en las manos, pues los jesuitas pensaban que este *Discorso* era, en realidad, obra de Galileo y “se consideraban profundamente ofendidos y se preparaban para dar una respuesta”⁸⁷. Lo que los jesuitas buscarían, será exponer a Galileo como el heliocentrista que era y, así, tenerlo donde ellos querían: en el Santo Oficio. Su respuesta fue el libro *Libra astronomica ac philosophica* del padre Grassi, quien se firma bajo el seudónimo Lothario Sarsi Sigansano, un anagrama de su propio nombre. Esto lleva a

⁸⁷ J. E. Marquina, “// Saggiatore, un libro poco recordado”, *Ciencias* n.4 (marzo 1996).

Galileo a escribir lo que originalmente era una carta dirigida a Grassi y, más tarde, la obra titulada *Il saggiatore* o *El flechador*.

Il saggiatore fue dedicado al Papa Urbano VIII y a su tesorero, el cardenal Virginio Cesarini, quien era amigo personal de Galileo. No habiendo encontrado nada que no estuviera de acuerdo a las tesis de fe y las buenas costumbres, el revisor autoriza su publicación y éste aparece en 1623 hallando mucho interés por parte del Papa; lo que le daría nuevas alas a Galileo.

En 1624, Galileo consulta a su amigo el Papa Urbano VIII (hasta hacía poco cardenal Maffeo Barberini) sobre si era posible que publicase sus ideas sobre los sistemas ptolomeico y copernicano; el Papa acepta que lo haga, pero siempre y cuando lo hiciera con una postura imparcial y objetiva al respecto. Galileo escribe entonces *Dialogo sopra y due massimi sistemi dell Mondo* (*El diálogo sobre los dos principales sistema del Mundo*) que se publicó en 1632 y, sería, ésta, la obra que lo pondría en el umbral de la Inquisición.

El *Diálogo*, la obra más famosa de Galileo, se dividía en cuatro partes, una por cada jornada de discusión. En la primera parte, o primer diálogo, ataca a la física aristotélica, en el segundo y tercero, argumenta en contra de las tesis aristotélicas que se oponen al posible movimiento de la Tierra; y, en el cuarto y último, habla sobre las mareas. Esta obra fue escrita en italiano y no en latín, en contra de las convenciones de la época, y a la vista de las masas. Resulta, en suma, una velada provocación envuelta en un discurso plagado de mordaces ironías y con una audacia que más tarde

lamentaría. Galileo arrasa con los prejuicios haciéndolos pedazos con las exigencias de un razonamiento riguroso y minucioso. Audazmente, bajo el disfraz de Salviati, un hábil discurridor, y contra los argumentos de Simplicio, el "simplón" comentarista de Aristóteles, demuestra que la Tierra se mueve apoyado en el razonamiento y los experimentos prácticos de los que concluye que si el movimiento es uniforme no se distinguirá entre él mismo y el reposo, siendo este argumento (bautizado después como *principio de relatividad galileana*) igualmente aplicable a la Tierra.

Los jesuitas se dieron cuenta de la gran cantidad de alusiones personales que Galileo hacía de forma relativamente velada aún del propio Papa, quien, de hecho, resultaba ser nada menos que Simplicio en el colmo de la peligrosa audacia y desfachatez de Galileo. Simplicio, a lo largo de todo el libro, resultaba (según palabras de Koestler) el payaso que recibe las bofetadas. Galileo, irremediablemente, queda expuesto, su libro queda prohibido y él, entonces, atemorizado y con 68 años encima, sería llevado, un año después, ante el Santo Oficio. Tras un penoso y humillante proceso, se le ordena que, a partir de ese momento, permanezca bajo arresto domiciliario. Increíblemente, Galileo es, en cierta forma, perdonado. No pasó ni un sólo día en una celda y la casa en la cual es confinado tenía todas las comodidades, amén de que se le permite conservar a su criado personal y fue asiduamente visitado por discípulos, amigos y admiradores.

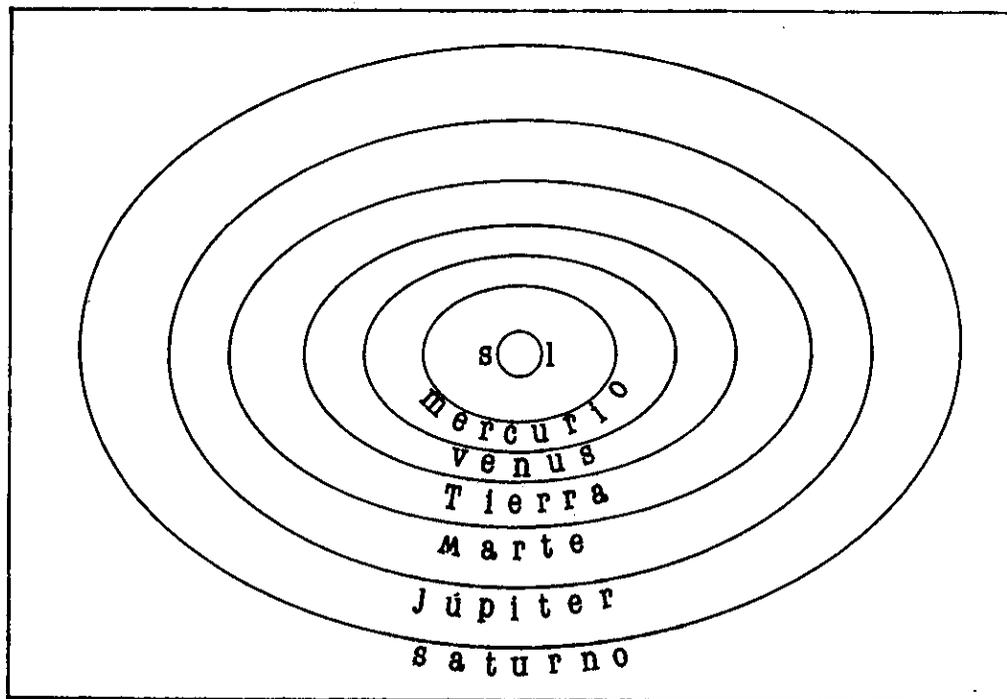
Sin embargo, Galileo se las arreglaría para escribir otro libro más, al que titularía *Discorsi e*

dimostrazioni matematiche in torno a due nuove scienze, alinienti alla meccanica e i movimenti locali (*Consideraciones i demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias relativas a los movimientos de traslación* conocido como los *Discorsi*, digna "vengaza" y golpe maestro contra sus verdugos. Tal obra vendría a ser la más importante de Galileo por su trascendencia. Galileo con ella acabaría definitivamente con el aristotelismo al demostrar su ineficacia contra su propia Física, la nueva Física, más apegada a la realidad y sin tantos cabos sueltos. Siguiendo el formato y estilo de su *Dialogo* y usando los

mismos personajes²², es aquí, pues, donde discute ampliamente la dinámica de los cuerpos en diferentes condiciones en la Tierra y sienta las bases de la mecánica de Newton.

Su *Diálogo* no sería publicado sino hasta 1658 en Leiden, con las "correcciones" pertinentes, y sólo hasta 1822, se levantaría la prohibición sobre él y demás obras proscritas de Galileo.

La historia de Galileo y Kepler representa la Historia del pensamiento científico y, en lo que nos atañe, la historia de la transición más difícil en el pensamiento humano en cuanto a su posición en el Universo



²² Cuando fue reprimido por la Inquisición, Galileo añadió a su abjuración la posibilidad de escribir un libro para resarcir el "daño" ocasionado por el *Diálogo* y demostrar su arrepentimiento, aprovechando que los personajes, dentro de la obra, prometen un nuevo encuentro para continuar su discusión.

XII. EL SIGLO DEL GENIO

Whitehead bautizó al siglo XVII como el siglo del genio, y con razón, pues vivieron en él nada menos que Johannes Kepler (1571-1630), Galileo Galilei (1564-1642), Blas Pascal (1623-1662), René Descartes (1596-1650), Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646-1716) y Baruch Spinoza (1632-1677) entre otros. Kepler había enunciado sus tres leyes universales para la dinámica planetaria; Galileo había terminado con aquella distinción que se hacía entre el mundo terrestre y el celeste, además de haber formulado, en principio, las leyes de movimiento. Descartes, por su parte, fundó la filosofía moderna y a partir de los trabajos de Galileo planteó la teoría de la inercia rectilínea, además de que junto con él y Newton, fundó el racionalismo en el cual se le daba preferencia a la razón sobre los sentidos, como método para conocer la naturaleza.

En este siglo también, y por el mismo trabajo de estos hombres, las ideas cosmológicas tendrían un gran avance. Galileo, a pesar de Kepler y sus tres leyes, siempre se rehusó a aceptar a la elipse en lugar de los círculos. Lo importante era que ya se había establecido que el punto de partida eran las ideas de Copérnico y, por otro lado, el mismo Galileo había ya ganado la "batalla del telescopio".

Hay dos puntos que se mantienen como base de las ideas cosmológicas posteriores, primero la idea de que el Mundo había sido creado por un

Dios, y segundo, el heliocentrismo. Descartes, por ejemplo, con base en ellas, expone su propia propuesta en su libro *El Mundo o Tratado de la Luz*. Sus ideas se centran en la llamada teoría de los vórtices con la que explica el origen, la formación, evolución y organización del Universo.

Nos dice Descartes que el Mundo no es un cúmulo de cualidades subjetivas no cuantificables, sino materia en movimiento cuya propiedad esencial es la extensión, entendiéndose ésta por sus tres dimensiones (largo, ancho y profundidad) de donde concluye que, por tal razón, no existe el vacío en él y que, de hecho, es imposible que se dé.

La materia primigenia estaba en caos, que por sí Solo implicaba el propio movimiento (muy complejo) con el que Dios la había dotado. El Caos se traducía en una excesiva concentración de toda la materia, o de todo el Universo, "una masa silente, muy compacta e ilimitada creada por Dios"⁸³. El origen estaría, entonces, en el momento en el que el caos se ordenara. Este proceso fraccionaría a la materia-Universo que se movería circularmente de manera natural. En una explicación posterior, Descartes nos dice que el Universo ya fraccionado, no permitiría que el movimiento se diseminara uniformemente, y que por ello, las partes girarían dando origen a diversos torbellinos, consecuencia también de la no existencia de vacío.

El "sistema Solar" había sido creado por uno de esos vórtices, cuyo centro original coincidía con el Sol; así, su mismo movimiento circular,

⁸³ R. Descartes, *El Mundo o Tratado de la luz*, UNAM, México (1986), p.92.

explicaba por sí mismo la distribución planetaria. Este mismo movimiento circular, en todo el Universo, había provocado que las partes de la materia tuvieran frecuentes choques y que ésta se diversificara. Se traduce de esta teoría un Universo copernicano infinito, o tan grande como la propia materia, para decirlo en palabras de Descartes, pero, aunque él lo considera como algo real, no muestra como llegó a tales ideas, tampoco intenta demostrar que sus "hipótesis" son ciertas. Su discurso se reducía a una cuestión absolutamente descriptiva y sin ningún rigor matemático; se limitaba a describir su teoría "como si no tuviese otra intención que la de contarles una fábula"⁸⁴.

Con ideas como éstas, y los trabajos de Kepler y Galileo básicamente, Newton tenía una tremenda materia prima para trabajar. Las tres leyes keplerianas representarían un filtro para las teorías e ideas posteriores.

Como Galileo, Newton estaba convencido de lo incapaces que resultaban las matemáticas de la época para tratar los problemas de movimiento, y por ello, crea, paralelamente con Leibnitz, la teoría que él llama *Fluxiones directas e inversas* que, independientemente de que lo llevaron a mejorar el tratamiento matemático en este sentido, lo enfrascaron en una desagradable, agria y hasta vulgar disputa con Leibnitz por la paternidad de la teoría que hoy conocemos como Cálculo Diferencial e Integral.

Newton tenía algo así como el Toque de Midas, en el sentido epistemológico, o, como diría Koestler, era uno de esos hombres que "como si

estuviese cargado de electricidad, arrancaban una chispa original a cada tema que tocaran, por muy remoto que estuviese de su campo propiamente dicho"⁸⁵. Fue por mucho tiempo el modelo a seguir por los ingleses y, por tanto, su vida estuvo siempre ligada a la leyenda reforzada siempre por su propia megalomanía. Edmund Halley (1656-1742), matemático y astrónomo, cuyo nombre lleva el famoso cometa y, quien era amigo personal de Sir Isaac, opinaba que "ningún mortal puede aproximarse más a los dioses"⁸⁶.

Newton nació (huérfano) en Woolsthorpe la Navidad de 1642, año también de la muerte de Galileo Galilei; fue tímido, introvertido y frágil. Cuando nació se le veía tan pequeño y enfermo que se pensaba que no sobreviviría ni veinticuatro horas y no valía la pena esforzarse por salvarlo. El hecho pues, de haber "sobrevivido", en ese preciso día, le hizo creerse un elegido, con una vida predestinada⁸⁷.

Así pues, Newton creció entre su orfandad de padre, el abandono de su madre (Hanna Ayscough a quien amaba y odiaba a la vez y por quien se sentía profundamente traicionado) y el odio enfermizo hacia su padrastro Barnabas Smith. La única mujer de su vida, Miss Storey, hija del primer matrimonio de la esposa del boticario Mr. Clark, quien albergaría a Newton por algunos años, nos proporcionaría el único

⁸⁴ Ibid. p.95

⁸⁵ Durham, op.cit., p.135.

⁸⁷ Tomemos en cuenta que la fecha 25 de diciembre de 1642 estaba de acuerdo al calendario corriente en Inglaterra (el Juliano), pero, de acuerdo con el calendario moderno Gregoriano (adoptado por Inglaterra hasta 1700), la fecha en realidad sería 4 de Enero de 1643, hecho bien sabido por Newton.

⁸⁴ Ibid. p.93.

comentario humano de Newton: "un muchacho sobrio, silencioso y pensativo"¹¹, y, a pesar de este comentario o los de Halley y Koestler, Newton era un hombre desagradable y cruel.

Entre 1665 y 1666 el Colegio de la S. Trinidad, al que había ingresado Newton cinco años antes, permaneció cerrado debido a la peste. Huyendo de ella Newton regresó a su pueblo natal y se recluyó por más de un año en la casa de su madre. Ese preciso año ha sido bautizado como *Annus Mirabilis* o *Año Maravilloso*, por lo productivo que resultó, científicamente hablando. Newton, como lo refiere en una carta que escribió años después, hizo los primeros planteamientos de su teoría gravitacional y realizó importantes experimentos para el propio planteamiento de su teoría corpuscular en óptica.

Newton estaba recién graduado y tenía veintitrés años, casi podemos imaginarlo como nos lo pinta la leyenda de la manzana (obviamente falsa) sentado bajo un árbol pensando en el problema de la gravedad; hecho que resultaría en la clave para lograr un bosquejo del esqueleto del Mundo.

Cada revolución tiene su clímax y el punto culminante de la revolución científica fue el momento en que Newton enunció la Ley de la Gravitación Universal, con la que, entre otras cosas, despejaría cualquier duda sobre el heliocentrismo. El instrumento de la revolución serían los *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*) o los *Principia* simplemente,

¹¹ I. Newton, *Principios matemáticos de la Filosofía Natural 1* (Introducción), Alianza Editorial, Madrid (1987), p.12.

como todos lo conocemos. Este libro se publicó en 1687 bajo la imprimería de la Real Sociedad británica, siendo el resultado de un año y medio de trabajo efectivo, es decir, Newton los escribió entre 1685 y 1686. Cabe mencionar que Halley, conociendo la dimensión de la obra, pagó de su propia bolsa los gastos que ésta generó, debido a que los fondos de la Real Sociedad eran entonces muy bajos.

La teoría de la Gravitación tiene sus orígenes en épocas anteriores a Newton; Copérnico ya había hablado sobre el concepto de atracción, refiriéndose a la dependencia entre ésta y la forma esférica de la Tierra. Kepler, extrapolando además tal teoría a los demás cuerpos celestes, decía que la "gravedad" era la tendencia de los cuerpos a unirse entre sí, comparando tal tendencia con el magnetismo. Christiaan Huygens tenía la idea de que tal atracción (gravedad) y el movimiento orbital tenían cierta relación. Para el movimiento lunar, Descartes suponía un vórtice con el centro en la Tierra, que arrastraba a la Luna. Huygens por su lado, suponía que el fluido etéreo que rodeaba a la Tierra giraba en todas direcciones con respecto a la superficie de ésta, de tal suerte que generaba cierta *fuerza centrífuga* (que huye del centro) o fuerza de escape, haciendo que las finas e invisibles partículas de éter empujaran hacia el centro de la Tierra las partículas de la materia "visible", que resultaban más pesadas. Estas finas partículas penetraban fácilmente la materia y llenaban los espacios evitando el vacío. Según sus cálculos, Huygens decía que la velocidad a la que giraba el vórtice debía ser 17 veces mayor que la velocidad de la Tierra en el ecuador, pues

de lo contrario, los objetos (en el ecuador) perderían su gravedad.

El núcleo del problema del movimiento no estaba en las órbitas en sí, sino en su origen intrínseco y, como se ve, el problema se abordaba, en primera instancia, tratando de deducir la "gravedad" a partir de las órbitas. Se tenían pues, ciertos hechos que no pasarían desapercibidos, al menos no para alguien como Newton, quien le daría al problema el giro de 180 grados que requería.

Galileo, por ejemplo, había demostrado que el movimiento circular no era un movimiento naturalmente simple, sino un movimiento que resultaba de la aplicación constante de una fuerza dirigida hacia el centro del movimiento que evitaba que el objeto en cuestión escapara por la tangente, precisamente la fuerza centrífuga, cuyo ejemplo más simple era una piedra atada a una cuerda que se hacía girar. El hecho era que, en ausencia de esta u otras fuerzas, el movimiento resultante del objeto sería rectilíneo.

Huygens teorizó ampliamente sobre la fuerza centrífuga y escribió un tratado al respecto que se publicó en 1673 con el título de *Horologium oscillatorium*, donde se trataba una buena cantidad de problemas matemáticos y mecánicos sobre el tema, llegando a la conclusión de que la fuerza centrífuga era proporcional al cuadrado de la distancia o radio del círculo u órbita. El camino era el correcto, pero las ideas no eran del todo precisas, pues sabemos que la fuerza centrífuga es una fuerza virtual y más tarde sería sustituida por el concepto de fuerza centrípeta (dirigida hacia el centro) a partir de la idea de

Hooke de analizar el movimiento de un cuerpo que gira en dos componentes: una inercial y otra centrípeta. El problema en este punto se reducía al marco de referencia, lo cual es lógico, pues nuestro punto referencial era la Tierra, un cuerpo que gira en torno al Sol, y se extrapolaban las condiciones del problema al sistema Tierra-Luna. Lo fundamental era que se imponía la idea de que el movimiento planetario dependía de una fuerza dirigida hacia el centro de las órbitas que disminuía con la distancia, lo cual prevaleció y se generalizó.

Otros hombres que habían avanzado en el problema eran el físico y astrónomo Robert Hooke (1635-1703), el arquitecto y matemático Christopher Wren (1632-1723) y el mismo Halley, quienes tenían ciertas nociones de la cuestión gravitacional, que habían desarrollado independientemente, pero tampoco, ninguno de ellos, había logrado aterrizar en algo concreto. Los tres coincidían en que la atracción solar sobre los planetas disminuía como el cuadrado de su distancia con él, pero ninguno acertaba a definir cuál sería el movimiento real de un planeta bajo esas condiciones. Casual y afortunadamente, a Halley se le ocurrió consultar a Newton sobre el ya entonces muy discutido problema en la Royal Society, y quedó muy sorprendido al saber que él ya tenía la solución desde hacía algunos años. La respuesta al problema era la elipse, como bien decía la Primera Ley de Kepler. En ese momento, al parecer, Newton había perdido sus notas donde se hallaba la demostración o tal vez no consideró prudente mostrarlas tal cual estaba entonces; sin embargo, no le resultó difícil preparar una

demonstración para Halley. El documento que Newton redactó resultó ser el precursor de los Principia titulado *De Motu (Sobre el movimiento)* ; en él se exponían sus investigaciones sobre el movimiento en la Tierra y en los cielos.

Sin despreciar el trabajo de Newton, desde su primer acercamiento al problema gravitacional, las ideas de Hooke, específicamente su método para el análisis del movimiento curvilíneo, fueron las que lo llevaron por el camino correcto hacia la Solución del problema. Newton supo del método por el mismo Hooke cuando éste le pidió (24 de noviembre de 1679) que mantuvieran un diálogo epistolar privado con el fin de discutir temas de interés científico para ambos. Hooke pretendía que Newton se involucrara con el problema del movimiento curvilíneo, en el que él ya se había atascado, seguro de que Newton lo resolvería. En este diálogo, que Newton aceptó con cierta reticencia, en una carta fechada el 9 de diciembre de 1679, el propio Hooke sugiere que la figura que describiría un móvil bajo las componentes inercial y centrípeta, se parecería a una elipse; también había sugerido antes, aunque de forma intuitiva, que la fuerza centrípeta hacia el Sol variaría en razón del cuadrado de la distancia, el ingrediente esencial y motor intelectual fue el genio matemático de Newton que no perdió de vista las Leyes de Kepler.

La Teoría de la Gravitación Universal, en suma, como Newton la planteó, nos dice que la fuerza atractiva que sienten dos cuerpos entre sí es proporcional al producto de la magnitud de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. Esta

importantísima ley, en sí misma, englobaba los fenómenos físicos más importantes del Universo observable; le daba además un sentido tangible a las leyes de Kepler, resolvía el, hasta entonces, complejo problema de las mareas, explicaba el "curioso" hallazgo de Galileo que nos decía que la caída de los cuerpos era independiente de su masa y demostraba contundentemente que las Físicas, celeste y terrestre, eran las mismas. La imagen del Universo ya no era tan confusa, pues quedaba claro, desde el punto de vista físico, cómo y porqué se movían los cuerpos celestes y la misma Tierra como planeta. Se podían deducir los tamaños de los planetas y del mismo Sol, y las distancias que mediaban entre ellos, además de las cuestiones referentes a las atmósferas y cometas.

Antes de los Principia, la forma de plantear los sistemas cosmológicos de los filósofos y matemáticos hacía pensar que el problema de la imagen del Universo, como tal y por sí, estaba vedado al pensamiento humano, por lo cual reducían el problema a la búsqueda de un modelo que sólo explicase los movimientos observados. La idea era que a lo más que podía aspirar el hombre, era a una Solución paliativa.

Newton le daba al problema ese giro que necesitaba, imponía la física y el racionalismo ante todo y de ambas obtenía, por ende, una imagen más clara del Universo. La física implicaba una geometría y no al revés.

Con la obra de Newton nacía la ciencia madura y moderna, con un enfoque axiomático y el rigor matemático necesario. Los *Principia* representaban un nuevo método de escribir y tratar a la ciencia, muy en contraste con las

obras de Galileo y de muchos otros que en busca de exponer sus ideas y teorías científicas, las insertaban dentro de diálogos entre personajes que representaban a seguidores, detractores y a ellos mismos, diluyendo su propio objetivo en la misma discusión.

En los Principia, Newton empieza por donde debe empezar, sin rodeos y al grano, definiendo las cantidades que utilizará frecuentemente en su discurso: masa, fuerza, impulso, aceleración, espacio y tiempo, movimiento relativo y absoluto. De estos últimos resulta una disertación implícita de los marcos de referencia. Completa esta parte con el planteamiento de sus tres leyes de movimiento:

Ley Primera:

Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado.

Ley Segunda:

El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.

Ley tercera:

Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas.

La primera la conocemos como *Ley de Inercia*, la segunda se conoce más en su forma matemática simplificada como $F = ma$, donde F es la fuerza que actúa sobre el cuerpo, m la masa del mismo y a su aceleración; por último, la tercera y última ley se conoce como la *Ley de*

acción y reacción. La importancia de estas tres leyes es tremendamente relevante para el estudio de la Naturaleza y el Universo en general. conceptualmente representan un gran adelanto en la concepción de la Naturaleza y a la vez una simplificación de sus mecanismos. Con estas tres leyes y la Teoría de la Gravitación, se estaba un paso adelante en tal estudio y se aseguraba el avance del conocimiento del hombre sobre el Universo, cuyos resultados se pueden apreciar hoy en día y seguirán siendo base sobre la cual se seguirá cimentando y contruyendo las teorías al respecto.

La primera parte de los *Principia* se refiere al movimiento de los cuerpos. Aquí, Newton deduce, para dos cuerpos, la ley de la fuerza inversa al cuadrado de donde deriva la Primera Ley de Kepler y, extrapolando, deduce también que el efecto gravitacional de la Tierra, como esfera o como punto, es el mismo; y esta simplificación, que ahora pudiera parecer trivial, posibilita la explicación de la ley del cuadrado inverso en el movimiento de los objetos en y fuera de la Tierra.

El segundo libro se refiere al movimiento de los cuerpos en medios que presentan resistencia al mismo. En éste, Newton demuestra que, para los objetos tales como proyectiles, péndulos y otros objetos terrestres, las desviaciones en su movimiento efectivo se pueden explicar en términos de la resistencia del aire, expone además algunos métodos de medición que el mismo usó para obtener la resistencia del aire. Aborda también la dinámica de fluidos en diferentes condiciones con el objeto principalmente de usar tales resultados como

apoyo a su teoría corpuscular y su teoría de las ondas sonoras, pero otro de sus objetivos, era refutar "la teoría de los vórtices" de Descartes. Su conclusión fue que tal teoría era incongruente con la Tercera Ley de Kepler. Tratando con este problema encuentra que los periodos de los planetas aumentan con la potencia $3/2$ de su distancia media desde el Sol; Newton con ello imponía una demostración de "su" cosmología. Concluye y demuestra entonces, con rigor matemático, que las atmósferas planetarias se extienden a determinadas distancias de éstos y, tales distancias, son muy inferiores a las distancias que median entre ellos, por lo tanto, el espacio interplanetario está vacío y, por ello, no hay materia con la que se pudiesen formar los vórtices de los que habla Descartes. En estos primeros libros de los Principia, Newton no nos habla explícitamente de los planetas, pero sí establece los mecanismos celestes (matemáticos) como base para el estudio de ellos. Serían así, su marco referencial y siempre regresará a ellos. Así, ya en el tercer libro, Newton demostrará la validez del heliocentrismo. Tratará los problemas relacionados con los cometas, las lunas de Júpiter, las mareas y la precesión de los equinoccios. En la parte de los cometas y el movimiento lunar se extenderá ampliamente, pues buscaba demostrar, basado en las observaciones existentes, que las órbitas de los cometas están sujetas a las leyes de la gravitación; así pues, aunque sus cálculos resultan largos, serán absolutamente relevantes para despojar a los cometas de su carácter misterioso y sobrenatural.

La Teoría de la Gravitación y las tres leyes de Newton se corroboraron ampliamente con la observación y datos de los movimientos planetarios. Newton admitió no tener idea de la causa definitiva de la gravedad, por lo cual, se negaba a plantear una hipótesis al respecto. La dimensión de la obra newtoniana, en la ciencia física, nos puede hacer pensar que Newton fue un hombre que se dedicó ciento por ciento a ella, pero tal idea está alejada de la realidad. El hombre que revolucionó definitivamente la concepción científica, a todos los niveles, dedicó sus mayores esfuerzos a la teología y a la alquimia. Su condición de "elegido" le imponía la obligación y el derecho de develar "el plan maestro" de Dios. No el Dios trinitario, sino "el Dios único" (el Dios de Arrio) como lo testifica la firma que imprimía en sus trabajos alquímicos más secretos: *Jeova Sanctus Unus*, anagrama de su propio nombre en latín *Isaacus Neutonius* que significaba precisamente Jehová Dios único.

Newton apoyaba pues, la idea de que el Mundo había sido creado por Dios, de hecho, decía, en su correspondencia con Richard Bentley, que los *Principia* eran una demostración implícita de tal idea. En la segunda edición (1713), Newton añadió un "escolio general" en el que nos dice "este bellissimo sistema del Sol, cometas y planetas sólo puede proceder del criterio y dominio de un Ser inteligente y poderoso" al que llama "Señor Dios o Gobernante universal". Cuando publica la tercera edición, en 1726, añade a esta frase lo siguiente: "el Dios de Israel, Dios de Dioses, Señor de Señores", quizá para que no hubiese duda.

CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de esta tesis es lograr una visión general de los aspectos epistemológicos que delinearon y delinear, aún hoy, la visión del hombre respecto a su propia posición en el Universo y, por ende, de el aspecto que éste tiene. Para ello, era necesario, en principio, explorar y revisar las fuentes del conocimiento más antiguas posibles y, a partir de ellas, inferir las concepciones primitivas, como punto de partida, para así encontrar el camino por el cual transitó la conciencia y la inteligencia humana hasta el siglo XVII.

El título de este trabajo refiere las tres grandes fases de esta historia: la Mitología, la Geometría y la Física. Podemos apreciar, en la etapa más básica, al hombre enfrentando al Cosmos con nada más que su imaginación y con su necesidad de explicarlo todo. De ahí se desprenderían los increíbles y complejos relatos que daban cuenta del origen de todos y cada uno de los elementos del Universo.

Esta etapa primigenia sería la propia prehistoria, de la cual no tenemos registros, pero la cual puede ser bien determinada a partir de las fuentes más antiguas y de la propia naturaleza humana. Es por tanto, la etapa más intuitiva, la etapa en la que la conciencia del hombre despierta en busca de respuestas, las cuales no se lo dan per se; y como en todos estos casos, aún en la modernidad, el hombre creará sus propias respuestas tratando de ajustar el Mundo a su

mentalidad y a sí mismo, pero, en principio, con humildad total, delegando a los elementos de la Naturaleza la causa y razón de todo.

El hombre, con razón, se ve inferior ante la propia Naturaleza, pero como producto de ella misma. Se crean así los dioses.

Los dioses crean y modelan todo. Son seres que se dan de la nada creándose a sí mismos y a su propia descendencia. Los dioses, de naturaleza generalmente violenta, luchan entre ellos en las mentes de los hombres por el dominio de su propia creación. Así pues, la Mitología dominará esta etapa; el Mundo y todo lo referente a él, estarán en función de ella, y ésta dará respuestas a todas las interrogantes referentes a la creación, distribución, composición, forma y destino del Universo, de acuerdo a la geografía y cultura propia de cada pueblo.

Entre las fuentes conocidas más antiguas, hay elementos que se repiten insistentemente y tal vez, en el que todos coinciden, sea en que el Mundo surgió del agua. Del agua nació el dios babilonio Ti-amat, y el hebreo Jehová y también el maya Gucúmatz-Quetzalcóatl.

El agua representa la mezcla infinita y primordial, el caos apacible y oscuro. De ella surgiría la Tierra, plana, aunque ligeramente cóncava, considerada así por algunas culturas.

El cielo es percibido también plano en los inicios y, poco a poco, la concepción lo fue curvando más hasta abovedarlo completamente, encajándole las estrellas en su superficie interior.

Los babilonios, cerca del siglo décimo antes de Cristo, son los primeros que le dan al cielo ese aspecto abovedado y a la Tierra cierta

concavidad. De hecho, su idea original no era la de una Tierra plana, sino la de una Tierra con forma de montaña que poco a poco se extendió y perdió altura en sus mentes, hasta tomar aquella forma. Los egipcios, aunque posteriores, y a pesar de absorber algo de la cultura babilonia, mantuvieron la idea de que el Universo tenía la forma de una caja.

La astronomía y el interés en ella serían los factores que darían pie a las nuevas concepciones del Mundo. Los cielos como reflejo de los dioses y del Mundo, empiezan a proporcionar respuestas a casi todo. Los elementos del cielo, aunque no tuviesen influencia concreta real, resultaron, en muchos casos, directrices culturales. Como ejemplo se puede decir que prácticamente los egipcios, entre otros, basaron su cultura en el Astro Rey, es más, podríamos afirmar que todo conocimiento astronómico, resultó culturalmente determinante.

Parece ser que la idea cosmológica más influyente y de mayor trascendencia en general, es la de Babilonia. Esta idea fue asimilada por los egipcios y más tarde por los hebreos. Los primeros griegos tuvieron un estrecho contacto con las ciudades babilonias y absorbieron buena parte de sus creencias y tradiciones, entre ellas, las ideas creacionistas y su propia visión del Mundo. Esto se aprecia bien en las obras de Homero y Hesíodo. Estos primeros griegos conciben ya al Universo como una esfera dividida en el ecuador por el plano terrestre y flotando en aguas infinitas y, en algunos casos, completamente inmersa en ellas.

Esta visión del Mundo prevalecería hasta la aparición de los primeros filósofos en la región

jónica. La visión filosófica resulta crucial para nuestro estudio y la especulación de la que el Mundo es objeto por parte de los filósofos, le imprime un nuevo sentido a las cuestiones cosmológicas, y más aún, cuando los filósofos relevan a los dioses como causa primigenia de la propia Naturaleza y se engendra una nueva etapa del conocimiento humano.

Los filósofos reconocen a la tierra, al aire, al agua y al fuego como los componentes básicos del Mundo y discuten, de hecho, cuál de ellas era más básica que las otras. Cada filósofo toma partido y desarrolla su propio modelo en el cual uno de los elementos genera a los demás y al Universo en general. De los modelos se desprenden las formas para el Mundo, desde las figuras relativamente planas hasta las esferas, pasando por los cilindros. En los modelos, la forma de la Tierra cambia, pero el Universo, como tal permanece. El agua, por ejemplo, no cambia su lugar en el espacio; a veces varía su extensión, pero nada más. La Tierra, por su parte, descansará en el centro del Mundo.

Se empieza a discutir la forma y composición de los astros, y se busca un modelo que explique sus movimientos. Casi en general, se les considera de naturaleza ígnea y se empieza a manejar la idea de que sus movimientos son circulares.

El uso de las Matemáticas y la Geometría, por parte de los filósofos griegos, le imprimió un nuevo sentido al estudio del Cosmos y de la Naturaleza, pero creó prejuicios relativamente perjudiciales para la propia ciencia, y para el mismo hombre.

Cuando la Geometría hizo su entrada como herramienta básica para describir al Mundo, se abriría la puerta de la siguiente etapa en esta búsqueda.

La etapa geométrica, más que buscar la imagen del Universo, trataba de lograr un modelo que pudiera explicar satisfactoriamente los irregulares movimientos de los astros.

Se darían muchos intentos en ese sentido, algunos más exitosos que otros, que irían encarrilando al hombre por el camino correcto. Notablemente, durante los últimos siglos antes de Cristo, se dieron hechos muy importantes para la época: Se considera ya a la Tierra esférica y Eratóstenes desarrolla un método simple para calcular su tamaño con resultados muy aceptables, Heráclides postula que la Tierra gira sobre su propio eje, y Aristarco, además de calcular satisfactoriamente las distancias relativas entre el Sol, la Luna y la Tierra, sugiere que ésta no está en el centro del Mundo y que gira en torno al Sol. Heráclides, por su parte, sugeriría un modelo parcialmente heliocéntrico en el cual el Sol gira en torno a la Tierra, pero Mercurio y Venus hacen sus revoluciones en torno a él. Estos hechos entrañaban cuestiones de gran relevancia en la concepción del Universo, tales como, la propia esfericidad de la Tierra y la consideración de ésta como planeta con una dimensión finita e imaginable, así como su posición respecto al Sol y a la Luna. La idea de que la Tierra girara sobre su eje y en torno al Sol no fue aceptada en absoluto, ya que a todos les parecía lógico pensar que de ser así, la "fricción" con el aire generaría tremendos vientos que arrancarían todo de su superficie, por otro lado,

la Tierra, por su tamaño, resultaba tan pesada que sería imposible que se moviese del centro. Muchos, de hecho, pensaban que al ser creada la Tierra, no se hallaba en el centro, pero fue tendiendo a él a medida que fue ganando peso hasta quedar inmóvil.

El geocentrismo no era una idea generalizada entre los griegos. Algunos, como los pitagóricos, encontraban a la Tierra demasiado vulgar para tan privilegiado lugar y suponían un cuerpo más digno en tal lugar al que llamaban Hestia o Fogón del Universo. Aún la propia Tierra giraba en torno a él.

Los modelos heliocéntricos no trascendieron entre los griegos, siendo siempre desplazados por el geocentrismo. Los modelos geocéntricos que se construyeron se ajustaban aceptablemente a la situación. La directriz básica en ellos fue la Geometría y, en particular, la idea del círculo como la figura básica de los movimientos celestiales establecida indirectamente cuando Anaxágoras, en el SV a. de C, postuló que Dios debía ser esférico. Tal idea fue enseñada, poco después, por Platón, y de ahí se ifirió la relación idisoluble (por mucho tiempo) entre la esfera (y, por tanto, el círculo), Dios, los Cielos y la perfección. Por muy complicado que se observara un movimiento, debía ser necesariamente una combinación de círculos.

Para el siglo segundo de nuestra era, con la escena dominada por los romanos, y con los filósofos en un peligroso e inminente estado de extinción, Ptolomeo establece el modelo que sería el dogma cosmológico y cosmográfico de los siglos por venir. Se trataba del resumen del pensamiento griego establecido en ese sentido,

moldeado por las ideas de Aristóteles, Apolonio e Hiparco. Apolonio en particular, dio a Ptolomeo dos poderosas herramientas para su modelo, dos combinaciones de círculos que explicaban, con cierta precisión, los movimientos de los planetas con muy buenos resultados, a los que llamaban epiciclos y exocéntricas.

Se crea entonces, el Sistema Ptolomeico-aristotélico, por un lado alimentado por las ideas de Aristóteles y por otro con los desarrollos geométricos del propio Ptolomeo. Aristóteles estableció la forma y composición oficiales de la Tierra y del Universo en el siglo III a. C. a través de su particular interpretación de la información existente. Lo que se establece oficialmente es que la Tierra es esférica y que se halla en el centro del Universo rodeada por capas sucesivas de agua, aire y fuego, que abarcaban hasta la Luna. A todo este conjunto se le tomaba genéricamente con el nombre de Región Sublunar, la región del cambio y la imperfección. Al complemento de este conjunto, extendido desde la Luna hasta la gran esfera que lo contenía todo (la Esfera de las Estrellas Fijas) se le consideraba la zona del estatismo perpetuo y, por ende, de la perfección por su invariabilidad. Compuestos de éter, la quintaesencia o materia perfecta, los cielos contenían a los planetas: Mercurio, Venus, Sol, Marte Júpiter y Saturno (en ese orden) moviéndose en torno a la Tierra en complejas combinaciones de círculos. Los epiciclos, las exocéntricas, las deferentes y el punto de igualación o ecuante (única aportación real de

Ptolomeo) resultaron realmente ventajosos para el avance de la astronomía de la época.

Aristóteles se había establecido ya como la autoridad en todos los sentidos, particularmente en las cuestiones de la Naturaleza. Se le consideraba como la persona que lo había abarcado todo y que hasta había agotado el estudio de tales temas. Después de Aristóteles ya todo estaba dicho y hecho. Por lo mismo, en los siglos posteriores, el avance fue casi nulo en lo que a ciencia se refiere, y lo mismo podemos decir de la época posterior a Ptolomeo. La filosofía igualmente se extinguió; los últimos filósofos como tales, fueron los neoplatónicos, cuyo grupo quedó disuelto en el siglo segundo después de Cristo. Esto sucedió así por cuestiones, en gran parte políticas y por el declive de la cultura griega que empezó a perder fuerza y a ser desplazada por el Imperio Romano. A la caída de éste debido también a cuestiones políticas y a la invasión de Europa por parte de los Hunos, el rotundo rechazo hacia ellos hundió a Europa en el oscurantismo, confinando a los estudiosos y a la ciencia misma, en los monasterios. Nada que viniera de los romanos o los griegos debía ser aceptado o tomado como verdad. Mucho del conocimiento y de los avances logrados se pierden, y muy pocas cosas son las que prevalecen.

Con el surgimiento de la Iglesia Católica, la concepción del hombre y del Universo sufren un giro dramático. La Tierra, y el Mundo en su totalidad, pasan de la forma esférica, considerada por los griegos, a ser tomados nuevamente al estilo de los antiguos egipcios: Un Universo con la forma de una caja rectangular

rodeado por agua, en el cual, la base de la caja era la Tierra.

La idea del Universo-Caja, con la Tierra plana, aunque ligeramente cóncava, es el ejemplo más claro de la corrupción que sufrió el conocimiento en general, y una pequeña muestra de la fuerza adquirida por las Escrituras; por que de éstas últimas, se desprenderían las principales ideas referentes al Universo. Se llega a considerar que el adoratorio portátil de los hebreos en su peregrinar por el desierto al que llamaban Tabernáculo y que había sido construido por inspiración divina, correspondía, en su forma, y en cada uno de sus elementos, con la imagen real que el propio Universo debía tener. El Tabernáculo era así, una metáfora del mismo Universo.

Desgraciadamente, debido a esto, la idea de la esfericidad de la Tierra se vuelve un tema tabú para los pensadores medievales y, por tanto, cualquiera que se refiriera a él sería, al menos, ridiculizado. En este periodo las Antípodas resultan ser, por lo mismo, un tema muy recurrente entre los medievales que, de ser cierto, se tomaría como la prueba definitiva de la esfericidad de la Tierra, por lo cual era ridiculizada en la medida de lo posible, para restarle credibilidad.

El Tabernáculo se estableció así como el modelo cosmológico aceptable durante la Alta Edad Media. Los medievales de la Baja Edad Media, con ideas un poco más sensibles que las de sus antecesores, se hacen de otro tipo de dogmas en todos los sentidos, entre los cuales se hallaban en una posición preponderante las doctrinas de Aristóteles, que en su momento

habían sustituido a las de Platón, y las teorías de Ptolomeo, que en gran parte se corrompen por la propia tradición medieval, sus ideas radicales y los propios textos bíblicos. Con esta línea de pensamiento surgen los llamados escolásticos, que tenían la idea de que todas las respuestas estaban ya dadas y que cualquier cuestión inesperada que surgiera, era susceptible de ser resuelta a través de sus libros.

En este punto, entre los siglos once y trece, la fundación de las universidades y el creciente interés por los textos griegos antiguos generó un efímero auge por la experimentación llevado a cabo por un pequeño grupo que apoyaban la teoría del *impetus* y, según esta teoría, la idea de un Universo infinito cuyo centro era la Tierra en rotación diaria. Tales ideas no fueron muy populares y, en el mejor de los casos, degeneraron en otras ideas escolásticas.

Ese nuevo interés por la ciencia griega fue promovido directamente por los árabes en quienes se despertó un gran interés por la obra de los filósofos al grado de recuperar muchas de sus obras originales. Aunque no lograron avances muy significativos en esa época, fueron una pieza clave para la recuperación cultural de Europa.

La verdadera revolución vendría con Copérnico; para entonces, resultaba evidente que existían irregularidades insalvables con los sistemas geocéntricos y Copérnico vislumbra las ventajas que se desprendían del uso de un sistema heliocéntrico. El modelo propuesto por Copérnico simplifica notablemente la concepción del problema, el Sol queda entonces en el centro y, girando en torno a él, van los planetas

empezando con Mercurio, Venus y la Tierra, luego Marte Júpiter y Saturno, y la Esfera de la Estrellas Fijas. Copérnico se deshizo de los prejuicios medievales para generar su modelo que aunque heliocéntrico, ubicaba al Sol ligeramente desplazado del centro. Este modelo trascendió su propia condición de modelo en la mente de Copérnico, y no sólo explicaba la mecánica celeste, era en sí, la imagen real del Universo.

El salto conceptual resultaba, por un lado, mortal para los escolásticos por razones académicas, y por otro, era intelectualmente complicado después de siglos de geocentrismo, ¿cómo creer que las cosas se sucedían de tal forma?. Aún los intelectos más liberales tenían problemas para lidiar con las tesis copernicanas.

Eran obvias las ventajas del modelo copernicano, entre ellas se contaban principalmente la explicación de las irregularidades en los movimientos planetarios y algunas otras cuestiones; por tal razón, los seguidores de Ptolomeo debían generar un modelo que fuera equivalente en ventajas al copernicano, pero formalmente geocéntrico. El modelo esperado resultó ser el de Tycho Brahe y, aunque brillante, como toda la obra ticomónica, no era tan efectivo como el modelo de Copérnico. La escrupulosidad de Tycho Brahe engendró un modelo, tal vez el mejor en su tipo, formalmente geocéntrico, aunque relativa e implícitamente heliocéntrico, que convenció a muchos y tranquilizó a otros tantos; los primeros, indecisos, con mentalidades menos viciadas y los segundos, escolásticos comprometidos en cuerpo y alma con Aristóteles y Ptolomeo.

Aceptado o no, el modelo heliocéntrico, resultaba, al menos, un fantasma omnipresente en las disputas y discusiones cosmológicas, que daba pie a la reflexión a favor o en contra de tal posibilidad. Este fantasma iría filtrándose en las nuevas mentes, aún sin tantos prejuicios cosmológicos, revelándose como una posibilidad cada vez más real, a medida que se iban hallando más coincidencias entre él y lo observado. Cabe mencionar que la propia época renacentista resultaba un terreno fértil para nuevas teorías y posturas en todos los ámbitos, abonada por la necesidad de cambio. Un cambio que aunque gradual, fue finalmente drástico.

El modelo copernicano se había establecido como "la otra" posibilidad y muchos la retomarian y difundirían. Algunos como Giordano Bruno lo tomarían como su causa personal y su bandera y arma para atacar al Status Quo. La difusión que logró Copérnico con Bruno fue muy importante, pero para el propio Bruno, un ser patológicamente antitético y enemigo, por tanto de las tesis y oficialismos del momento, resultó (en combinación con otras cosas) fatal.

El libro donde Copérnico exponía sus ideas heliocentristas, el *De revolutionibus*, había alcanzado cierta fama, pero no tanta como para incomodar las conciencias escolásticas, hasta que Galileo tomó la estafeta y se dedicó a difundirlo aún más y a atacar de lleno a Aristóteles.

En este punto aparece el telescopio (inventado en Italia, probablemente, a partir de las ideas de Roger Bacon en el siglo XIII), como herramienta de observación astronómica, para revolucionar la investigación. Con sólo apuntar al cielo, Galileo

abre todo un nuevo horizonte a los ojos del hombre al extender su visión óptica e intelectual. Galileo, a pesar de lo rudimentario del instrumento, y a su pobre resolución, empieza a hacer grandes descubrimientos que impactan la mentalidad establecida, amén de que su incansable lucha anti-aristotélica crea en el hombre de la época una visión más global del Universo. Con sus descubrimientos, tales como los valles y montañas en la superficie de la Luna, o los cometas, la inmutabilidad de los cielos se iría perdiendo cada vez más, y, en la misma medida, las tesis aristotélicas al respecto se debilitarían. Con ello la frontera entre la Tierra y los cielos se diluiría hasta desaparecer del todo. Galileo, con todo esto, se hizo de gran prestigio y fama que le permitieron impulsar las ideas copernicanas.

A pesar de Copérnico, el círculo no había sufrido con la revolución. La perfección se seguía entendiendo en múltiplos del círculo, ése había sido y era hasta entonces el dogma. Muchos lo creían así, aún el mismo Kepler, quien creía en la perfección del Universo como creación de Dios (bueno, también, creía en la idea platónica del Universo compuesto de la sucesión de sólidos perfectos en los que se encajaban los planetas). Ni él mismo estaba preparado para lo que hallaría: las elipses, obtenidas a partir de las Tablas Rudolfinas, la escrupulosa obra de su maestro Tycho Brahe. El haber obtenido tal resultado a partir de los datos de Tycho, le impidió a Kepler dudar de la elipse como conclusión definitiva del movimiento planetario, y eso lo perturbó profundamente. Al

aceptarlo, Kepler desarrolló, de forma dispersa, sus tres leyes del movimiento planetario.

Las elipses, conceptualmente, representaban, por sí solas, una nueva forma de pensar, pero para algunos, como Galileo, resultaban algo vulgar, chocante e impensable.

El trabajo de Kepler era un síntoma de lo que vendría después, una nueva etapa en la que eran las condiciones físicas, y no la geometría, las que trazarían el rumbo a seguir. La geometría del problema se inferiría de la Física; se debía, entonces, definir las condiciones físicas del problema de la Mecánica Celeste, para descubrir la geometría del Universo, y por ende, su forma.

Aceptado el heliocentrismo, se desprendía, que había alguna relación intrínseca, al menos, entre el Sol y la Tierra. Kepler ya lo había interpretado como algo de estilo magnético, como si el Sol fuera un imán gigante. Newton trabajó el problema de esa interrelación, de forma matemática, y llegó a la conclusión de que para que tales condiciones se dieran, debía existir una fuerza que actuaba en función de la distancia.

Cuando Newton enuncia su Teoría de la Gravitación Universal, acaba con la especulación en ese sentido, resolviendo el problema de una vez. Quedaba ya, bien claro, que las masas y la distancia entre ellas, definían una geometría elíptica sin duda; además, establecía la posibilidad de saber, a ciencia cierta, los tamaños de los planetas y del Sol. Esto redefinía, dramática y definitivamente, la concepción que se tenía del Universo. Finalmente, las leyes de movimiento enunciadas por Newton, representaban la posibilidad de profundizar más en las leyes generales que regían al Universo.

El Universo seguiría expandiéndose en las mentes de los hombres más y más, y se seguiría redefiniendo a sí mismo en función de los nuevos descubrimientos y las nuevas teorías redundando en las ideas establecidas por Kepler y Newton. El Universo, como lo entendemos hoy en día, tiene su base en esas ideas, aunque se ha expandido más allá de lo que ellos pudieran imaginar, no sólo en dimensiones, sino también en la complejidad intrínseca de su propia dinámica y composición. Como ejemplo de esto,

bastaría pensar un poco en la revolución conceptual que se ha dado al considerar las teorías de Albert Einstein (la de la Relatividad, donde, por cierto, hay un regreso a los planteamientos geométricos), de George Gamow (la del Big bang). En la escala humana nuestra concepción del Universo es muy superior a la concepción que se tenía hace tres o cuatro siglos, pero a la propia escala del Universo, seguramente no hay muchas distancia entre las dos.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

(SE PONE ENTRE PARÉNTESIS EL NUMERO ROMANO DEL
CAPÍTULO O CAPÍTULOS PARA LOS CUALES SE
UTILIZARON).

LIBROS

- Abell/Morrison/Wolff. *Exploration of the Universe*, New York (1987). (IV)
- Abetti, Giorgio, *Historia de la Astronomía*, FCE, México (1983). (I-XII)
- Aliighieri, D., *La Divina Comedia*, Ediciones Selectas, México (1982). (VI)
- Aristóteles, *Del coelo*, Enciclopedia Britannica, Great Books of the Western World Vol.9, University of Chicago (1952). (II-IV)
- Aristóteles, *Física*, Enciclopedia Britannica, Great Books of the Western World Vol.9, University of Chicago (1952). (II-IV)
- Aristóteles, *Metafísica*, Ed. Porrúa, México (1973). (II-IV)
- Aristóteles, *Meteorologica*, Enciclopedia Britannica, Great Books of the Western World Vol.9, University of Chicago (1952). (II-IV)
- Asimov, I., *El Universo*, Alianza Editorial, México (1981). (II)
- Asimov, I., *La Alta Edad Media*, Alianza Editorial, México (1986). (VI)
- Baines, J. / Malek, J., *Atlas of Ancient Egypt*, Equinox, Oxford (1984). (I)
- Brad Müller, W. / Greipl, E. J., *Copernico, Galileo e la Chiesa. Fine della controversia 1820 gli atti del Sant' Uffizio*. Firenze (1982). (XI)
- Bruno, G., *El Universo Infinito*, (IX)
- Bruno, G., *La cena de las cenizas*. (Introducción, traducción y notas de Miguel Ángel Granada), Madrid (1987). (IX)
- Cohen, I. B. / Drabkin, A., *A Source Book in Greek Science*, McGraw-hill, New York (1948). (II-IV)

- Copérnico, N., *Sobre las revoluciones*, De. Tecnos S. A., Madrid (1987). (IX)
- Copleston, F., *Historia de la filosofía*, Barcelona (1974). (II)
- Cusa, N., *De docta ignorantia* (VII)
- Deretta, B., *Cristobal Colón y el descubrimiento de América*, Barcelona (1945). (VII)
- De Santillana, *The crime of Galileo*,
- Descartes, R., *El Mundo o tratado de la luz*, UNAM, México (1986). (XII)
- Dreyer, J. L. E., *History of Astronomy from Thales to Kepler*, Dover, London (1960). (I-XI)
- Durham, F. & Purrington, R., *La trama del Universo*, FCE, México (1989). (I-XII)
- Garza, M. de la, *El hombre en el pensamiento religioso nahuatl y maya*, UAM, México (1990)
- Galilei, G., *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid (1981). (XI)
- Galilei, G., *Dialogue concerning the two Chief World Systems*, University of California Press, California (1967). (XI)
- Galileo, G./ Kepler, J., *El Mensajero Sideral*, Alianza Editorial Mexicana/ SEP, México (1988).
- Hacyan, S., *El descubrimiento del Universo*. SEP/ FCE, México (1986). (I)
- Hesiodo, *Teogonía*, Ed. Porrúa, México (1990). (I)
- Homero, *La Iliada*, Ed. Porrúa, México (1974). (I)
- Homero, *La Odisea*, Ed. Porrúa, México (1960). (I)
- Kepler, J., *El secreto del Universo*, Alianza Editorial, Madrid (1986). (XI)
- A. Koestler *Los Sonámbulos*, Conacyt, México (1981). (XI)
- Koestler, J., *The Watershed*. Doubleday & Comp. Inc., Gloden city, New York (1960). (XI)
- Koyré, A., *Estudios galileanos*, SXXI editores, México (1980).
- Kramer, S. N., *Mythologies of the Ancient World*, New York (1961). (I)

Kristeller, P. O., *Ocho filósofos del Renacimiento Italiano*, FCE, México (1965). (X)

Kuhn, T. S., *La revolución copernicana. La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Ed. Ariel. México (1978). (X)

Martin, *Theon*, University of Chicago (1964). (II-IV)

Mason, S., *Historia de las ciencias 1*, Alianza editorial, México (1986) (II-IV)

Newton, I., *Principios matemáticos de la Filosofía Natural 1 y 2*, Alianza Editorial, Madrid (1987), (XII)

Pannekoek, A. *History of Astronomy*, Dover publication inc, United Kingdom (1989). (I-XII)

Platón, *Diálogos*, Ed. Porrúa, México (1991). (III)

Ptolomeo, *Almagesto*, Enciclopedia Britannica, Great Books of the Western World Vol.9, University of Chicago (1952). (V)

Westfall, R. S., *Never at Rest, a biography of Isaac Newton*, (Cambridge University Press, 1960), p.382. (XII)

Yates, F., *Ensayos Reunidos. Renacimiento y reforma, la contribución Italiana*, FCE, México (1991) (VII)

Zinner *Leben und Wirken des Johannes Müller von Königberg genannt Regiomontanus*, Munich (1938). (X)

Antiguas civilizaciones. Vol. XII, Uteha, España (1980).

La Sagrada Biblia, Traducida de la vulgata latina al español del hebreo y del griego. Unión tipográfica nacional, México (1953)

Enuma Elish. El poema de la creación, UAM, México (1969).

Popol Vuh., FCE, México (1964).

ARTÍCULOS

Álvarez, J. L., Marquina J. E. y Rideura, R. "La esfera y el círculo en la historia", *Ciencias* n.30, México, (abril 1993), pp.3-9.

Baigrie, J., "Kepler's Laws of planetary motion, before & after Newton's Principia: an essay on the transformation of the scientific problems". *Stud. Hist. Phil. Sci.*, Vol. 18, n.2, pp. 177-208, Great Britain, 1987.

Cohen, B., "El descubrimiento newtoniano de la gravitación", (tomado de *Ciencia y desarrollo [Newton]*, Conacyt, México 1982, pp. 21-47), p.30.

Cohen, I. B., "Newton's Third Law & Universal Gravity". *Journal of the History of Ideas*, Inc. (1987).

Garza, M. de la, "Cosmovisión de los mayas antiguos", *Ciencias*, Abril, 1990, pp.33-35.

Kennedy, K.S., "Late Medieval Planetary Motion". *Isis*, pp. 365-378, (1966.57).

Manuel, F. E., "The Lad of Lincolnshire",

Marquina, J. E., "Il Saggiatore, un libro poco recordado", *Ciencias* n.4 (marzo 1996).

Marquina, J. E., "Jeova Sanctus Unus, teólogo y alquimista", *Mathesis* 6, México (1990),

Roberts, V., "The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shatir". *Isis*, (1957). 48, pp. 428-432.

Saibá, G., "The First Non-Ptolemaic Astronomy at the Maragah School". *Isis*. (1979) 70 (n. 254).

Schiaparelli, "Sur le chronomètre céleste d'Hiparque", *Journal d'Astronomie*, vol.1, Paris (1976),

R. S. "Westman, The Melachton Circle, Rheticus and the Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory", *Isis* n.232, Junio 1975, pp. 165-193.