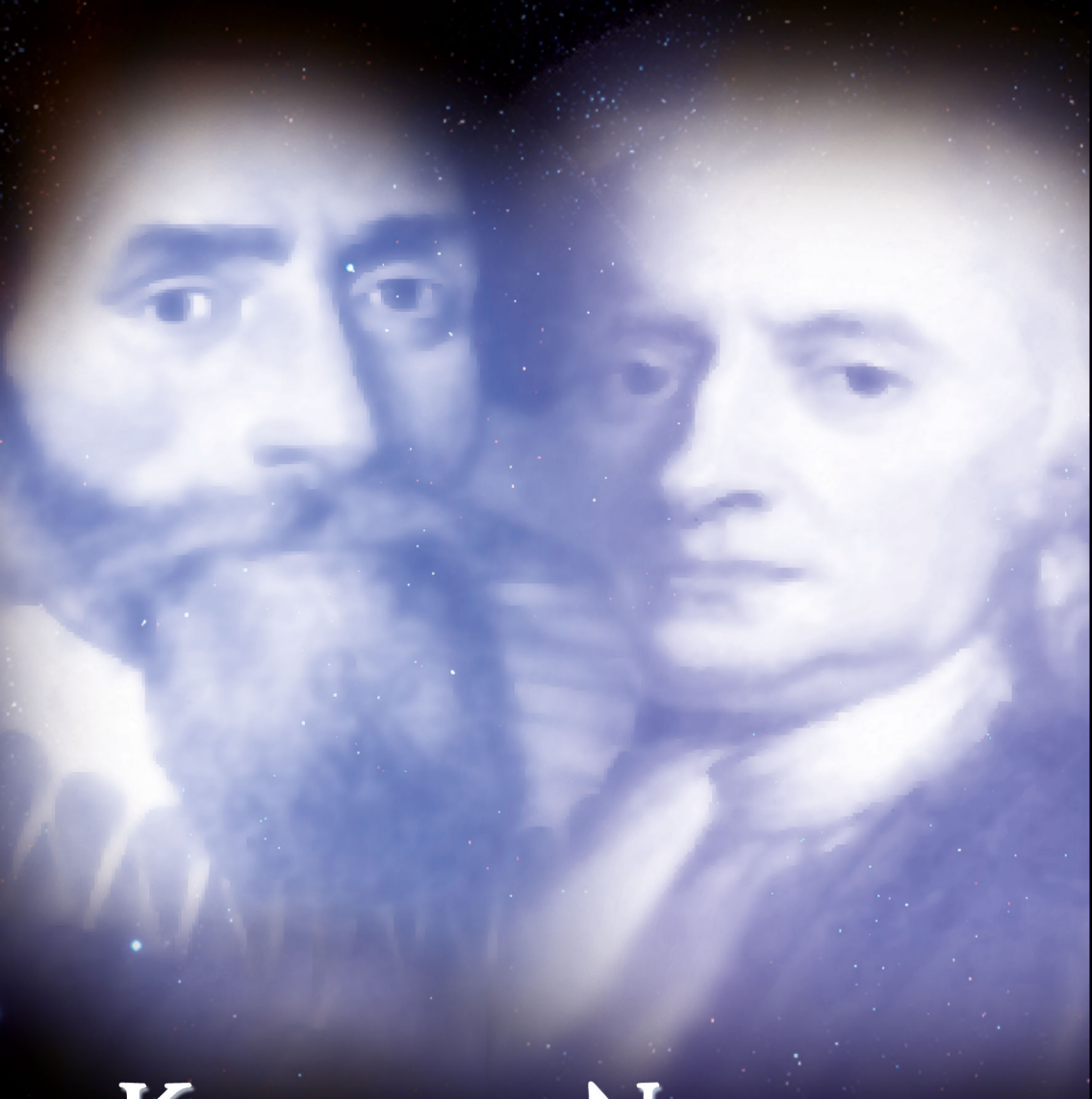


Kepler y Newton

Encuentros con la armonía sideral

Manuel Campuzano Arribas

Vision Libros

KEPLER Y NEWTON

ENCUENTROS CON LA ARMONÍA SIDERAL

MANUEL CAMPUZANO ARRIBAS

KEPLER Y NEWTON

ENCUENTROS CON LA ARMONÍA SIDERAL

Vision Libros

© Obra: Kepler y Newton
Encuentros con la armonía sideral

Primera edición: 2011

© Autor: Manuel Campuzano Arribas

ISBN: 978-84-9008-103-7

Maquetación y diseño por Grupo Editor Vision Net
© Editado por VISION LIBROS www.visionlibros.com

Gestión, promoción y distribución: Grupo Editor Vision Net S.L.
C./ San Ildefonso 17, local, 28012 Madrid. España.
Tlf: 0034 91 3117696 // Email: pedidos@visionnet.es
www.visionnet-libros.com

Disponible en librerías físicas y online.

Las opiniones expresadas en este trabajo son exclusivas del autor. No reflejan necesariamente las opiniones del editor, que queda eximido de cualquier responsabilidad derivada de las mismas.

Queda prohibida, salvo excepción prevista por la ley cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sin contar con la autorización de los titulares de la propiedad intelectual. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.es o por teléfono 917021970) si necesita fotocopiar, escanear o utilizar algún fragmento de esta obra. Gracias por comprar una edición autorizada de esta obra y por respetar las leyes del *copyright*.

A Francisco Romo Campuzano,
tan virtuoso con su violín como
entrañable con sus sentimientos.

Índice

Prólogo……..……....13

Del orden y de la armonía sideral.....……. 17

23 Cosmos y Filosofía

39 Del cosmos geocéntrico

43 Del cosmos heliocéntrico

Del movimiento de los cuerpos……....55

56 Punto de partida

60 Evolución conceptual

69 Nace una nueva ciencia

Kepler, testigo de Dios..……...91

91 Nacimiento de un superdotado
93 La escolarización del pequeño Johannes
93 El Seminario y la Universidad de Tubinga
95 La llamada de Graz
96 Descubriendo el orden y la armonía
100 Vida social en Graz
102 Encuentro con Tycho Brahe
105 Matemático Imperial en Praga
107 *Astronomia nova*
111 Kepler, Galileo, y el telescopio
114 De Praga a la capital de Austria Superior
115 El periodo de Linz
125 Sagan y Ulm

Newton, intérprete de Dios.....137
137 Nace un genio
138 En la escuela
139 Alumno del *Trinity College*
142 *Annus mirabilis*
147 Regreso al *Trinity College*
149 Miembro de la *Royal Society*
150 Religión, *Prisca Sapientia*, y silencio
153 De nuevo la dinámica
155 Los *Principia*
162 El Universo de Newton

163 Un nuevo entorno
165 Aparece el gestor
166 Presidente de la *Royal Society*
167 La *Óptica*
171 Enfrentamiento de dos genios
173 Los últimos años

De las leyes de Kepler y Newton…….. 181

Epílogo……197

Apéndice A: Sobre nuestro sistema solar…….201
201 Formación del sistema solar
203 De las distancias planetarias
206 Componentes activos del sistema solar

Apéndice B: Cien cuestiones para la reflexión…….235

Notas……....287

Bibliografía…….....325

Prólogo

Cuando el hombre hizo su aparición sobre la Tierra y levantó sus ojos al cielo, quedó sorprendido por el inmenso firmamento que se abría ante él y por el vivo esplendor de la bóveda de zafiro originado por brillantes antorchas que, esparcidas a millares, alumbraban con imponente majestad. Pronto comenzó a sentir en su propio cuerpo los ritmos diarios y mensuales que veía y, a partir de entonces, las alineaciones de las estrellas, los desplazamientos de los planetas, del Sol y de la Luna, fueron objeto de observación durante muchos siglos, pasando a formar parte de las culturas de todos los pueblos al mismo tiempo que surgían las primeras ideas —generalmente especulativas— acerca del «mundo».

Podemos afirmar que fueron los griegos los iniciadores de la cosmología científica, si por esto entendemos la elaboración de teorías para explicar lo que ocurría en el cielo. Los griegos fueron capaces de separar la astronomía de la simple predicción de sucesos que pudieran influir en la vida en la Tierra, es decir de la astrología. En otras palabras,

deshumanizaron el cosmos, formulando teorías basadas en las observaciones a la vez que intentaban poner un orden entendible a partir de unos datos aparentemente en desorden. No obstante, la explicación científica en relación con algunos de los aspectos claves del movimiento de los astros quedó fuera del alcance de aquellos pensadores. Ciertas premisas falsas, aceptadas desde la autoridad filosófica de algunos de ellos, impidieron durante muchos siglos descifrar las claves fundamentales del movimiento.

Dos mil años hubieron de transcurrir para acabar con la base metafísica sobre la que se elevaba la teoría aristotélica del movimiento. Preguntas tales como ¿por qué los planetas se mueven en sus órbitas?, ¿cuál es el origen de este tipo de movimientos?, ¿cómo se conocen de antemano, con una buena aproximación, la trayectoria de un cuerpo espacial?, extensibles a otros movimientos de cualquier naturaleza, sólo pudieron tener respuesta gracias a las sucesivas aportaciones de hombres sabios de un particular relieve, cuya influencia, no sólo rebasó ampliamente el marco de sus respectivas profesiones, incidiendo sobre toda la sociedad, sino que incluso superó también el ámbito de sus países respectivos para poseer una dimensión universal. De ellos, Johannes Kepler e Isaac Newton ocupan un lugar central en este libro por ser los primeros que ostentaron la máxima representatividad en relación al estudio del movimiento de los astros. El conocimiento de sus vidas, zozobras, intuiciones, temores, ilusiones, frustraciones y logros que acompañaron a los mismos, nos permitirá, desde una mayor consecuencia y sensibilización, una mejor orientación y aproximación al entendimiento conceptual del fenómeno mecánico celeste.

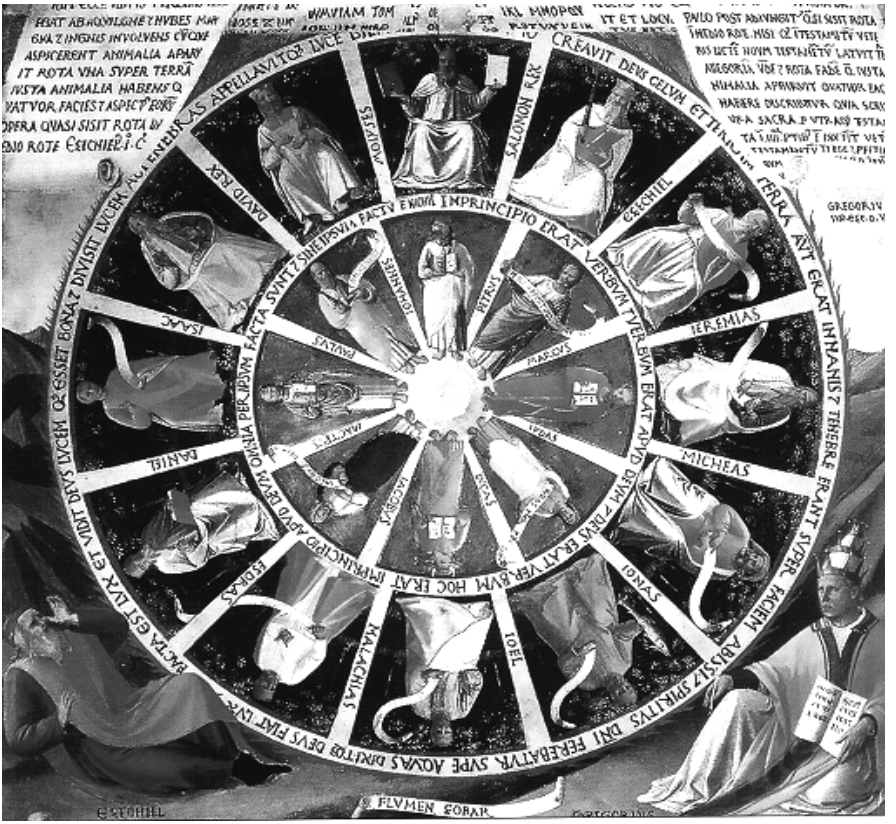
En este libro pues, se tratan las leyes que rigen el movimiento de todo cuerpo sideral, atendiendo a las solicitaciones externas que sobre él puedan ejercerse, así como de aquellos hombres que hicieron posible el hallazgo de las

mismas. Y todo ello, en el seno de un universo de geometría euclidiana donde el espacio y el tiempo tienen carácter absoluto. Si el tiempo y el espacio tuvieran carácter relativo; si el tiempo y el espacio constituyeran una “amalgama” tal que conformaran un hiperespacio de cuatro dimensiones donde no fuese aplicable la geometría euclidiana sino una de tipo esférico, hablaríamos entonces de un universo de carácter einsteiniano, universo que será objeto de reflexión en un próximo libro.

En esta obra se han incluido dos anexos que considero pueden ser de utilidad para los lectores de la misma: una somera descripción de nuestro sistema solar, y el planteamiento de una serie de cuestiones básicas relativas a la cinemática y dinámica de los cuerpos. Ello ayudará a fijar conceptos como paso previo a la resolución de cualquier problema que se nos plantee en relación con la temática que nos ocupa. Razones de eficacia aconsejan sustituir la enseñanza de tipo informativo por una enseñanza a deductiva y formativa, que desarrolle la capacidad creativa de los jóvenes y no tan jóvenes lectores, en aras de despertar en ellos el interés por conocer y aprender.

Deseo señalar finalmente mi empeño en dar una visión lo más fiel posible de las teorías y los hechos involucrados, evitando un extremo tecnicismo. Para ello, he intentado conciliar dos exigencias aparentemente contradictorias: la de la exactitud y la de la claridad expositiva común. Espero haberlo conseguido.

Feliz lectura.



Rueda mística
(Fray Angélico, Museo di San Marco, Florencia)

En la época medieval del siglo XVI, aún se veían todos los elementos del mundo funcionando dentro de un orden divino fijo.

Del orden y armonía sideral

El orden es y ha sido algo indispensable para el ser humano. Desde los albores de la humanidad, nuestra especie ha dependido de su capacidad para establecer o encontrar un orden dentro de la naturaleza para poder sobrevivir. Sin un orden en su entorno, nuestros antepasados hubieran sido incapaces de establecer de forma rápida los lugares que les podían servir de abrigo, los que eran peligrosos, los que escondían presas para el sustento de sus tribus primigenias. Sin este orden tampoco hubieran podido conocer las plantas que podían comer y las que no, los momentos que eran propicios para cazar o cuando tenían que migrar en busca de nuevo sustento.

Conforme el hombre fue evolucionando, y en la medida en que su cultura se fue haciendo cada vez más y más compleja, el orden dentro de la vida del ser humano se hizo también más difícil de establecer y mantener. Aun así, siempre ha habido entre nosotros ese anhelo de poder encontrar en nuestro medio, cada día más enmarañado, un

orden que permita simplificar nuestra existencia y devolvernos un poco de esa paz que creemos perdida.

La ciencia nos confirma que el mundo en que habitamos no es simplemente una mezcla desordenada de entidades, ni una colección de componentes físicos interaccionando al azar. En la Tierra, los sistemas biológicos, la sociedad y la tecnología humana, la materia animada y la inanimada son ejemplos de la actividad altamente estructurada y organizada que hacen del mundo en que vivimos un lugar tan interesante y excitante. Igualmente, en el Universo, la materia y la energía tampoco están dispuestas al azar, sino según una fascinante organización jerárquica estructurada en distintos niveles de tamaño y complejidad. Las estrellas se agrupan en unidades estructurales más elevadas, las galaxias, que representan el nivel fundamental de la organización cosmológica. En cualquier dirección del cielo hacia la que se apunte un telescopio, se observa la misma densidad de galaxias[1] de un idéntico brillo. Para esta escala tan grande, la materia del Universo está aparentemente distribuida uniformemente a nuestro alrededor. Igualmente, por encima de esta escala de estructura, el Universo presenta una extraordinaria uniformidad en la distribución de materia y radiación, uniformidad que se mantiene tanto en orientación con respecto a nosotros (isotropía) como de región a región a distintas distancias de cualquier observador (homogeneidad). Aunque las galaxias parezcan islas de materia luminosa rodeadas de vastas extensiones de espacio vacío, las regiones intergalácticas no están totalmente vacías. No hay duda alguna de que albergan una cierta cantidad de materia transparente o ligeramente oscura. Más importante aún, todo el espacio, incluyendo estas extensiones aparentemente vacías, está lleno de radiación calorífica. Esta radiación impregna todo el Universo de un brillo extremadamente tenue –su temperatura es de unos 3 ºK. La extraordinaria isotropía de esta radiación cósmica

de fondo recibida en la Tierra es una buena prueba de la uniformidad del Universo a gran escala. La radiación calorífica ha atravesado distancias cosmológicas sin impedimento alguno y, de haberla, llevaría consigo la impronta de cualquier irregularidad a gran escala.

Por otra parte, el conjunto total de galaxias no está en reposo. La existencia de un corrimiento hacia el rojo[2] en la luz que nos llega de las galaxias débiles pone de manifiesto que las mismas se alejan de nosotros a gran velocidad[3]. Este hecho, vital por sí sólo, descubierto por Edwin Hubble en los años 20 del siglo pasado, cambió toda la perspectiva de la astronomía y la cosmología porque implicó que, en lugar de un Universo estático, como se supuso inicialmente, a escala global, el Universo es dinámico y evoluciona igual que un ser vivo, con una historia de su vida y quizás un nacimiento y una muerte. Por otra parte, igual que ocurre con la distribución de la materia, la expansión es sorprendentemente uniforme en todo el Universo.

En otros sistemas como el galáctico, estelar, biológico, intelectual y tecnológico, podemos ser observadores, igualmente, de un orden, si bien, de naturaleza diferente para unos y otros. Este orden se convierte así en un concepto unificador que ha permitido a las ciencias físicas el descubrimiento de algunas leyes y propiedades fundamentales, que son de carácter tan general que pueden ser aplicadas a sistemas tan diversos como una estrella y un hombre.

A un nivel cosmológico, el orden significa simplicidad y uniformidad, una expansión suave y uniforme del Universo a gran escala. A los niveles más pequeños, el orden significa organización compleja y la disposición especializada de la materia y la energía, tanto si es una estrella que emite energía en su núcleo y la transmite a las capas superficiales más frías, o una célula viva con sus procesos metabólicos[4].

En todas partes, el hombre comenzó a ver los astros como poderes. En muchos casos, se sostenía que este poder tenía una influencia directa sobre la vida de las tribus y las naciones. El cosmos como orden universal y que todo lo impregna se daba por hecho. Los dioses habían creado y ordenado todas las cosas que había en el cielo y la tierra, en la naturaleza y en la sociedad, velando a su vez por todas ellas. La medida, el orden, la armonía, se deduce de la observación de los cuerpos celestes, pues del aparente caos podía notarse un eterno proceso repetido, cíclico e inmutable e idéntico. Además, en el corazón de toda concepción del cosmos, anidaba la idea de la inmutabilidad, una inmutabilidad alumbrada por unos fenómenos cíclicos, inmutables e idénticos. Nada hacía pensar que el futuro fuera diferente de todo aquello que se conocía en aquel entonces o se conociese en el futuro. En el cielo, la repetición de los fenómenos tiene lugar espontáneamente y el hombre puede advertir fácilmente la periodicidad y los ritmos que le permiten hacer, sobre bases absolutamente empíricas, pronósticos importantes y cada vez más precisos relacionados con las fases lunares, la duración de la noche, la sucesión de las estaciones, los eclipses de Luna e incluso los del Sol.

Este orden e inmutabilidad permitió a los hombres beneficiarse, desde un principio, de las indicaciones celestes. Así, el movimiento de la Luna y la repetición periódica de sus extraordinarios aspectos informaba al hombre primitivo sobre el momento que debería acoger a un nuevo miembro en la familia: *transcurridas nueve lunas llenas*. La estrella Vega, una estrella muy brillante, que hace 15.000 años permanecía inmóvil en las proximidades del polo celeste, proporcionaba una dirección fija, el norte, sobre el que podrían basar su camino los hombre primitivos que, desafiando los rigores del clima, vagaban por los amplios territorios boscosos cercanos a las márgenes meridionales del

los grandes glaciares que cubrían entonces buena parte del hemisferio septentrional de la Tierra. No cabe duda de que el hombre primitivo era un formidable observador; si no lo hubiese sido, no habría podido vivir de la caza y de la pesca y librarse de las emboscadas de una naturaleza enemiga.

Desvinculado de la necesidad imperiosa de procurarse diariamente el alimento con la caza, el hombre, convertido en agricultor o pastor, sembrando en el momento justo, regando los campos cuando era necesario y recogiendo la cosecha a su debido tiempo, podía procurar el sustento a la comunidad durante todo el período invernal además de tener una seguridad que anteriormente le era desconocida. Pero para obtener buenos resultados, además de necesitar una buena dosis de suerte para que la inclemencia del tiempo no arruinara lo que se había construido con tantos esfuerzos, le fue necesario conocer muy bien las fechas del año más oportunas para las distintas labores que debía realizar en la época justa, a riesgo de que fracase la empresa y, en consecuencia, se produjera el hambre en la estación invernal.

Gracias al aparente movimiento del Sol, pudo ser satisfecha tal necesidad, dado que la sucesión de las estaciones depende del distinto arco que el astro rey describe sobre el horizonte. En verano, se mueve en un arco muy amplio por lo tanto, hay más horas de luz y el calor, precioso para el crecimiento de las plantas, es más fuerte. Lentamente, según va transcurriendo la estación, el Sol baja, el arco diurno que describe sobre la bóveda celeste se hace más pequeño y los lugares del horizonte por los que el astro del día sale y se pone, se aproximan al sur cada vez más. Así, la observación del “levantamiento heliaco” permitió a los sacerdotes egipcios determinar el camino del Sol en el cielo, observando las últimas estrellas que, adelantándose, se elevaban sobre el horizonte antes de que la

claridad del día las haga imperceptibles. De esta manera pudieron predecir, con gran seguridad, el inicio del desbordamiento del río Nilo que tiene lugar según una periodicidad muy rigurosa, es decir, cuando el Sol se encuentra en una parte determinada de su órbita. Un error de pocas semanas o incluso de algunos días, habría significado perjuicios incalculables y hasta una irremediable penuria, dado que la prosperidad y, en último término, la supervivencia de este país tan grande y poblado, dependía de la exactitud del citado pronóstico.

La astronomía, pues, aparece como el primero de los conocimientos que el hombre ha debido afrontar. No como ciencia sino como una fenomenología a la que hay que prestar mucha atención para poder vivir mejor en una sociedad organizada.

> «Antes de los faraones y sus pirámides... antes de los regalos del Nilo... antes incluso del propio tiempo, sólo había agua, un océano eterno e interminable, y el todopoderosos dios Amón. Llegó un momento en el que Amón decidió crear el mundo. Primero creó a un dios menor, para que actuara en su nombre. Este dios menor formó el mundo en su mente, luego expresó esos pensamientos con su voz y el mundo surgió. Primero surgió un vacío en el océano cósmico: un espacio para Egipto y sus habitantes. El Nilo y el aire llenaron el vacío y entonces apareció la Tierra –un montón de tierra emergiendo de las oscuridades del Nilo. Por último, salió el Sol, y el mundo quedó formado».

Esta antigua historia egipcia de la creación era un intento de explicar el orden del Universo: los ciclos de la vida y la muerte... la inundación anual del Nilo... la sucesión de los reyes divinos... y la marcha de las estrellas por el cielo nocturno. El orden era tan importante que tenía su propia diosa. Cada amanecer era un momento de creación exac-

tamente igual que el primero, un signo de que el orden seguía vigente y las fuerzas del universo estaban en armonía.

El supuesto carácter supraterrenal llevó desde un principio a la astronomía al ámbito de lo religioso y la dejó, con ello, bajo el control de los sacerdotes. Así, el conocimiento de los cielos fue cultivado por la parte más culta de la clase sacerdotal que, ciertamente, recurría a ritos y fórmulas propiciatorias, pero que, sin duda, se entregaba a observaciones y medidas cuidadosas puesto que de la exactitud de las mismas dependía la prosperidad y, en último término, la supervivencia de su pueblo. Las clases superiores de la sociedad fueron adoptando de buen grado las interpretaciones que sobre el cosmos eran ofrecidas por los sacerdotes y los teólogos, dado que, las mismas, se basaban en la realidad cotidiana y no respondían a sistemas filosóficos abstractos sino a concepciones religiosas del universo. Por otra parte, tales visiones del mundo servían a los monarcas, administradores y escribas para justificar un orden social que reportaba indudables beneficios a los privilegiados.

No obstante, el conocimiento astronómico no empieza su historia con la admiración muda o poética del hombre ante el habitual espectáculo de la naturaleza, con su girar de día y noche, de estaciones, de lluvias, sino con una contemplación objetiva, olvidada de la persona misma del contemplador, y en intento de encontrar la clave única de tanta variación. Una historia que ha de centrarse, inevitablemente, en la evolución del pensamiento occidental a partir de Grecia.

Cosmos y Filosofía

En un principio, los griegos intentaron explicar el mundo –su génesis y su estructuración–, a través de un discurso

mitológico impregnado de intencionalidad. Las sociedades reales, fuertemente jerarquizadas, ofrecían visiones explicativas jerarquizadas. El rey era el creador del orden social; de la misma manera, las altas divinidades eran las creadoras del universo. Las luchas entre los reyes cobran afinidad con las luchas entre los dioses. Lo evidente, la visión ingenua del universo tenía que ser explicada, había que hallar las causas y, como consecuencia, surgen concepciones, más que científicas, tecno-morfo-políticas. Así explica Hesíodo, en su *Teogonía*, la creación del universo:

> «Antes que nada existió el Caos, y luego la Tierra de amplios senos, eterna base de todas las cosas, y el Eros (el Amor), el más hermoso entre los dioses inmortales, que afloja los miembros y subyuga la voluntad y los sentidos de dioses y hombres. Del Caos nacen la oscuridad y la negra noche, y de ésta surgieron el Cielo y el Día y la Tierra generó al estrellado del Cielo, idéntico a ella misma, para que pudiera cubrirla toda entera y ser morada sempiterna para los dioses; y también aparecieron las altas montañas, refugio amable de las ninfas, y el mar profundo...»

Durante los primeros años del primer milenio a.C. la astronomía griega estaba por aparecer. De las descripciones que Homero hace de los primeros tiempos de Grecia (1000 a.C. aproximadamente) se desprende la idea de que la Tierra es un plato liso, con el Olimpo en su centro, que flota en el «okeanos» o mar universal. Sería a partir del siglo VI a.C., cuando los griegos intentan comprender la Naturaleza en todas sus facetas, el estudio de sus ritmos y la relación entre lo natural y lo humano. Se inicia así una búsqueda continua de explicaciones racionales a los sucesos naturales: el tránsito del *mythos* al *logos.* Con los ojos y la mente como únicas herramientas, aquellos pensadores griegos se acercaron a la realidad celeste y fueron capaces de aportar

un gran número de ideas y propuestas sobre la naturaleza del Universo. Veamos a continuación, a través de unas breves pinceladas biográficas de sus autores, algunas de tales ideas que, por su originalidad, merecen nuestra atención.

Tales de Mileto (-630 al -547), fue el primero de los pensadores griegos que dio el salto del mito al logos[5]. Consideraba que el universo se comporta de acuerdo con unas leyes básicas de tipo natural, que son inalterables y cuyo origen es posible interpretar mediante el ejercicio de la razón humana.[6] Pensaba que la Tierra era un disco plano rodeado por el Océano, pero que además flotaba sobre éste: se sustentaba sobre el agua, que se extendía hacia abajo de manera casi simétrica a la semiesfera celeste superior. Sobre el disco terrestre se extendía la bóveda esférica del cielo con el Sol, la Luna y las estrellas. La esfera celeste se cierra por encima del conjunto agua-tierra y rota alrededor de él todos los días arrastrando a las estrellas. Todo procede del agua, nos señala Tales. Las cosas son alteraciones, condensaciones o dilaciones de lo húmedo. Este principio es no sólo el fundamento de las cosas, aquello en que las cosas consisten, sino el principio de la vitalidad de todo lo viviente. Hoy esta visión del mundo puede parecernos ingenua, pero entonces supuso un gran esfuerzo de imaginación para quienes sólo conocían las riberas del Mediterráneo.

Anaximandro de Mileto (-610 al -545), discípulo y sucesor de Tales veía la Tierra como un cilindro flotante con una altura igual a un tercio de su diámetro, equidistante de todos los puntos de la esfera celeste, en cuya superficie superior vive el hombre. Las ardientes capas del universo estallan y toman forma de ruedas ígneas que, envueltas en tubos de niebla[7], giran en torno a la Tierra y el mar. Los cuerpos celestes que vemos son agujeros de los tubos, a través de los cuales brilla el fuego encerrado en éstos; y

los eclipses son obturaciones de los agujeros. La visión de Anaximandro supuso una conquista gigantesca: por primera vez, alguien pensaba que la Tierra no se apoyaba en nada, sino que se sostenía por sí misma, flotando en el centro de los anillos celestes. El mundo está suspendido en el espacio y se sostiene por equidistancia a todas las cosas. Anaximandro construye así una cosmología geocéntrica que perdurará con los griegos y a través de la Edad Media, hasta los tiempos de Copérnico y Galileo.

Anaxímenes, unos veinticinco años más joven que Anaximandro, y tal vez amigo y discípulo de este, volvió al concepto de una Tierra suspendida en el aire. Por primera vez dijo que el Sol era una bola de fuego y estableció el término planeta (astro errante en griego) a la vez que lo diferenciaba de lo que fuese una estrella.

Con el comienzo de la dominación persa, los filósofos jonios emigraron a Italia y tras la expulsión de los persas (guerras médicas, 500-479 a.C.), el impulso del conocimiento se centró en los filósofos Pitágoras, Sócrates, Platón y Aristóteles.

Pitágoras es seguramente el más importante filósofo matemático de la historia. Se supone que nació en el período comprendido entre el 580 y el 500 a.C., en la isla egea de Samos, en la época del gran tirano Polycrates (¿-522). El sabio griego Pitágoras después de haber deambulado durante varios años, se aposentó en Crotón, un próspero asentamiento griego en el sur de Italia. La escuela religioso-matemática que fundó allí se concentraba en el estudio de la *aritmética* (la teoría de los números), la *armonía* (música), la *geometría* y la *astrología* (astronomía), una división del conocimiento en cuatro partes que en la Edad Media se conocería como el *cuadrivium.* Junto con el *trivium,* formado por la lógica, la gramática y la retórica, constituían las siete «artes liberales» que fueron tenidas como

las asignaturas obligadas en el plan de estudios de una verdadera persona culta.

Se considera que fue Pitágoras quien empleó, por primera vez, el término Kosmos[8] para designar el mundo, al vincular la medida, el orden y la armonía del Universo con la belleza, lo que hace que la misma se deduzca de la proporción de las partes (adecuada disposición), en la magnitud, la calidad y el número de las partes en su recíproca relación.

Pitágoras fue un idealista, no sólo en el campo de la religión[9] sino también en el de la separación entre lo conocido mediante los sentidos (que nos engañan) y lo conocido mediante el intelecto (que nos lleva a la verdad). Ante el hecho de que algunos entes reales pudieran ser explicadas con principios matemáticos, llegó a la conclusión de que las matemáticas son la verdadera representación de la realidad, lo perfecto (siendo esta perfección cognoscible solo mediante el intelecto). De ahí que afirmara que "todas las cosas eran números". Así, el conocimiento del mundo a través de las matemáticas constituyó el corazón de la misión de Pitágoras en esta vida.

Las proporciones aritméticas que encontró Pitágoras, no sólo se referían a las matemáticas, también podían hacer música. De niño aprendió a tocar el laúd, y probablemente un día, mientras practicaba, comenzó a ver lo que ocurría si hacía vibrar cuerdas de diferentes tamaños. Si las matemáticas eran bellas, aplicar los principios matemáticos a la música debía ser agradable al oído. Después de un poco de experimentación se dio cuenta de que si las vibrantes cuerdas tenían proporciones de números enteros, producían tonos armónicos. Este concepto funcionaba en todos los instrumentos que probó. Parecía otro principio universal[10]. El mundo es número. La revelación de que el orden numérico, tal como cabe observarlo en la forma de las cosas, es su marca divina y la vía de unión entre el alma

humana y el gran Uno divino, se tendría en la armonía: la música sobre todo en sus acordes, encanta y arrebata sin necesidad de explicaciones. Ello fue lo que llevó a Pitágoras a situar la Tierra, con forma esférica[11], en el centro del Cosmos, haciendo que el Sol, la Luna y los cinco planetas conocidos fueran conducidos por esferas giratorias concéntricas y con sus radios en correspondencia con los números enteros y racionales, del mismo modo que éstos aparecen en la armonía de la música. Los tonos emitidos por los planetas dependían, según los pitagóricos, de las proporciones aritméticas de sus órbitas alrededor de la Tierra, de la misma forma que la longitud de las cuerdas de una lira determina sus tonos. Las esferas más cercanas producen tonos graves, que se agudizan a medida que la distancia aumenta. Para ellos, los sonidos que producía cada esfera se combinaban con los sonidos de las demás esferas, produciendo una sincronía sonora especial: la llamada "música de las esferas".

Para los pitagóricos, por tanto, el Universo manifiesta proporciones justas, establecidas por ritmos y números, que originan un canto armónico. El cosmos, a sus ojos, es por tanto un sistema en el que se integran las siete notas musicales con los siete cuerpos celestes conocidos entonces (el Sol, la Luna y los cinco planetas visibles). A estos planetas se le añadirían tres esferas suplementarias que totalizarían el número de 10, el número perfecto.

Heráclito de Éfeso (-536 al -470), ve el mundo como una tensión armónica de contrarios: el universo está movido por un fuego central, que lo agita y disgrega todo: la guerra es la madre de todas las cosas (en griego, el «padre»). El mundo es una equilibrada tensión de fuerzas contrarias, «como el arco y la lira». «Todas las cosas son una», pero surgen movidas por la discordia, en ese perenne proceso de juntarse y separarse que es el devenir del mundo.

Platón (-427 al -347) es cumbre y cristalización de muchas corrientes del mundo griego. Con Platón cobra pleno sentido el concepto de cosmos, de «orden». ¿Qué es el universo, el cosmos en su esencia? El cosmos es una creación que el demiurgo realiza, aplicando a la materia informe preexistente un orden, siguiendo las ideas de armonía y proporcionalidad. El Universo es, pues, como el hombre, material y espiritual. Para Platón la máxima cualidad del creador es la de que actúa como un geómetra, o como un poeta. Por eso piensa que el cosmos es esférico, puesto que se trata de la figura más perfecta, en la que están contenidas todas las otras figuras y en la que la distancia del centro a los extremos es siempre igual. Y el cosmos sería único y finito, eterno y legaliformado por el demiurgo, que imprime a la totalidad de las cosas un proceso hacia el fin que le es propio, es decir, hacia su bien. Es el cosmos cual un organismo bello en su esencia, por divino. Así como el alma es en el hombre su elemento divino, preexistente, conocedora de las ideas ─el conocimiento humano, una vez el alma encarnada, es un recuerdo─, de idéntica manera el cosmos posee su alma creada por el demiurgo.

Para una simetría y una armonía que se correspondiese con la perfección de los ciclos y también para explicar la rigurosa periodicidad de los movimientos de los astros, Platón propuso la hipótesis de que todos ellos estuvieran animados exclusivamente por movimientos circulares uniformes, un concepto que tendrá larga vida. Él imaginaba un Universo monocéntrico, con los astros y las estrellas girando alrededor de una Tierra esférica e inmóvil. No obstante, sabía muy bien que, a diferencia de las estrellas fijas, las dos luminarias se desplazaban de occidente hacia oriente, atravesando hacia atrás las constelaciones de la franja del zodíaco de una forma no uniforme; y los planetas, al re-

montar el zodiaco de forma análoga, no describían órbitas circulares. Platón estaba convencido de que estas aparentes irregularidades y, en especial, el hecho de que, periódicamente, los planetas se hicieran estacionarios o retrocediesen, derivaba de la combinación de los distintos movimientos aunque, eso sí, todos circulares y uniformes. En otras palabras, pensaba que con ayuda de la geometría[12] se podrían establecer las órbitas de las luminarias y de los planetas como resultantes de varios movimientos circulares y uniformes. Confió entonces a sus discípulos (y, aunque en esta tradición juega un cierto papel la leyenda, hay una base histórica cierta) que resolvieran este problema geométricamente, cosa que sólo consiguió uno de ellos: Eudoxo (c. 408-355 a.C.).

Eudoxo, de una forma precisa, aunque necesariamente complicada, proporcionó un modelo geométrico que consistía en un sistema de esferas homocéntricas o, a la latina, concéntricas, que giraban alrededor de la Tierra con distintos ejes, algunos apoyados en las esferas vecinas. Imaginó que a cada uno de los cinco planetas lo movían cuatro esferas concéntricas con la Tierra y clavadas una en otra. La esfera más externa es la esfera de las estrellas fijas, que con su rotación produce el movimiento diario. La segunda esfera, encajada en la primera, produce con su rotación el movimiento a lo largo de la eclíptica. La tercera está encajada en el ecuador de la segunda, la cuarta, encajada en la tercera de manera que los dos ejes de rotación formen un ángulo pequeño. Las dos últimas esferas giran en sentido opuesto, a velocidad uniforme e igual. La composición del movimiento de estas dos últimas esferas produce para el punto representativo del planeta un movimiento que se traduce en una trayectoria curva a la que Eudoxo llamó «*hipópede*», además de postular que los polos de las esferas que llevan cada planeta no están fijos,

sino que giran a su vez llevados por una esfera mayor, que es concéntrica respecto de la primera. Esta esfera mayor gira lentamente, también con velocidad uniforme, pero distinta de la anterior. Como no es suficiente con una segunda esfera, Eudoxo agrega a su modelo hasta 27 esferas rotantes con velocidades adecuadas para explicar los movimientos de los astros en la bóveda celeste, en especial los caminos retrógrados de los planetas. Calipo, discípulo de Eudoxo, aumentó las esferas a 34.

Con el modelo que se acaba de describir, si bien se puede explicar, al menos cualitativamente, el movimiento de los planetas como una combinación de la rotación uniforme de esferas concéntricas alrededor de ejes inclinados entre sí, no ocurre lo mismo con el hecho de que el brillo de los planetas varíe a lo largo del tiempo. Si cada planeta se movía sobre una esfera fija alrededor de una Tierra inamovible en el centro, el brillo del planeta debería permanecer constante. No obstante las deficiencias técnicas de tal modelo, la esfericidad del Universo y la importancia fundamental del movimiento circular uniforme se aceptará, a partir de tal planteamiento, como un hecho incuestionable. La teoría de Eudoxo es notable por su intento de proporcionar un marco matemático para la descripción de los cielos.

Aristóteles (-384 al -322), al igual que Platón, parte de la idea de un cosmos único y unitario, esférico y por tanto finito y, además sin vacío; un cosmos permanente al que no se puede asignar ni comienzo ni final, que es eterno y está dotado de una legalidad inmanente; gobernado por una inteligencia que dirige las cosas hacia el mejor fin, hacia el fin que les es propio; un cosmos, en suma, que es un orden bello, un orden de jerarquía desde la perfección de la periferia hasta la menor perfección del centro terrestre. Se trata de dos mundos, divididos por la esfera lunar: por debajo, *el mundo sublunar* o terrestre[13]; por encima, el

mundo celeste. Abajo está lo imperfecto y arriba lo perfecto; abajo existe el cambio y arriba lo eterno; abajo los hombres y arriba Dios.

Para Aristóteles, la Tierra, que es una esfera inmóvil[14], se encuentra en el centro[15] del universo y, alrededor de ella, incrustados en esferas concéntricas transparentes, giran los demás astros y planetas, arrastrados por el giro de las esferas en que se encuentran y que están movidas por una serie de motores que deben su movimiento a un último motor inmóvil[16], que actúa directamente sobre la última esfera, más allá de la cual ya no hay nada, la llamada esfera de las estrellas fijas (porque se suponía que las estrellas estaban incrustadas, fijadas, en esta esfera).

> «Puesto que todo móvil es movido necesariamente por algo (así, una cosa que se mueve en movimiento local por otra en movimiento) y, a su vez, ese motor es movido por otro móvil y éste por otro y así sucesivamente, es necesario que haya un primer motor y no se puede ir al infinito… Así pues, si todo móvil es movido necesariamente por algo —o bien por otro móvil o bien no— y si es movido por otro móvil, es necesario que haya un primer motor que no sea movido por ninguna otra cosa.»
>
> *Física*, VII, 1, 242 a 15-20; VII, 5, 256 a 13-16

> «El primer motor es, por tanto, ente por necesidad; y en cuanto que es por necesidad, es un bien y, de este modo, principio… Así pues, de tal principio penden el cielo y la naturaleza. Y es una existencia como la mejor para nosotros durante corto tiempo (pues aquel ente siempre es así; para nosotros, en cambio, esto es imposible), puesto que su acto es también placer… Si, por consiguiente, dios se halla siempre tan bien como nosotros algunas veces, es cosa admirable; y si se halla mejor, todavía más admirable. Y así es como se halla. Y tiene vida, pues el acto del entendimiento es vida, y es acto. Y el

> acto por sí de él es vida nobilísima y eterna. Afirmamos, por tanto, que dios es un viviente eterno nobilísimo, de suerte que dios tiene vida y duración continua y eterna; pues dios es esto…
>
> »Así pues, que hay una sustancia eterna e inmóvil y separada de las cosas sensibles, resulta claro por lo dicho. Queda también demostrado que no cabe que esta sustancia tenga ninguna magnitud, sino que carece de partes y es indivisible… Y también queda demostrado que es impasible e inalterable… Es, pues, evidente que entiende lo más divino y lo más noble, y no cambia; pues el cambio será a peor, y esto sería ya cierto movimiento… Por eso el intelecto se entiende a sí mismo, pues es lo más excelso, y su intelección es intelección de intelección.»
>
> *Metafísica,* XII, 7 y 9.

La envoltura exterior del Universo, el «primer cielo», es una esfera finita que contiene las estrellas fijas; dichas estrellas no tienen movimiento propio, pero la rotación uniforme del primer cielo les hace cumplir una revolución de 24 horas. El movimiento del primer cielo pone además en movimiento todas las demás esferas. No obstante, las órbitas circulares y uniformes que describirían los planetas alrededor de la Tierra, acomodadas a tales esferas, no concordaban con los hechos observados. Las estrellas no presentaban problemas, porque su movimiento es regular (movimiento diurno de Este a Oeste). El del Sol tampoco. La anomalía la presentaban los movimientos erráticos de los planeta ("errante", "vagabundo", es el significado del término planeta en griego). Y, si el movimiento en el mundo supralunar es circular uniforme, ¿por qué el conjunto de planetas no cumplían este requisito? Tales irregularidades fueron consideradas por Aristóteles como un fallo de perspectiva: el cosmos se mueve regularmente, pero desde la tierra "parece" que hay irregularidades. El fallo lo considera