

CIENCIA



EL ORIGEN DEL UNIVERSO

JUAN ANDRÉS SANLEÓN, EDUARDO RIAZA Y
RICARDO MORENO



**JUAN ANDRÉS SANLEÓN, EDUARDO
RIAZA Y RICARDO MORENO**

EL ORIGEN DEL UNIVERSO

ARGUMENTOS PARA EL SIGLO XXI



Colección: Argumentos para el siglo XXI
Director de la colección: Emilio Chuvieco
© Autor: Juan Andrés Sanleón, Eduardo Riaza y Ricardo Moreno
© Digital Reasons, 2016
www.digitalreasons.es
info@digitalreasons.es
Antonio Cumella, 16- 28030 Madrid (España)

Diseño de cubierta: Enrique Chuvieco, montaje. Imagen Dimi-
tri (Pixabay)

Diseño de interior: Enrique Chuvieco.

ISBN: 978-84-944601-9-7

Depósito Legal: Depósito Legal: M-36476-2016

Ficha bibliográfica: Sanleón, Juan Andrés; Riaza, Eduardo;
Moreno, Ricardo (2016): *El origen del universo*. Madrid, Digital
Reasons.

Impresión: Publicep. El papel utilizado en la impresión de este libro tiene certificación
ambiental FSC y están libres de cloro. Los residuos de la producción se gestionan por empre-
sas certificadas ambientalmente.
Impreso en España

Las afirmaciones incluidas en el libro son responsabilidad exclusiva del autor.
Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o
transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus
titulares, salvo excepción prevista por la ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español
de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra
(www.conlicencia.com; 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

ÍNDICE

PRIMERA PARTE: EL NACIMIENTO DE LA COSMOLOGÍA	5
1. Los comienzos	7
1.1 Las civilizaciones primitivas	8
1.2 Los primeros griegos	11
2. La astronomía como ciencia: la aplicación de la geometría ..	17
2.1 El comienzo: Eudoxo	18
2.2 El perfeccionamiento: Calipo	23
3. La cosmología como sistema	25
3.1 El sistema ideal: Platón	25
3.2 El sistema experimental: Aristóteles	27
4. Un método de cálculo	35
4.1 Primeros tanteos: Apolonio e Hiparco	35
4.2 El método de cálculo acabado: Ptolomeo	40
4.3 ¿Método de cálculo o sistema?: De Ptolomeo a Copérnico ..	43
5. La síntesis de sistema y cálculo	49
5.1 La Tierra no es el centro del Universo: Copérnico	49
5.2 Las órbitas no son circulares: Kepler	53
5.3 El universo se puede ver de cerca: el telescopio de Galileo ...	58
5.4 La unificación de las leyes celestes y terrestres: Newton	62
6. El cosmos se amplía	65
6.1 Los universos-isla de Kant	65
6.2 La Astrofísica moderna	66

SEGUNDA PARTE: LA COSMOLOGÍA ACTUAL	69
7. Las dimensiones del universo	71
7.1 Medida de distancias por paralaje.....	72
7.2 Método espectroscópico	73
7.3 Método de las cefeidas.....	74
7.4 Método de las Galaxias.....	75
7.5 Efecto Doppler.....	76
8. La expansión del universo	79
8.1 Ley de Hubble.....	81
8.2 La paradoja de Olbers	84
8.3 Principio cosmológico	88
9. Modelo de la gran explosión	91
9.1 Primer modelo del <i>Big Bang</i>	92
9.2 Teoría del estado estacionario	93
9.3 La radiación de fondo de microondas.....	97
9.4 El nuevo modelo del <i>Big Bang</i>	99
9.5 Caminando hacia el momento cero: etapas del Universo....	103
9.6 El modelo «inflacionario» o de «expansión rápida».....	112
9.7 Dificultades de estos modelos.....	114
9.7.1 Modelo del Big Bang estándar	114
9.7.2 Modelo inflacionario	117
10. El futuro del universo	121
10.1 ¿Universo abierto o cerrado?	121
10.2 Futuro de un Universo abierto	128
10.2.1 Si el protón es inestable	132
10.2.2 Si el protón es estable	135
10.3 Evolución de un Universo cerrado	136
10.4 La muerte térmica del Universo	141
11. ¿Física o meta-física?.....	147
11.1 Unas curiosas coincidencias.....	149
11.2 No hay coincidencias: el «Principio antrópico»	151
11.3 Algunas interpretaciones del «Principio antrópico»	153
11.4 Un extraño modo de razonar: Hawking	160
11.5 ¿Más allá de la Física?.....	162
12. Bibliografía.....	165
12.1 Libros	165
13. Glosario	169

PRIMERA PARTE: EL NACIMIENTO DE LA COSMOLOGÍA

El nacimiento de la Cosmología es similar al de cualquier otra ciencia experimental. El hombre comenzó observando los hechos de la naturaleza; en este caso, dirigiendo su mirada hacia el cielo. Al constatar el aspecto siempre cambiante del firmamento debió surgir el deseo de buscar un orden en el mismo: ¿los astros se mueven de un modo caótico o están dotados de movimientos regulares?

Hay una profunda convicción en el hombre de que las cosas no ocurren al azar. Y esta idea, tanto más sorprendente cuanto que parece anterior a toda experiencia, es la que puso en marcha el esfuerzo racional de tantos hombres para elaborar alguna teoría que explicara convenientemente el orden del Universo y a la vez, en etapas sucesivas, que permitiera predecir, con la mayor exactitud posible, dónde se podía encontrar un determinado astro en un momento concreto.

En esta primera parte, recorreremos este camino guiados por los principales actores de esta gesta científica que ha permitido al hombre actual llegar a unas teorías y a

una capacidad de predicción lejos del alcance de los antiguos. Evidentemente el camino no ha sido fácil y lineal y, con frecuencia, algunas ideas equivocadas han durado muchos siglos. Pero es interesante observar que, incluso esos errores han prestado su servicio a la ciencia porque han permitido estudiar cómo no es el mundo, que es ya un modo de saber. Los avances y retrocesos han permitido aproximar cada vez más el camino de la ciencia al camino de la verdad.

1. LOS COMIENZOS

El origen de la astronomía es casi tan antiguo como el hombre. Todos los pueblos a lo largo de su historia han sentido una profunda atracción por la contemplación del cielo nocturno. Aunque nuestra civilización va disminuyendo esa capacidad material de asombro, no consigue eliminarla del todo. Cuando se contempla la bóveda celeste en una noche sin Luna, el espectáculo es realmente inolvidable; el elevadísimo número de estrellas titilando en el cielo oscuro produce simultáneamente una sensación de infinitud en el Universo y otra correlativa de pequeñez en el hombre, de las que es difícil sustraerse.

Si se repite la observación al cabo de pocas horas, el espectáculo ha cambiado: las estrellas giran como formando parte de un enorme carrusel. Muchas de las que antes se veían, han desaparecido tras el horizonte, pero otras nuevas, en caprichosas agrupaciones, han venido a reemplazarlas. Con un poco de suerte y algo de pericia, se puede distinguir algún planeta. En definitiva uno se siente espectador de un cambiante escenario cuyo fin parece no ser otro que el propio recreo. Y este mismo espectáculo se ofrecía ya a los hombres más primitivos de la Tierra.

¿Qué sentían ellos al admirarlo? No es fácil saberlo. Pero sí podemos suponer que repitiendo sus observaciones noche tras noche (¡qué otra cosa podían hacer!) a lo largo de los años y transmitiéndose estos conocimientos de unos a otros, iniciarían una modesta ciencia astronómica. No ciertamente una ciencia en el sentido moderno de la palabra pero sí, al menos, un conjunto de conocimientos empíricos.

La misma sensación de grandiosidad del cielo y la pequeñez del observador puede que llevara al hombre a sentirse dominado por los astros. Así nacería un cúmulo de supersticiones, alguna de las cuales todavía perduran en muchas personas. Las raíces de estas creencias hunden sus raíces en la prehistoria, tal vez en el Paleolítico. Aunque es en el Neolítico, con la revolución agrícola, cuando tenemos constancia de las primeras ideas míticas relacionadas con el culto a esas luminarias.

1.1 Las civilizaciones primitivas

Todas estas ideas se configuran en el Oriente Próximo y fruto de ellas son la creación de distintos calendarios, la agrupación de las estrellas en constelaciones, la aparición de mitos en los que los astros se presentan como poderes superiores al hombre. Hay pues desde muy antiguo un culto a las estrellas, y un intento de predecir y dominar el futuro a través de ellas. Esto determina una observación cada vez más precisa de sus posiciones lo que, de algún modo, puede constituir un comienzo de la astronomía.

Pronto caerían en la cuenta de que esas luminarias del cielo servían para el cómputo del tiempo. El Sol marcaba claramente la diferencia entre el día y la noche. La Luna con sus fases presentaba un mismo aspecto al cabo de casi 30 días y servía por tanto para formar los meses. Al

cabo de 12 meses, las estrellas ofrecían un aspecto similar, lo que determinaba el año. Nacían así los primeros calendarios lunares, solares y mixtos.

Los sumerios en Mesopotamia y los egipcios en el Valle del Nilo, quizá durante el IV milenio antes de Cristo (a.C.), comenzaron la observación minuciosa del movimiento de los astros para confeccionar calendarios con fines agrícolas. Especialmente los egipcios necesitaban conocer exactamente el momento de la crecida del Nilo para poder determinar con éxito los momentos más apropiados de las principales tareas del campo: la siembra y la recolección.

Junto a esto, en la antigua Babilonia se produce una identificación de los astros con los dioses de su panteón. Así Shamash con el Sol, Sin con la Luna, Marduk con Júpiter, Nergal con Marte, Ishtar con Venus, etc. Se va originando así la Astrología: una especie de fatalismo sideral, según el cual los astros influyen decisivamente en los acontecimientos terrestres.

Es frecuente la interpretación de la Luna como un pastor de las estrellas entre pueblos tan distintos como Mesopotamia, la India, Finlandia, los Wachagga del África oriental, los celtas, etc. Aunque estas ideas son importantes en el desarrollo de las civilizaciones y en el estudio de la historia de las religiones, nos limitaremos a los datos estrictamente astronómicos.

¿Hubo algún intento serio para comprender y explicar las observaciones astronómicas que se realizaban? No es fácil dar una respuesta segura a esta pregunta, pero sí sabemos que hicieron observaciones muy detalladas de los cielos. Agruparon las estrellas de modo artificial en constelaciones que les sugerían figuras de animales o dioses. Describieron además una serie de astros que llamaron planetas (del griego *planétes* = errante) porque no se mo-

vían uniformemente como las demás, sino que parecían tener un movimiento de oeste a este, más o menos rápido, dentro del movimiento general de las demás estrellas.

Estos planetas eran siete: Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno. De ellos, el primero, la Luna, completaba un círculo hacia atrás en poco menos de 30 días y el último, Saturno, en unos 29 años. Los habitantes de Babilonia, y quizá antes los sumerios, los usaron para designar los siete días de la semana, costumbre que aún perdura en algunas lenguas modernas. También es invento sumerio el dividir el día en 24 horas y la división sexagesimal de la hora en minutos y segundos.

Pero además, este movimiento retrógrado de los planetas no era del todo caprichoso, sino que tenía lugar dentro de una estrecha franja de constelaciones, que iban sucediéndose a lo largo del año como fondo a la salida y la puesta del Sol. Esa franja fue denominada eclíptica porque solo era posible observar eclipses cuando la Luna la cruzaba, y al conjunto de constelaciones se le llamó zodíaco (del griego zódion = figurilla de animal).

El equinoccio de primavera (cuando el día y la noche tienen igual duración) determinaba el comienzo del año en Mesopotamia. En Egipto, en cambio, el comienzo del año se determinaba por la aparición de la estrella *Sepedet* (Sirio, de la constelación del Can Mayor, que los griegos tradujeron por *Sothis*) sobre el firmamento de *Memfis* (lo que equivale a nuestro 17 de julio). El año civil tenía 12 meses de 30 días, es decir, 360 días y a estos se les añadía otros 5, que luego los griegos llamaron *epagómenos* (del verbo griego *epágo* = añadir). Este año tenía una diferencia de unas seis horas respecto al astronómico, lo que arreglamos nosotros poniendo un año de 366 días cada 4 años: un año bisiesto, palabra que procede del latín *bisextus* = dos veces sexto, ya que se añadía

después del sexto día de las calendas de marzo, nuestro 24 de febrero. En definitiva, el año civil y el determinado por la estrella *Sothis* no coincidían y se hacía necesario apuntar el desfase entre ambos. Al cabo de 1460 años, (es decir al cabo de 365 años bisiestos) volvían a coincidir. Sabemos que en 1317 a.C. se produjo una de estas coincidencias, por lo tanto este calendario debió introducirse en Egipto como muy tarde a comienzos del III milenio a.C., unos cien años antes de construirse las grandes pirámides de Keops, Kefrén y Micerino. O incluso antes, si como es lógico suponer, hubo una serie de tanteos previos.

Los egipcios, como los mesopotámicos, no manifestaron una gran inquietud por explicar la configuración del Universo. Su curiosidad no se dirigía hacia la Cosmología, sino hacia la Astrología: la predicción del porvenir a partir de la posición de los astros. En cuanto a la Cosmogonía, pensaban que el Universo se había formado por la acción ordenadora de los dioses sobre una materia preexistente.

1.2 Los primeros griegos

Los griegos, gracias al florecimiento de la filosofía, muestran una gran inquietud cosmológica y son ellos los primeros en aplicar sistemáticamente la geometría al estudio de los movimientos de los astros, aunque esto no ocurre desde los comienzos.

En el periodo arcaico, la época de Homero y Hesiodo, la postura de los griegos difiere poco de la de los mesopotámicos o egipcios. Su preocupación es la Cosmogonía, es decir, cómo se formó el mundo. Los agentes principales son los dioses y la explicación está formada por hermosos mitos. Pero no es la razón la que trabaja

sobre los datos observados sino la imaginación, movida por la inspiración poética.

Con razón decía Aristóteles que el mito no puede ser considerado como ciencia porque las antiguas mitologías solo transmiten un fondo tradicional sin dar prueba alguna de sus doctrinas. En oposición a estos, coloca a los que «hablan dando razón de lo que dicen». Aristóteles establece así la frontera entre el mito y la filosofía, situándola en la duda, la prueba y la fundamentación.

Ya no se vive de un modo ciego del patrimonio espiritual de la comunidad, sino que el individuo reelabora, examina y prueba por sí mismo lo que ha de pensar y tener por verdadero. Evidentemente este ideal no se cumple en ninguno de los «científicos» griegos, como tampoco en los actuales. Los supuestos instrumentos racionales de las teorías no siempre están fundados racionalmente. Y esto no solo por un fallo del método, sino porque el hombre no consigue desprenderse de sus prejuicios y sus creencias y con frecuencia se deja arrastrar por ellos y por sus intuiciones. En el fondo es imposible no tener prejuicios. El criterio de división no lo establece la presencia o ausencia de ellos. Más bien los hombres se dividen en dos grupos: los que tienen prejuicios y los reconocen y los que los tienen pero no lo saben o no quieren reconocerlos.

Los primeros filósofos de la naturaleza aparecen en Jonia, en la costa del Asia Menor. En ellos, la observación de la naturaleza ocupa un primer plano. Algunos de ellos son los siguientes.

Tales de Mileto vivió aproximadamente entre los años 624 y 546 a.C. Se cuenta de él que una noche, abstraído en la contemplación del cielo, cayó en un hoyo, lo que provocó la risa de una muchacha tracia que comentó que mientras pretendía conocer los cielos, no sabía ni

siquiera el suelo que pisaba. Si la anécdota es cierta, constituye todo un paradigma del proceso científico: intentando mirar más lejos, no se ve lo inmediato. Por esta causa, las caídas son múltiples, pero después de cada una de ellas hay un nuevo avance. En cambio, los que como la muchacha tracia se fijan cuidadosamente en el suelo que pisan, quizá no caigan nunca, pero pagan un precio demasiado alto: nunca verán nada situado más allá de sus narices.

Respecto al Universo, Tales suponía que estaba formado por una masa de agua hueca, en la que flotaba la Tierra como un disco plano. El Sol, la Luna y las estrellas no eran más que bolas incandescentes que giraban por encima de la Tierra.

Anaximandro vivió también en Mileto (610-545 a.C.) y fue contemporáneo de Tales. Concebía la Tierra como un cilindro cuyo diámetro era tres veces mayor que su altura. Es pues prácticamente un disco, en cuya parte superior vivimos, y no se apoya sobre nada. Permanece en equilibrio donde está porque, según sus palabras, equidista de todas las demás cosas. A una distancia de nueve veces el radio del disco de la Tierra gira la esfera de las estrellas; a una distancia doble, la de la Luna; y a una distancia triple, la del Sol.

Aunque **Pitágoras** nació en Samos (Asia Menor) en el 570 a.C., emigró al Sur de Italia (Crotona), cuando contaba unos cuarenta años y, finalmente, se estableció en Metaponto, donde murió en el año 496 a.C.

En Crotona, Pitágoras estableció un grupo de seguidores que se llamó el antiguo círculo pitagórico. A él perteneció **Filolao**, que en el siglo V afirmó que la Tierra no ocupaba el lugar central del Cosmos y que las estrellas eran fijas y su movimiento aparente se debía a la rotación de la Tierra. Además los planetas se movían en grandes

órbitas de oeste a este. Había un fuego central, nunca observable desde nuestro hemisferio, y a su alrededor giraba todo (excepto las estrellas fijas), incluso una anti-Tierra que tampoco podía observarse desde el lugar que habíamos.

En Tarento tuvo su sede el grupo pitagórico posterior, que perduró hasta el siglo IV. Entre sus miembros, Hicetas de Siracusa, Ecfranto y Heráclides Póntico enseñaron que la Tierra se mueve alrededor de su eje. Este último influyó en Aristarco de Samos, como veremos más adelante.

Heráclito de Éfeso (544-484 a.C.) era llamado el oscuro por los antiguos. Era un individuo poco sociable, que gustaba de mantenerse apartado del vulgo. En uno de sus fragmentos conservados se lee respecto a la multitud: ¿Cuál es su sentido o su entendimiento? Crean a los cantantes callejeros y tienen por maestro al sentir de la plebe (¡Palabras perfectamente aplicables a una gran parte de nuestra cultura científica!).

Su idea fundamental era que todo fluye y nada permanece: «No puede uno bañarse dos veces en el mismo río». Sin embargo, dentro del continuo devenir, Heráclito percibe un orden y armonía, que dan sentido al mundo. Este orden es el responsable de la existencia de un eterno retorno, unos ciclos que se repiten cada 10800 años. Se apunta aquí una nueva idea cosmológica: la eternidad, o más propiamente la infinitud del tiempo.

Parménides de Elea (540-470 a.C.) llega a la misma idea de la eternidad del Cosmos por un camino diametralmente opuesto al de Heráclito. No solo no hay muchos mundos, sino que el ser en general es solamente uno, universal y siempre el mismo. Sin cambio y sin movimiento, el Cosmos no conoce el devenir y es semejante a una esfera igual y uniformemente redondeada. El Uni-

verso es un sistema de esferas concéntricas y la Tierra tendría que ser de la misma forma. Esta es la primera sugerencia de un mundo esférico y concéntrico. En la parte externa estaría Venus; más cerca de la Tierra, el Sol y la Luna, ambos del mismo tamaño; y en equilibrio y en el centro, la Tierra, también esférica.

Empédocles (492-432 a.C.) nació en Agrigento (Sicilia). Fue un personaje polifacético: sacerdote, «vidente», místico, predicador ambulante y también hombre de ciencia. Es el primero en admitir cuatro sustancias fundamentales: fuego, agua, aire y tierra, que son como las cuatro raíces del ser, indestructibles y últimas. Aquí está ya el germen del concepto moderno de elemento químico.

Según Empédocles, el amor reunió en un remolino las partículas elementales dispersas y se produjo así el primer mundo corpóreo. En un segundo remolino, se separaron la bóveda celeste, el aire y el éter y, por rotación de la Tierra, el agua. Por efecto de los rayos solares brotaron sobre la tierra los primeros seres vivientes de formas monstruosas, que fueron evolucionando hasta llegar a las formas actuales. El Universo es esférico y finito. La esfera de las estrellas fijas es sólida y transparente y en su interior los planetas se mueven libremente *como abejas*.

Demócrito de Abdera (460-370 a.C.) ofrece en sus escritos intuiciones que podríamos llamar modernas. Según él, existen los átomos (todos iguales en cuanto a sus cualidades, pero de distintos tamaños y formas), y el espacio vacío que es infinito. Además, según refiere Simplicio, los átomos se mueven eternamente en el seno del vacío infinito, y ello por una sola fuerza. No hay pues más que cuerpos y movimiento, lo que precisamente constituye la base de la moderna Física. La Tierra, sin embargo, se encuentra en el centro.

Anaxágoras (500-428 a.C.) era natural de Clazomene (Asia Menor), y de allí viajó a Atenas pero tuvo que huir a Lámpsaco porque había afirmado que el Sol no era un dios sino un conjunto de piedras incandescentes. Afirmó también que el brillo de la Luna se debe al reflejo del Sol; y que los eclipses de Luna se deben a la sombra de la Tierra lo que le llevó también a concluir que esta era una esfera y no un disco. Ordenaba los planetas según la lejanía a la Tierra del siguiente modo: la Luna, la más próxima a la Tierra y después el Sol, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno.

Jenófanes (570-475 a.C.) nació en Colofón (Asia Menor), pero acabó estableciéndose en la cercana ciudad de Elea. Desde el punto de vista de la astronomía, tuvo una rara habilidad para opinar en contra de los datos de su tiempo. Para él las estrellas se movían en línea recta pero a distancias tan enormes que su movimiento nos parece circular. Aparece así, por primera vez en la Historia, una asombrosa anticipación: ¡El Universo se encuentra en expansión!

2. LA ASTRONOMÍA COMO CIENCIA: LA APLICACIÓN DE LA GEOMETRÍA

La Cosmología como ciencia que estudia la estructura del Universo tuvo sus orígenes en Grecia, cuando se comenzó a aplicar la Geometría para determinar la posición de los astros. El iniciador de esta fecunda idea fue **Eudoxo**. Pero antes de exponer su pensamiento en Cosmología (quizá habría que decir mejor en astronomía), conviene que fijemos nuestra atención en los avances de lo realmente observado, dejando aparte las intuiciones y sugerencias de los antiguos. Podemos afirmar que tanto en Grecia, como en Mesopotamia y en Egipto, se reconocían tres hechos importantes:

1. Las estrellas fijas giran alrededor de la tierra cada 24 horas.

2. El Sol, la Luna y los planetas se mueven a distintas velocidades sobre una franja de constelaciones, de oeste a este, es decir, en sentido inverso a la marcha general de las estrellas fijas.

3. El movimiento de algunos planetas es caprichoso: unas veces avanzan, otras retroceden y otras incluso permanecen estacionarios.

Estos eran los hechos que había que explicar, pues el espíritu griego parece incapaz de limitarse a observar, necesita introducir la racionalidad en el Cosmos. Y a esta tarea van a dedicar sus esfuerzos **Platón, Eudoxo y Aristóteles**, aunque por caminos diferentes.

Un ejercicio importante para evitar anacronismos, tan frecuentes en la interpretación de la Historia, es el de desprendernos de las soluciones que nosotros damos ahora a estas mismas cuestiones. Es muy fácil dar una respuesta cuando una multitud de hombres inteligentes han unido sus esfuerzos para aclarar algún problema, pero no lo es tanto para el primero. Por eso es tan importante, al juzgar el pensamiento de los antiguos, situarse en su tiempo y usar los conocimientos que ellos tenían. Esto nos llevará a valorar convenientemente el increíble esfuerzo intelectual de estos hombres en su intento de descubrir la racionalidad en el conjunto de observaciones realizadas con la escasa precisión de los instrumentos que tenían a su alcance.

2.1 El comienzo: Eudoxo

Eudoxo de Cnido (408-355 a.C.) fue el primer griego que, según refiere Simplicio en su libro *De Caelo*, se ocupó de encontrar una respuesta a los tres tipos de movimientos observados en los astros y que acabamos de señalar. Conviene recordar que para él, el punto de partida seguía siendo el mismo que para Platón; a saber, que cualquiera que fuera el movimiento de los planetas, sus órbitas debían ser circulares. Esta idea iba a durar hasta Kepler.

En el paso del siglo V al IV a.C., la esfericidad de la Tierra es ya un hecho prácticamente aceptado en Grecia. He aquí las principales razones (Figura 1):

1. La Tierra no puede ser plana porque entonces el Sol, la Luna y las estrellas saldrían y se pondrían a la misma hora para todos los observadores. En cambio se sabía que, por ejemplo, las sombras que se producen en la puesta del Sol, van avanzando de este a oeste.

2. La Tierra no puede ser cilíndrica, porque entonces todas las estrellas serían circumpolares para los que vivieran en la base superior (es decir siempre se verían las mismas a cualquier hora de la noche) y ninguna lo sería para los que vivieran en la superficie lateral del cilindro.

3. La Tierra debe ser esférica porque cuanto más al norte se desplaza un observador, ve la estrella polar más alta en el horizonte; por tanto debe levantar más la cabeza para verla. De hecho, el ángulo que forma la línea visual a la estrella polar con el horizonte, es la latitud del lugar. Además, cuanto más al norte, los rayos del Sol al mediodía caen más oblicuos, es decir, las sombras son más alargadas. Y en tercer lugar porque cuando aparece un barco por el horizonte, lo primero que se ve son las velas y finalmente el casco; y al revés cuando desaparece.

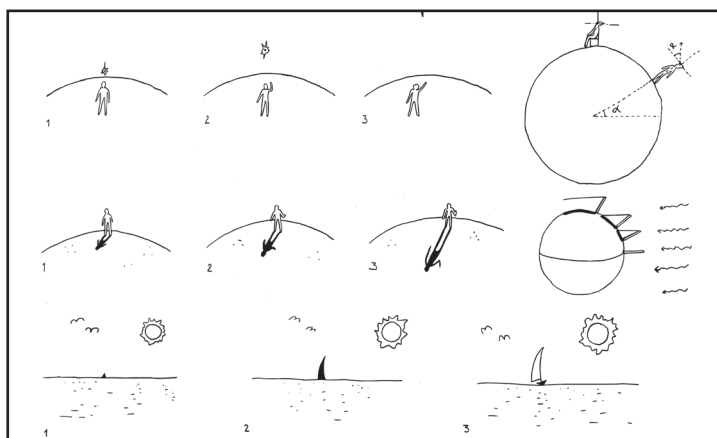


Figura 1: esfericidad de la Tierra.

Así pues, Eudoxo supone que la Tierra es esférica y que además está inmóvil en el centro del Universo. Es una conclusión absolutamente coherente con los resultados de los conocimientos astronómicos y físicos del momento. Más adelante examinaremos los argumentos de Aristóteles para apoyar esta hipótesis y veremos hasta qué punto son coherentes, si conseguimos desprendernos de lo que ahora conocemos. Son como las conclusiones provisionales de un detective al conocer los primeros detalles de un crimen. Nuevos hechos se descubrirán después, pero nuestro detective, todavía no los conoce.

Para Eudoxo, el movimiento de cada planeta se puede explicar adecuadamente (teniendo en cuenta el grado de exactitud de las observaciones de la época) suponiendo que está movido por cuatro esferas (Figura 2): la primera es la de las estrellas fijas, que gira a razón de una vuelta cada día y explica el movimiento de las estrellas. La segunda gira dentro de la primera con una velocidad de una revolución cada «año» del planeta. Los ejes de estas dos esferas forman un ángulo de 23 grados y medio, lo que hace que el planeta se mueva en la zona de la eclíptica. Las esferas tercera y cuarta, situadas dentro de la segunda, giran en sentidos opuestos pero a la misma velocidad con ejes formando distintos ángulos. De este modo, proporcionaba al planeta una oscilación en latitud a través del zodiaco y salvaba su movimiento aparente en forma de bucle.

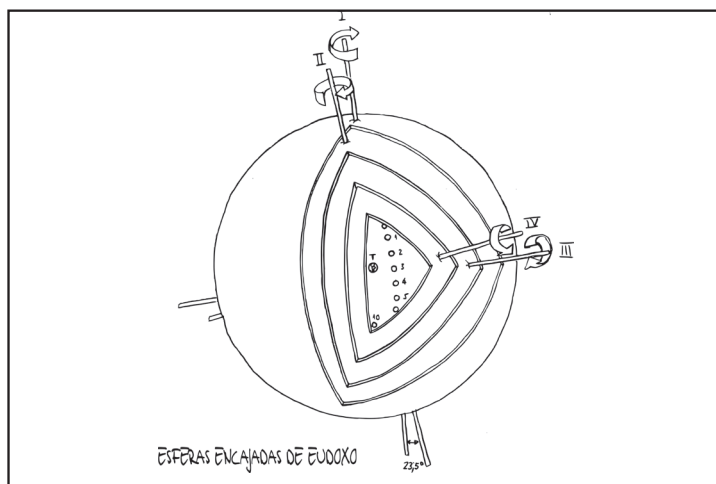


Figura 2: esferas encajadas de Eudoxo.

Eudoxo conseguía de esta forma explicar los movimientos «aberrantes» del Sol, la Luna y los planetas, tal como pueden observarse en la realidad (Figura 3).

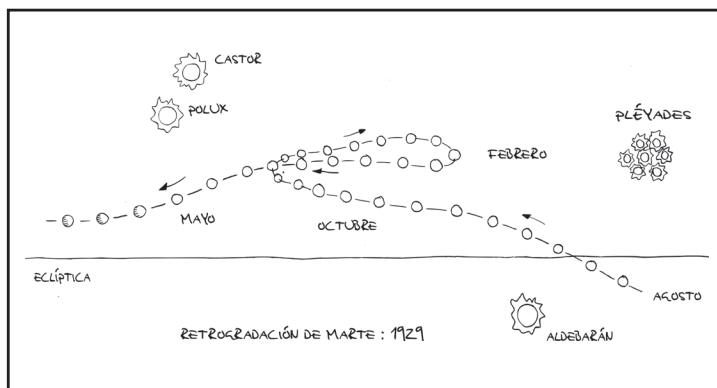


Figura 3: retrogradación de Marte: 1929.

Es cierto que este sistema no era muy útil para predecir los acontecimientos futuros, pero al fin y al cabo era una explicación racional mejor que las anteriores.

Desde nuestra situación de «hombres modernos» es fácil reprochar a los antiguos que no hubieran hecho observaciones más detalladas para disponer de una mayor abundancia de datos, pero esta es una crítica gratuita. Su problema no era la falta de observaciones; al contrario, tenían demasiados datos que conciliar, lo que necesitaban era la reflexión. ¡Antes de buscar nuevos problemas, debían solucionar los que ya tenían!

Es interesante señalar que Eudoxo trató los movimientos de los planetas de uno en uno, nunca todos a la vez. Es decir, no pretendió construir un sistema cosmológico. Esta maquinaria simplemente explicaba los movimientos de los planetas y permitía el cálculo, pero no pretendía representar la realidad. Según Eudoxo, para el Sol bastaban tres esferas; para cada uno de los planetas, en cambio, eran necesarias cuatro.

En el caso de Saturno, Júpiter y Mercurio, el sistema de Eudoxo era capaz de dar razón de los movimientos en longitud (en latitud, no tanto); el movimiento de Venus quedaba explicado más deficientemente; y con Marte fracasaba por completo.

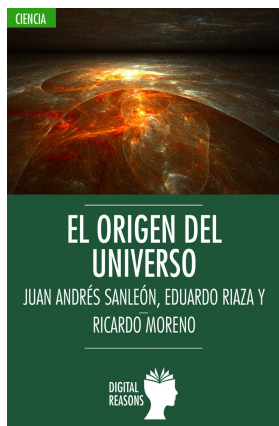
El hecho de que Eudoxo no pudiera predecir el comportamiento de cada planeta con precisión para ellos era secundario. Lo verdaderamente importante es que sus concepciones geométricas ponían de manifiesto que los movimientos «aberrantes» de los planetas se podían introducir en un marco inteligible del Universo: el mundo era de nuevo pensable, lo que colmaba el ideal griego de racionalidad. El camino comenzaba a despejarse y otros podrían continuar por él.

2.2 El perfeccionamiento: Calipo

Calipo refinó esta explicación añadiendo dos esferas más al Sol y a la Luna y una más a cada planeta, con lo cual logró que la correspondencia entre modelos geométricos y fenómenos observados fuese prácticamente exacta, dentro de los límites de precisión alcanzables entonces por las observaciones.

No nos detendremos en los razonamientos de Calipo, ciertamente complicados pero eficaces para el cálculo de la posición del Sol y de los planetas en el cielo. Será suficiente con decir que por este camino concreto hoy sabemos que serían necesarias seis esferas para conseguir un modelo correcto capaz de predicciones exactas.

¿Quieres seguir leyendo?



Acabas de leer el comienzo de *El origen del universo*, de Juan Andrés Sanleón, Eduardo Ríaza y Ricardo Moreno: la introducción a la primera parte y los dos primeros capítulos. El libro completo recorre la cosmología desde la mirada de los antiguos hasta el Big Bang y el futuro del universo, y termina preguntándose dónde acaba la Física y dónde empieza lo que va más allá de ella.

Comprar el libro completo >

bibliotecaonline.es/el-origen-del-universo

QUÉ ENCONTRARÁS EN EL LIBRO

- **El nacimiento de la cosmología.** De las civilizaciones primitivas y los primeros griegos a Eudoxo, Platón, Aristóteles, Ptolomeo, Copérnico, Kepler, Galileo, Newton y los universos-isla de Kant.
- **Dimensiones y expansión del universo.** Cómo se miden las distancias (paralaje, cefeidas, efecto Doppler), la ley de Hubble, la paradoja de Olbers y el principio cosmológico.
- **El modelo de la gran explosión.** El Big Bang y el estado estacionario, la radiación de fondo de microondas, las etapas del universo, el modelo inflacionario y sus dificultades.
- **El futuro y las preguntas últimas.** ¿Universo abierto o cerrado?, la muerte térmica, el principio antrópico, Hawking y la cuestión de si hay algo más allá de la Física.

Con glosario final de términos.

Digital Reasons

bibliotecaonline.es

pedidos@bibliotecaonline.es

ISBN (papel): 978-84-944601-9-7



Escanea para comprar