



**Sol, lunas  
y planetas**  
Erhard Keppler

**Biblioteca  
Científica  
Salvat**

# **Sol, lunas y planetas**

Erhard Keppler

**SALVAT**

Versión española de la nueva edición alemana de la obra *Sonne, Monde und Planeten*,  
publicada por R. Piper & Co. Verlag de Munich

Traducción: DIORKI Traductores

Artur Klein (para la nueva edición)

Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass

*Escaneado: thedoctorwho1967.blogspot.com.ar*

*Edición digital: Sargont (2018)*

© 1994 Salvat Editores, S.A., Barcelona

© R. Piper & Co. Verlag, Munich

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)

ISBN: 84-345-8909-5 (Volumen 29)

Depósito Legal: B-1552-1994

Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona

Impresa por Printer, i.g.s.a.. Enero 1994

*Printed in Spain*

# ÍNDICE

## I. PREFACIO

## II. HOMBRE Y OPINIONES

EVOLUCIÓN DE NUESTROS CONOCIMIENTOS SOBRE EL SISTEMA PLANETARIO

## III. EL SISTEMA SOLAR: CONSIDERACIONES ASTRONÓMICAS

## IV. MERCURIO, VENUS, LA TIERRA, MARTE: LOS PLANETAS INTERIORES

## V. LA TIERRA, EL SOL, EL HOMBRE Y EL CLIMA

## VI. JÚPITER, SATURNO, URANO, NEPTUNO, PLUTÓN: LOS PLANETAS EXTERIORES

## VII. OTROS MATERIALES: ASTEROIDES, COMETAS, METEORITOS, GAS Y POLVO

## VIII. LAS LUNAS DE LOS PLANETAS

## LÁMINAS

## IX. EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR. SU FINAL

## X. CÓMO ES EL INTERIOR DE UN PLANETA Y CÓMO SE CONOCE

## XI. EL MAGNETISMO DE LOS PLANETAS

## XII. LAS ATMÓSFERAS DE LOS PLANETAS

## XIII. PARTÍCULAS CON CARGAS ELÉCTRICAS EN LOS CAMPOS MAGNÉTICOS: LAS MAGNETOSFERAS DE LOS PLANETAS

## XIV. LA HELIOSFERA: LA FÍSICA DEL PLASMA CÓSMICO

## XV. CONCLUSIÓN

## APÉNDICE 1

LAS DISTANCIAS EN EL SISTEMA SOLAR Y FUERA DE ÉL. NUESTRO ENTORNO EN EL COSMOS

## APÉNDICE 2

LA PRESIÓN DE RADIACIÓN DE LA LUZ

## APÉNDICE 3

LA LEY DE TITIUS-BODE

[APÉNDICE 4](#)

EL MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS

[APÉNDICE 5](#)

LOS PUNTOS DE LIBRACIÓN: LA SITUACIÓN DE LOS «TROYANOS»

[APÉNDICE 6](#)

FUERZAS SOBRE CUERPOS EN ROTACIÓN

[APÉNDICE 7](#)

DESINTEGRACIÓN RADIATIVA Y MÉTODOS DE DATACIÓN

## I. PREFACIO

La astronomía o la astrofísica son temas relativamente populares que han sido estudiados a menudo en libros fácilmente inteligibles. Sin embargo, durante mucho tiempo los planetas han estado en cierto modo marginados porque desde el punto de vista astronómico no existía nada nuevo que contar. La realidad es que la física de los planetas sólo se ha desarrollado en los últimos veinte años y que, por tanto, apenas existe bibliografía para recomendar a quien desee obtener una visión general sobre el estado actual de nuestros conocimientos acerca de los planetas, del espacio más próximo que nos rodea y de nuestro entorno más lejano. Éste es el motivo que me ha llevado a escribir este libro.

Pero no sólo falta una bibliografía fácilmente inteligible sobre la materia. Carecemos también de una monografía que sirva de manual. Por ello he ido un poco más allá en la confección del libro y me he ocupado de algunos aspectos más detalladamente de lo que cabría esperar. Las tablas 3-2 y 8-1, por ejemplo, recogen todas las cifras que conocemos en la actualidad sobre las lunas y los planetas; estos datos corresponden a los conocimientos existentes a finales de 1989.

También he pretendido, especialmente en la descripción de nuestro planeta, mostrar relaciones, explicar causas, llamar la atención sobre la sensibilidad de los procesos, dejar ver que los conocimientos sobre otros planetas nos ayudan a conocer mejor la Tierra. Todo ello resulta válido al hablar tanto de la física de los planetas como al referirse a la del Sistema Solar. Para comprender los múltiples peligros que acechan a nuestro medio ambiente hay que conocer la física de ese medio ambiente. Por desgracia, los jóvenes salen de nuestras escuelas con unos rudimentarios conocimientos

de matemáticas, y con nociones casi nulas de física. No es de extrañar, pues, que los debates sobre el medio ambiente, y en especial los relacionados con la utilización de la energía nuclear, tengan casi siempre un carácter predominantemente emocional y sólo en contadas ocasiones alcancen una dimensión técnica.

Este libro sobre nuestro mundo está escrito en el lenguaje de las ciencias naturales. He preferido mantener un lenguaje fácilmente inteligible, por lo que he prescindido de las fórmulas matemáticas. Mi intención es que el libro sea comprensible para cualquier tipo de lector; por otra parte, se pueden pasar por alto algunos puntos, ya que apenas se hace referencia a capítulos anteriores. Por todo ello confío en que esta obra sea tanto un libro de lectura como de consulta. También pretende hacer reflexionar, en la medida en que se ocupa de la historia de los planetas, de sus orígenes... y de su final. Refleja el nivel de nuestros conocimientos.

Me gustaría mostrar mi agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a escribir este libro. Especial reconocimiento merecen la doctora R. Lüst, los profesores Kippenhahn y Pfozter y el doctor Musmann por la revisión crítica del manuscrito y por sus numerosas correcciones y comentarios. I. Schrader se ha hecho cargo del manuscrito y de las correcciones correspondientes; a ella y a todos los colaboradores de la editorial Piper, mi más profundo agradecimiento por sus consejos y ayuda.

ERHARD KEPLER

## II. HOMBRE Y OPINIONES

### EVOLUCIÓN DE NUESTROS CONOCIMIENTOS SOBRE EL SISTEMA PLANETARIO

#### 2.1. LOS PRIMEROS TIEMPOS

Durante el neolítico se desarrollaron culturas de gran relieve en diversos lugares de la Tierra en los que reinaban unas condiciones climáticas favorables, el suelo era fértil y había agua, como en los ríos Éufrates, Tigris, Nilo, Indo, Hoang-ho y en América Central. La desecación de amplias zonas y la formación de un cinturón desértico obligaron al hombre a convivir en los fértiles oasis que constituían los ríos; la proximidad espacial determinó la adaptación social. A consecuencia de ello se desarrolló la técnica como medio de ayuda en el trabajo; surgieron ideas (religión) y formas de expresión comunes (lengua, arte). Pronto se alcanzó una superproducción de alimentos, de modo que algunos miembros de aquellos grupos sociales pudieron dedicarse a actividades que no estaban destinadas a la producción de tales alimentos: la sociedad se diferenció.

Ya en esta primera fase de la evolución de la cultura humana surgió un interés por el Sol, la Luna y las estrellas: por un lado vieron la luz las primeras ideas —generalmente especulativas— acerca del «mundo»; por otro, se desarrolló una descripción exacta basada en la observación, que tomó la forma de la matemática y la astronomía. Los conocimientos geométricos empezaron a transmitirse a partir del año 5000 a.C., y curiosamente lo hicieron en casi todas las culturas a la vez (de la americana es bien poco lo que sabemos). El supuesto carácter supraterráneo llevó desde un principio a la astronomía al ámbito de lo religioso y la dejó, con ello, bajo el control de los sacerdotes.



Por aquella época aparecieron en Mesopotamia los sumerios, sobre cuyo origen no tenemos más datos; un poco más tarde también encontramos sus huellas en Egipto. Bajo su influencia, la cultura de aquellas zonas adquirió un rápido y variado desarrollo. Una importante condición para este florecimiento cultural fue la invención de la escritura, que debe situarse en torno al año 3000 a.C. En seguida se extendió a las gentes del Indo y a Egipto.

Igual importancia revistió la extraordinaria invención de un sistema de numeración que recuerda a nuestro sistema decimal. Mientras que el sistema decimal, tal como apuntó Aristóteles, se halla en relación con los 10 dedos de nuestras manos, los babilonios —como se denominó más tarde al producto de la mezcla de los sumerios y de los otros pueblos— apreciaron las ventajas de un número base divisible entre muchos números sin resto y utilizaron el 12, y más tarde el 60, como número base (el 60 es divisible entre diez números sin resto, mientras que el 10 sólo es divisible entre dos de ellos). Los babilonios trabajaron con este sistema numérico, y la matemática y la astronomía conocieron un gran auge. Establecieron la duración del año (los egipcios conocían ya el concepto de «año» en el 4000 a.C.), que todavía no se había fijado con exactitud, en 360 días, agrupados en 12 meses de 30 días,—de acuerdo con los 360 grados del círculo. El número 60 se introdujo, así, tanto en la medición de los ángulos como en la del tiempo, y se ha mantenido hasta nuestros días. Dado que los fenómenos naturales no coincidían con el calendario, más tarde se añadieron 5 días y se alargó el año a 365 días.

Los egipcios, que fijaban el comienzo del año en la aparición de la estrella Sirio, en la constelación del Perro Mayor porque al principio coincidía con el desbordamiento anual del Nilo, apreciaron a lo largo de su historia que, a pesar del año de 365 días, los fenómenos naturales y el calendario seguían sin coincidir. Por ello, unos dos siglos antes de nuestra era y después de más de un milenio de observación (!), añadieron cada cuatro años un día más, con lo que fijaron la duración del año en 365,25 días. Esta práctica se

ha mantenido porque César, en su reforma del calendario, se dejó aconsejar por un astrónomo egipcio.

Alrededor del año 2000 a.C. hicieron su aparición en la historia los griegos, cuyo origen, del que, al igual que en el caso de los sumerios, no existen huellas, fue probablemente indogermano. Hacia el 1440 a.C. habían conquistado Creta y la extinción del Imperio hitita alrededor del año 1200 a.C. les permitió colonizar la costa occidental del Asia Menor.

Lo que les diferenciaba de los babilonios y los egipcios era su distinta actitud ante los hechos de la naturaleza y ante los conocimientos adquiridos. Aunque entre los primeros los sacerdotes recogían informaciones (y las evaluaban con ciertas limitaciones), en esencia describían de un modo contemplativo los fenómenos del mundo (lo que en el extremo oriente ha predominado hasta los tiempos modernos en la filosofía y la ciencia); los griegos, en cambio, comenzaron a interesarse por cómo podían entenderse las observaciones realizadas. Eran un pueblo distinto, más libre, más imparcial que sus vecinos; con los griegos comenzó lo que hoy entendemos por «actuación científica». En la actualidad solemos relacionar el surgimiento de esta nueva actitud con la figura de Tales de Mileto, que nació alrededor del 640 a.C. y vivió 78 años.

Mileto se convirtió en seguida en una próspera ciudad comercial (se estima que en aquellos tiempos vivían en Grecia tres millones de personas) que mantenía relación con los lugares más importantes de Oriente. No es extraño que, con los bienes comerciales, llegaran también los bienes culturales de otros pueblos. Los griegos adoptaron la escritura fenicia (que en un principio constaba sólo de 22 letras) hacia el año 1100 a.C., transformando en vocales algunas consonantes superfluas. De este modo surgió la primera escritura fonética (a partir del alfabeto griego se desarrollaría más tarde el latino). Pero los griegos adoptaron también el sistema decimal: en este hecho hay que ver el motivo más importante del desarrollo de nuestra cultura occidental. Los jonios tuvieron acceso a los papiros egip-

cios hacia el año 600 a.C., con lo que les fue posible desarrollar una escritura. Sin embargo, no nos ha llegado ningún texto de los primeros filósofos jonios. Aristóteles fue, sin duda, el primer escritor que ocasionalmente hizo referencia a los trabajos de filósofos anteriores.

En esta próspera ciudad de la costa occidental del Asia Menor, Mileto, comenzaron a destacar por primera vez en la historia personalidades individuales. Tales, una de esas personalidades, tomó el camino de las especulaciones — naturalmente— cosmológicas. El agua del océano es «el principio y origen de todas las cosas». Introdujo el concepto de los «primeros principios», sobre los que se podía basar el pensamiento. Los primeros principios no se pueden explicar: son evidentes por sí mismos. En sus viajes a Egipto, el pensador de Mileto tuvo probablemente acceso a los conocimientos astronómicos de los egipcios. Esto y sus posteriores aportaciones a la geometría le convirtieron en una destacada figura de los primeros momentos del pensamiento griego. Según narra Herodoto, predijo con toda exactitud el eclipse de Sol del año 585 a.C. ¿Cómo fue posible?

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 que flota en el «okeanos». Pitágoras (nacido en el 580 a.C.) sabía ya que la Tierra era una esfera; Tales debía saberlo también, pues de lo contrario no habría podido predecir el eclipse de Sol. Probablemente llegara por sí mismo a tal conclusión.

Leucipo (450 a.C.) consideró que el Sol y la Luna eran cuerpos sólidos y que la luz de la Vía Láctea estaba constituida en realidad por la luz de muchas estrellas lejanas. Hacia el año 350 a.C. Heráclito explicó correctamente la alternancia día-noche por la rotación de la Tierra en torno a su eje en 24 horas. Consideró a los planetas como cuerpos similares a la Tierra, pero dio un carácter infinito al cosmos. Así, a la descripción astronómica de egipcios y babilonios se añadió en el pensamiento griego la especulación cosmológica que, aunque surgida de los mitos, consiguió libe-

rarse de las limitaciones mitológicas y adquirió un carácter original. Los griegos no ofrecieron ninguna interpretación del origen del mundo, pero sí lo hicieron los egipcios, que pensaban que había habido un tiempo en el que no existían el cielo y la tierra, sino sólo el agua original infinita, el Nû. Esta idea, que quizá fuera de origen babilonio pasó al Antiguo Testamento.

El florecimiento de las ciencias en Mileto finalizó 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 científico se centró en Atenas en los filósofos Sócrates, Platón y Aristóteles (384-322 a.C.). Posteriormente se produjo la fundación de Alejandría (332 a.C.) por Alejandro Magno (356-323 a.C.) y el increíble apogeo de esta ciudad en tiempos de los Tolomeos.

## 2.2. LA ÉPOCA DE TRANSICIÓN

La gran tradición astronómica de los griegos se cierra con Aristarco de Sarnosa (310-230 a.C.) considerado el último gran astrónomo de Grecia. Según Arquímedes entendió el mundo como un sistema heliocéntrico. Tras él surge en Alejandría una nueva tradición astronómica en la que, destacan tres grandes nombres muy distanciados en el tiempo: Apolonio (230 a.C.), Hiparco (130 a.C.) y Claudio Tolomeo (85-160 a.C.). Hiparco construyó un observatorio en Rodas, donde realizó mediciones de la posición de los astros, elaboró un catálogo de casi 800 estrellas y fijó la precesión de los equinoccios de la Tierra en 45" por año (hoy lo fijamos en 50,2"). Se le considera el fundador de la trigonometría. Fue el primero que intentó clasificar las estrellas por su luminosidad al dividir las en seis «categorías de magnitud».

Alejandro Magno quiso hacer de Alejandría el centro espiritual de su Imperio. Por ello, sus sucesores, los Tolomeos, fundaron el «Museo», al que podemos considerar como la forma primitiva de nuestra actual universidad. A ello hay

que sumar la constitución por Tolomeo II (283-246 a.C.) de la grandiosa biblioteca de Alejandría que desde un principio tuvo unas dimensiones desproporcionadas para aquellos tiempos.

Se convirtió en el modelo de la posterior biblioteca de Pérgamo, en Misia. La gran biblioteca contaba con 700.000 volúmenes de literatura, matemáticas, astronomía y medicina. Fue destruida por un incendio en el año 47 a.C. Dado que los conocimientos astronómicos de los griegos no eran lo suficientemente precisos como para explicar las desviaciones del calendario, se intentó mejorar la observación astronómica. De este modo surgió en Alejandría una respetable escuela y la astronomía se convirtió en una ciencia.

Tolomeo tenía a su disposición una extraordinaria base: todos los conocimientos del ámbito mediterráneo. Por ello gozó de la oportunidad de recoger en un libro, la *Μεγίστη Ὑνταξις* (*Svntaxis Mathematica*), el conocido *Almagesto*, los conocimientos de astronomía de su tiempo, no sin realizar ciertas aportaciones propias. Ésta no dejó de ser una circunstancia venturosa, pues los cristianos destruyeron en el año 391 d.C. los restos de la biblioteca, que por aquel entonces contaba con más de 40.000 volúmenes (probablemente lo hicieron por indicación del arzobispo Teófilo de Alejandría).

Tolomeo recoge en su libro las principales hipótesis de la astronomía de su época: la esfera celeste que gira en torno a su eje, la Tierra redonda en el centro de la esfera celeste. Describió como un problema geométrico el movimiento del Sol, la Luna y los planetas, a los que denominó «estrellas errantes» para diferenciarlos de las demás (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno). Agregó más de mil estrellas al catálogo de Hiparco y desarrolló una explicación del movimiento de la Luna, recogiendo y perfeccionando la teoría del movimiento de los planetas: por primera vez relacionó su movimiento con el plano de la eclíptica. El denominado «sistema de Tolomeo» mantuvo su importancia durante milenio y medio. Las obras de Tolomeo se enseñaban en las escuelas; en el siglo IX se tradujo el *Almagesto*-al

árabe (*Kitab Al-magisti*) de ahí se derivó el nombre *Almagesto*, en un claro ejemplo de abandono lingüístico) y en el XII se realizó la traducción del árabe al latín.

Como se observa, sólo se ha hecho una breve referencia a Aristóteles. Si bien es cierto que siempre se valora y destaca su importancia y la de Platón para la filosofía de Occidente, a menudo se olvida que durante milenio y media-este auge de la filosofía griega constituyó un obstáculo para el desarrollo de las ciencias. Platón, que no era matemático, tenía una buena opinión de esta ciencia. La fachada de la Academia estaba adornada por la frase: «No entrará quien no sea matemático». Pero Platón se refería a la matemática «pura»; dudaba de su aplicación a la «physis», a la naturaleza del entorno. Aristóteles, en cambio, trató un número singularmente notable de cuestiones físicas, intentando aplicar siempre el método deductivo. Como muchos de los supuestos de los que partía eran falsos, llegó también a conclusiones erróneas que, sin embargo, fueron consideradas como intocables en Europa durante casi un milenio. El «aristotelismo» constituyó para la Iglesia una coartada perfecta: el hombre como coronación de la creación podía deducirle su pensamiento cómo era el mundo. (El dogmatismo de la Iglesia tiene sus raíces en este hecho.) Sólo Copérnico, Kepler, Galileo y Newton abrieron el camino de las ciencias naturales modernas.

### 2.3. LA ÉPOCA DE LA OSCURIDAD

Curiosamente, el Islam no asumió nunca las ideas aristotélicas que durante tanto tiempo influyeron en el pensamiento cristiano. El cristianismo siguió a Aristóteles y condenó las ciencias exactas; en cambio, en el mundo musulmán se conservó la tradición científica. El Islam no combatió ninguna idea sobre el mundo. De este modo, en la cultura islámica se mantuvo vivo el espíritu de los griegos. Con la llegada de los árabes a España se extendieron a Italia y Europa central los conocimientos de los griegos y de las ma-

temáticas y la astronomía alejandrinas; en Europa el griego había caído en el olvido y en el Imperio romano, que dominó el espacio mediterráneo tras Alejandro Magno, se había introducido un sistema de numeración que hacía casi imposible el cálculo matemático. Por eso no conocemos a ningún matemático ni a ningún naturalista romano de relieve. Los etruscos, que habían transmitido la cultura griega a los latinos (dioses, mitos), extendieron la escritura fonética de los griegos a los pueblos de Europa. Hacia el año 400 a.C. el avance celta dispersó a los etruscos, que se mantuvieron en algunos valles de los Alpes como portadores de la cultura rética.

La «noche» cayó sobre Europa (como se dice a menudo de modo exagerado) cuando en el año 642 d.C. se destruyeron los restos de la biblioteca de Alejandría. En aquel momento la geometría parecía tener una base axiomática debido, ante todo, a Euclides (de hecho era deducible en el sentido de Aristóteles). No existía todavía el álgebra y la física no había sido impulsada desde los tiempos de los griegos. Por otra parte, después de Aristarco la astronomía había entrado, con Hiparco, en el callejón sin salida del «sólo observar y describir»; se había perdido el interés por las ciencias naturales exactas. En el siglo V de nuestra era apareció de nuevo en la India un sistema de numeración similar al de los babilonios. Más tarde sería adoptado por los árabes y llegaría a Europa en la época de la escolástica a través de la conquista árabe de España.

En los comienzos de la era cristiana existían importantes matemáticos en el mundo islámico (al-Hazen, al-Kwarzimi, fundador del álgebra, Ibu-Ymas y al-Biruni) Por iniciativa del gran califa Harun al Raschid se tradujeron al árabe las obras de los científicos griegos. Esta época dejó también sus huellas en la astronomía, tal como lo demuestran los nombres de algunas estrellas (Aldebarán, Betelgeuse).

En el siglo XII se tradujeron sobre todo en España textos del árabe al latín: es el caso de los *Elementos* de Euclides, cuya versión se realizó en Córdoba, y del *Almagesto* de Tolomeo, traducido por Gerardo de Cremona (1114-1187).