

Astronomia Nova: 4º Centenario

Antonio Gallego

Grupo Especializado de Información Cuántica de la RSEF, (España).

La 62ª Asamblea General de la ONU declaró el año 2009 *Año Internacional de la Astronomía*. La iniciativa partió de la Unión Astronómica Internacional (IAU), para conmemorar los 400 años de descubrimientos astronómicos trascurridos desde que Galileo, en 1609, hizo las primeras observaciones astronómicas realizadas con ayuda de un telescopio. En esta iniciativa de la IAU se echa en falta (ver texto de la declaración en <http://www.astronomy2009.org/>) mencionar que en junio de ese mismo año 1609 se publicó la *Astronomia Nova* de Johannes Kepler ¡con las dos primeras de sus tres leyes!; la tercera aparecería diez años después, en *Harmonices Mundi Libri V* (Los cinco libros sobre la Armonía del Mundo).

En cualquier caso, este 4º centenario de la *Astronomia Nova* es un buen motivo para divulgar entre los jóvenes la obra y la vida de Kepler (1571 - 1630), un gran físico, matemático y astrónomo que fue también uno de los grandes humanistas, hombre piadoso y tolerante, que siempre buscó la conciliación entre luteranos, calvinistas y católicos en la convulsa época que precedió a la Guerra de los 30 Años entre las tres Iglesias.



Johannes Kepler (1571-1630).

Significado de las tres leyes de Kepler

1ª. Ley de las elipses: Las trayectorias de los planetas son elipses en uno de cuyos focos está fijo el Sol.

2ª. Ley de las áreas: El área que por unidad de tiempo barre el radio vector que va del Sol al planeta es constante.

3ª. Ley de la armonía: Los cubos de los semiejes mayores de las elipses descritas por los planetas son proporcionales a los cuadrados de los respectivos períodos orbitales.

En los libros de texto estas leyes de Kepler son hoy simples corolarios de la Ley de la Gravitación Universal. En este 4º centenario de esas leyes, un ejercicio entretenido e ilustrativo para alumnos de los primeros cursos de carreras de ciencias sería analizar la relación inversa. Un forma sencilla de hacerlo es traducir esas leyes desde el lenguaje puramente geométrico de Kepler al del Cálculo Diferencial en que hoy describimos la Mecánica creada por Galileo y Newton. La traducción le resultará sin duda sorprendente a quien la haga por primera vez:

1ª y 2ª leyes juntas: La aceleración con que se mueve un planeta está constantemente dirigida hacia el Sol y su módulo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el Sol y el planeta.

3ª ley: Además, la constante de proporcionalidad es la misma para todos los planetas.

Así enunciadas, incluso resulta extraño que pasaran casi setenta años entre la descripción que esas leyes ofrecen del movimiento planetario y la ley de la Gravitación Universal. Ese retraso parece muy relacionado con el problema de comunicación que se dio entre Galileo y Kepler, del que luego trataremos. Ello hizo que ni Kepler pudiera aprovecharse de las nuevas nociones mecánicas de Galileo ni éste supiera valorar la precisión del modelo astronómico del alemán. Sin el *Principio de Inercia*, Kepler no tenía motivos para enunciar sus leyes en función de las *aceleraciones* de los planetas.

En sus esquemas mentales no entraba eso de que las *fuerzas* se necesitan sólo para alterar la velocidad, de forma que lo razonable es que sean proporcionales no a las *velocidades* -como él piensa- sino a las *aceleraciones*. (Hoy diríamos que no distinguía los conceptos de *Fuerza* y *Momento*). La *Astronomia Nova* deja claro que Kepler llega a sus dos primeras leyes apoyándose en la idea de que el Sol es el motor de los movimientos planetarios, comparando la atracción solar con la que ejercen los imanes sobre el hierro. (Cita expresamente al inglés William Gilbert, que acababa de publicar, en 1600, su libro *De Magnete*). Pero concluye equivocadamente que esa atracción es inversamente proporcional a la distancia entre el planeta y el Sol, cuando lo que había obtenido era que ésa es la ley a la que obedece la velocidad del planeta en cada instante; esto último es lo que en forma puramente geométrica enunció como su 2ª ley, evitando inteligentemente usar términos de la Mecánica, como *fuerza* o *velocidad*. Ver el artículo de Erwin Panofsky, *Isis*, XLVII (1956), 79-80.

Expresión diferencial de las dos primeras leyes

Traducir las leyes de Kepler al lenguaje de la Mecánica, con ayuda del Cálculo Diferencial, está al alcance de cualquier alumno aventajado del primer curso de una Facultad de Ciencias; pero con el fin de enfatizar el significado de esas tres leyes, presentamos aquí un esbozo de cómo hacer esa traducción.

En el plano determinado por la elipse que describe el planeta, elijamos un sistema de coordenadas cartesianas con origen en el Sol.

La primera ley dice que las ecuaciones paramétricas del movimiento del planeta tienen la forma:

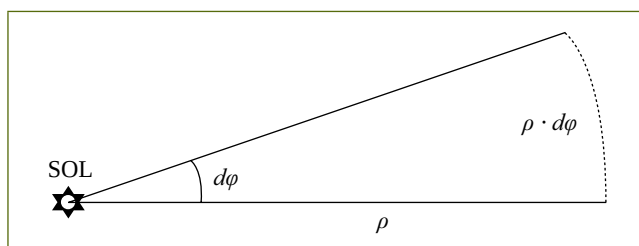
$$\begin{aligned} x(t) &= \rho(t) \cdot \cos \phi(t) \\ y(t) &= \rho(t) \cdot \sin \phi(t) \quad \text{con} \quad \rho(t) = \frac{p}{1 - \varepsilon \cdot \cos \phi(t)} \end{aligned}$$

siendo a = semieje mayor de la elipse, b = semieje menor, $p = b^2 / a$: parámetro de la elipse y

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2} : \text{excentricidad de la elipse.}$$

La 2ª ley da la ecuación diferencial a la que debe satisfacer la función $z(t)$. En concreto, si dA es el área infinitesimal barrida por el radio vector del planeta en el elemento de tiempo dt , tenemos

$$dA = \frac{1}{2} \cdot \rho^2 \cdot d\phi$$



La segunda ley dice que la velocidad areolar dA/dt es constante. Llamando α a esa constante, nos queda la ecuación diferencial

$$\rho^2 \cdot \dot{\phi} = 2\alpha, \text{ donde } \alpha = \text{velocidad areolar (constante).}$$

Derivando ahora dos veces en las ecuaciones paramétricas del movimiento del planeta y teniendo en cuenta

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= \frac{2\alpha}{\rho^2} && \text{por 2ª ley} \\ \dot{\rho} &= -\frac{2\alpha\varepsilon}{p} \cdot \sin \phi && \text{y} \quad \ddot{\rho} = -\frac{4\alpha^2\varepsilon}{p} \cdot \frac{\cos \phi}{\rho^2}, \end{aligned}$$

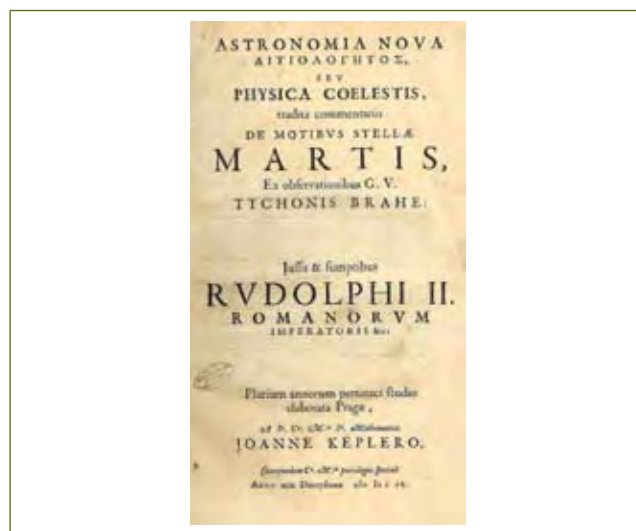
obtenemos para la aceleración instantánea del planeta las expresiones:

$$\ddot{x} = -\frac{4\alpha^2}{\rho^2} \cdot \cos \phi \quad \ddot{y} = -\frac{4\alpha^2}{\rho^2} \cdot \sin \phi$$

donde, recordemos, α es la velocidad areolar del planeta y $p = \frac{b^2}{a}$ es el parámetro característico de la elipse que describe. Ahora bien, las coordenadas del radio vector que va del Sol al planeta son

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos \phi \\ y = \rho \cdot \sin \phi \end{cases}$$

Por consiguiente las dos primeras leyes de Kepler dicen que, en cualquier instante, el vector aceleración del planeta es el opuesto al vector de posición del planeta respecto al Sol, siendo su módulo inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el planeta y el Sol.



Significado de la tercera ley

De acuerdo con las dos primeras leyes, el valor de esa aceleración hacia el Sol que experimenta cualquier planeta es

$$\|\vec{a}\| = \frac{4\alpha^2}{\rho^2}$$

donde, como siempre, α es su velocidad areolar y $p = b^2/a$ es el parámetro característico de la elipse que describe.

En principio, esa constante $4\pi^2/p$ parece depender de cada planeta; pero la tercera ley nos reserva la última y definitiva simplificación de este modelo de movimiento planetario. Para ver dónde aparece esa tercera ley, basta tener presente que, al ser constante la velocidad areolar α del planeta, se verifica $\alpha \cdot T = \pi ab$ por ser ésta el área total de la elipse. Podemos entonces sustituir α en la expresión del valor de la aceleración y obtenemos la expresión

$$\|\vec{a}\| = \frac{4\pi^2 \cdot a^3/T^2}{\rho^2}$$

¡Y ahí tenemos el cociente de la 3ª ley, el que vale igual para todos los planetas! Así, esa "armonía" -cuyo descubrimiento tanto emocionó a Kepler- lo que nos dice es que la aceleración que el Sol imprime al planeta depende sólo de cómo es el Sol y a qué distancia está; es totalmente independiente de cómo sea el planeta y de qué esté hecho.

Para desvelar su significado último, hay ya que acudir a los *axiomas o leyes del movimiento* sobre los que Newton construye su tratado. Concretamente, el hecho de que la fuerza del Sol sobre el planeta tenga el mismo valor y signo opuesto que la del planeta sobre el Sol, obliga a que el valor de la constante de Kepler lo determine la *masa de inercia* del Sol:

$$4\pi^2 \cdot a^3/T^2 = G \cdot M_{SOL}$$

siendo $G \approx 6.7 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{gr}^{-1} \cdot \text{seg}^{-2}$ la constante que ajusta las dimensiones.

Al extender la gravedad a otros cuerpos, esa misma ley determinará la masa de la Tierra a partir de la órbita lunar. Y la de Júpiter, a partir de la órbita de alguno de sus satélites. Así, la razón entre las distintas constantes a^3/T^2 nos permite calcular las masas relativas del Sol, la Tierra y Júpiter. Es lo que hace Newton en su famoso Corolario 1, Proposición VIII, Libro III de sus *Principia*. Lo que extraña es que lo haga sin mención alguna a esta 3ª ley de Kepler, limitándose a hacernos ver que esa constante sale de igualar la aceleración centrípeta del movimiento circular uniforme ($a\omega^2 \equiv 4\pi^2 a/T^2$, siendo a el radio, ω la velocidad angular y T el periodo) con la aceleración gravitatoria:

$$4\pi^2 a/T^2 = GM/a^2$$

Newton menciona a Kepler cuando, al comienzo del Libro III, presenta esa 3ª ley como uno de los seis *fenómenos* sobre los que se apoya su teoría de la gravitación; tras enunciar como cuarto *fenómeno* la proporción de la 3ª ley para los movimientos planetarios, añade que Kepler fue el primero en darse cuenta de ella. Esa escueta mención parece poca

cosa cuando, de esos seis *fenómenos* en los que Newton basa su astronomía, cinco se limitan a repetir literalmente las leyes 2ª y 3ª de Kepler, referidas a distintos cuerpos celestes. (El otro *fenómeno* es simplemente que los planetas giran en torno al Sol.) En particular, es muy chocante que guarde silencio absoluto sobre la autoría de la 2ª ley de Kepler, cuyo texto se repite en los *fenómenos* 1, 2, 5 y 6, relativos respectivamente a los satélites de Júpiter y Saturno, los planetas y la Luna.

El mutismo de Galileo y Newton

Esa desconcertante actitud de Newton hacia la obra de Kepler coincide con la postura adoptada por Galileo años antes. El caso de éste es incluso más llamativo. Galileo publica su obra capital, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, un año después de la muerte del astrónomo alemán. Para entonces habían pasado más de veinte años desde la aparición de la *Astronomia Nova*, donde Kepler concluía a partir de los datos astronómicos disponibles que la órbita de Marte no era circular, como se daba por supuesto en el modelo copernicano, sino elíptica. La tesis de Kepler se había divulgado con rapidez en los ambientes académicos, de lo que incluso da constancia una carta que le envía a Galileo en 1612 su amigo Federico Cesi. ¿Cómo se explica entonces que en 1632 Galileo siga sosteniendo en su obra principal la hipótesis de las órbitas circulares, sin hacer la menor alusión a la obra de Kepler, ni en contra ni a favor?. A mayor abundamiento en el problema, recordemos que Kepler y Galileo mantuvieron relaciones epistolares en dos ocasiones. En la segunda, en 1610, Kepler era ya el astrónomo oficial de la corte imperial, en Praga, y hacía un año escaso de la aparición de su *Astronomia Nova*. Galileo le remite, a través del embajador de Florencia, su famoso opúsculo *Sidereus Nuncius*, donde describe los primeros hallazgos obtenidos con el uso del telescopio: la superficie irregular de la Luna, los satélites de Júpiter y la resolución de la Vía Láctea en estrellas. Kepler le responde entusiasmado y publica la *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*, en claro apoyo a Galileo en unos momentos en que muchos astrónomos ponían en duda la veracidad de esos hallazgos (en parte, por la baja calidad de esos primeros telescopios). Con bastante retraso, Galileo le escribió dándole las gracias "por haber sido el primero y casi el único en haberme dado crédito, con franqueza y altura intelectual, incluso antes de haber podido ver esos fenómenos"; ¡pero sin comentar absolutamente nada sobre las dos leyes con las que Kepler había revolucionado la Astronomía el año anterior! El mutismo de Galileo y Newton sobre la obra de Kepler plantea un problema espinoso, que se presta a interpretaciones muy diversas, algunas demasiado apasionadas en favor de los unos o del otro.

Lo más plausible es atribuir ese silencio a que realmente Galileo y Newton no sabían cómo enjuiciar las obras de Kepler. Piénsese que los primeros son el paradigma del *racionalismo* europeo, mientras que Kepler es ante todo uno de los más destacados *humanistas* de los siglos XV y XVI, cuyas obras mezclan siempre la Física y las Matemáticas con sus concepciones metafísicas y religiosas. Así, por ejemplo, en la antes aludida *Dissertatio*, frente a la descripción escueta que Galileo da de su descubrimiento de las cuatro lunas de Júpiter, la respuesta de Kepler se extiende en elucubraciones -propias de un espíritu abierto e imaginativo- sobre la existencia de habitantes en Júpiter, la posibilidad de viajes interplanetarios, la posición preeminente del hombre en el Universo y las razones para no incluir esas lunas en las predicciones astrológicas terrestres; pero a la vez, mientras la obra de Galileo se desentiende por completo de los fundamentos ópticos del telescopio, la respuesta de Kepler incluye un interesante adelanto de la obra que publicaría un año después, la *Dioptrica* (1611), que sienta las bases de la Óptica al explicar con claridad el funcionamiento de las lentes cóncavas y convexas.

Religión y neoplatonismo en las obras de Kepler

Kepler cursó sus estudios universitarios en el *stift* (seminario mayor) adjunto a la prestigiosa universidad de Tübinga, destinado -aún hoy día- a formar a las élites de la Iglesia Luterana. Allí vivió feliz de los 17 a los 22 años, dedicado a la oración y el estudio. Profundamente religioso, de carácter dulce y dotado de una brillante inteligencia, gozó de una gran estima entre sus profesores. Ellos determinaron el definitivo rumbo profesional de Kepler, dos meses antes de que terminara sus estudios de Teología. Había quedado vacante la plaza de matemáticas, astronomía y astrología en el *stift* que los luteranos tenían en la ciudad austríaca de Graz. Por su prestigio, el claustro de Tübinga fue encargado de proponer al sustituto y el elegido fue Kepler. Él siempre consideraría su nuevo destino como otra forma de procurar la gloria de Dios, ahora no desde el púlpito sino a través de la Ciencia.

Durante el tercer año en Graz, en 1597, cuando tenía 25 años, se publica su primera obra de Astronomía, conocida como *Mysterium cosmographicum* (El Secreto del Universo, en la traducción de Eloy Rada). La repercusión de ese pequeño ensayo fue enorme, porque representaba la primera "justificación teórica" (?) del modelo copernicano. A nosotros hoy, como en su día a Galileo, ese ensayo nos produce perplejidad. Ninguno diríamos que se trate de una obra científica, pues sólo se apoya en la difusa convicción (pitagórico-platónica) de que la obra creadora de Dios debe reflejar la armonía de las formas geométricas; sin embargo, nos sorprende lo ingenioso del razonamiento y el dominio

que el autor demuestra de las tesis de Copérnico y la geometría griega.

El "secreto" que Kepler quiere desvelar es el porqué de las distancias a las que los planetas giran en torno al Sol. La suposición de que los planetas describen circunferencias en torno al Sol, había permitido a Copérnico deducir las distancias relativas de los planetas al Sol, a partir de sus *periodos sinódicos* (tiempo que tarda el planeta en repetir una misma posición respecto al Sol, visto desde la Tierra).

Dentro de sus esquemas neoplatónicos, a Kepler le parecía muy significativa la coincidencia de que sólo se conocieran seis planetas -Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno- y sólo hubiera cinco poliedros convexos regulares: los llamados *cinco sólidos platónicos*; lo cual permitía encajar esos cinco poliedros entre las seis esferas determinadas por las distancias de los seis planetas al Sol, de forma que cada esfera quedara inscrita en uno de ellos y circunscrita al anterior. Naturalmente, eso exigía que el orden de esos cinco sólidos pudiera elegirse de forma que la razón del circunradio al inradio de cada uno de ellos coincidiera con la razón de las distancias al Sol de los dos planetas cuyas esferas el poliedro separaba. Kepler halló que la sucesión "octaedro, icosaedro, dodecaedro, tetraedro, hexaedro" reproducía *bastante bien* las distancias relativas calculadas por Copérnico; los únicos desajustes apreciables tenían lugar en la pareja Tierra-Marte (razón de distancias 1'52, frente al valor 1'26 que sale del dodecaedro) y en la pareja Marte-Júpiter (razón 3'4, frente al valor 3 que da el octaedro). Para el joven Kepler y para muchos de sus contemporáneos se trataba de desajustes menores, insuficientes para cuestionar una teoría que de forma tan brillante desvelaba, al parecer, la estructura geométrica utilizada por el Creador para diseñar el Mundo.

Kepler tomó conciencia pronto del problema que esos "pequeños" desajustes representaban y, desde luego, nunca dejó de inquietarle la posibilidad de que aparecieran nuevos planetas. Pero, aunque con ciertas variantes, ese diseño geométrico de los cinco sólidos platónicos siguió pareciéndole el modelo que reflejaba mejor la armonía de la Creación. En la obra *Harmonice Mundi*, del año 1619, la cuestión de las distancias de los planetas al Sol aparece ya en la forma rigurosa dada por su famosa 3ª ley; pero el diseño de los cinco poliedros continúa estando presente, ahora como soporte de las armonías musicales que Kepler asocia a las órbitas de los diferentes planetas.

Colaboración con Tycho Brahe y génesis de las tres leyes

Kepler obtuvo sus leyes directamente de los datos recopilados por el astrónomo danés Tycho Brahe (1546 - 1601) a lo largo de casi 20 años de observaciones astronómicas en sus famosos palacios Uraniborg y Stjerneborg, en la isla

de Hven. La precisión de esas observaciones rondaba los 2 minutos de grado, que es la separación mínima apreciable por el ojo humano; esa precisión superaba cinco veces la de las tablas astronómicas disponibles hasta entonces y fue decisiva para desvelar la forma elíptica de las órbitas planetarias. Así, las tres leyes de Kepler representan el primero y uno de los más notables ejemplos de cooperación entre un experimental y un teórico.

La relación entre ambos se inició con la publicación del mencionado *Mysterium Cosmographicum*. Tycho disponía de ayudantes para sus observaciones astronómicas, pero ninguno con la suficiente capacidad teórica para elaborar los datos recogidos; por ello supo valorar de inmediato la preparación y las habilidades matemáticas del joven autor de aquella curiosa obra, independientemente de que considerara absurdo el tema central: determinar *a priori* las distancias de los planetas al Sol. Mientras que Galileo se limitó a dar educadamente las gracias por el ejemplar recibido, Tycho escribió a Kepler expresándole sus opiniones sobre la obra y mostrando su interés por conocerle.

Tycho abandonó Dinamarca poco después, por desavenencias con el rey. El emperador Rodolfo II le encargó la confección de unas nuevas tablas astronómicas y le cedió el castillo de Benatki, a pocos kilómetros de Praga, para instalar en él su nuevo observatorio. El astrónomo danés llegó a Praga en junio de 1599, por las mismas fechas en que la Contrarreforma se imponía en Austria y los luteranos eran obligados a exiliarse. Kepler buscó la ayuda de Tycho, que le consiguió un puesto en la corte imperial como colaborador suyo. Esa colaboración directa entre ambos duraría un año escaso, por la prematura e inesperada muerte del danés en octubre de 1601; fue una relación no exenta de tensiones, pero siempre mantuvieron entre ellos una alta mutua estima. Y ciertamente, esa colaboración marcó el destino de Kepler al permitirle acceder a los datos astronómicos más precisos habidos hasta la llegada del telescopio.

A la muerte de Tycho Brahe, el emperador nombró a Kepler nuevo astrónomo imperial y la confección de las tablas astronómicas encargadas a Tycho pasó a ser la ocupación central de Kepler hasta casi su muerte. La gran obra se publicó en 1627 bajo el título *Tabulae Rudolphinae*. Durante siglo y medio, esas tablas serían la referencia obligada de astrónomos, navegantes y astrólogos; en particular, ellas formaban la base de los cálculos planetarios en vida de Newton.

El soporte teórico de esas tablas lo constituyeron las dos leyes aparecidas en la citada *Astronomia Nova* de 1609, donde Kepler hace el estudio teórico del movimiento de Marte. La elaboración de los datos sobre Marte había sido el encargo inicial para el que Tycho le contratara. Antes de morir éste, Kepler ya tenía fijado prácticamente el plano de la órbita marciana con relación a la eclíptica. Un año después, sirviéndose de la descomposición en triángulos infinitesimales utilizada por Arquímedes para deducir la

longitud de la circunferencia, Kepler obtenía la ley de las áreas por la que se rige la velocidad del planeta en cada instante. Percatarse de que la órbita era una elipse, eso le llevó algo más de tiempo, porque antes ensayó distintas formas de óvalos. Pero en 1605 ya tenía listo el manuscrito de la *Astronomia Nova*, aunque su publicación se retrasara hasta 1609 por problemas con los herederos de Tycho Brahe.

Vemos, pues, que la formulación de las dos primeras leyes se hizo con relativa rapidez, en algo más de tres años, a pesar de tratarse de un proceso muy laborioso, que exigía trabajar con centenares de observaciones relativas al movimiento aparente de Marte y traducirlas previamente a datos referidos a la órbita real del planeta. El relato pormenorizado de ese proceso ocupa buena parte de la *Astronomia Nova*, donde Kepler nos lo describe con entusiasmo y seguramente de forma algo idealizada.

Muy distinto es el caso de la 3ª ley, con la que Kepler regresa -esta vez sin presupuestos metafísicos- al problema de veinte años atrás, de encontrar una norma que regulara las distancias de los planetas al Sol. La 3ª ley se limita a relacionar esas distancias con los respectivos periodos orbitales: doce datos, en total! Al revés de lo que sucedía con las dos primeras leyes, ahora lo único que se requería era el golpe de genialidad que diera la pista para llegar a esa exótica proporción entre los cubos de las distancias y los cuadrados de los periodos; de hecho, Kepler presenta esa ley sin ninguna explicación, limitándose a indicarnos la fecha en que se dio cuenta de que había esa proporción: en mayo de 1618, tras un primer barrunto dos meses antes. Desde luego hubiera sido increíble que alguien ensayara por las buenas la igualdad de los cocientes $\frac{a^3}{T^2}$ entre los semiejes y los perio-

dos de las órbitas planetarias; pero el enunciado que hemos dado de esa 3ª ley no es el original de Kepler, sino el que se impuso después, por su claridad; en el texto original, la citada proporción se da referida a los logaritmos de esos datos:

"Es del todo cierto y exacto que (en una escala logarítmica) la proporción entre los tiempos de los periodos de dos planetas cualesquiera vale justamente una vez y media la proporción entre sus distancias medias al Sol".

Dado el pequeño valor de las excentricidades de las órbitas de los planetas (la de Marte es 0.09 y sólo la de Mercurio es mayor), para los cálculos de Kepler eran equivalentes "distancia media" y "semieje mayor de la elipse". Lo que sí es significativo es que, en lugar de enunciar la proporción en la forma hoy usual $\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}$, el texto original de Kepler dé su

correspondiente *expresión logarítmica*: $\frac{\log T_2 - \log T_1}{\log a_2 - \log a_1} = 1.5$.

La gran ventaja de usar escalas logarítmicas $X \equiv \log a$, $Y \equiv \log T$ es que con ellas sí es trivial darse cuenta de que existe proporcionalidad entre potencias arbitrarias de dos

magnitudes; en efecto, el que tal proporcionalidad exista se traduce en que los puntos $\{(\log a, \log T)\}$ quedan todos alineados en una recta, cuya pendiente determina las correspondientes potencias; en este caso: $\frac{Y - \log T_1}{X - \log a_1} = 1.5$, con

pendiente $1.5 = \frac{3}{2}$. Hoy día vemos natural hacer representaciones a escala logarítmica; pero dice bastante del genio de Kepler haber sido capaz de utilizar ese procedimiento sólo cuatro años después de que el escocés John Napier (pronunciación aproximada: Neper) publicara su obra *Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio* (1614), a la que Kepler tiene acceso en 1617, el año de la muerte de Napier. Así, a la 3ª ley de Kepler le cabe el honor añadido de ser el primer gran logro científico basado en el uso de los logaritmos.

Antes de finalizar este artículo, vale la pena recordar que en esa misma época de 1617-18 entraba en su fase crítica el proceso por brujería abierto contra su anciana madre por las acusaciones de una comadre enojada. Sólo las influencias de su ilustre hijo consiguieron librarla de la hoguera, tras seis años de zozobras y penalidades. En esa situación tan tensa es en la que Kepler se familiariza con los nuevos procedimientos matemáticos de los logaritmos y completa su *Harmonice Mundi* con esa 3ª ley. Con ello se cumplía una vez más lo que sería norma a lo largo de toda la vida de Kepler: Buscar en el estudio el sosiego necesario para afrontar los muchos momentos difíciles por los que tuvo que pasar.

Referencias bibliográficas

La obra de referencia es la biografía de Kepler escrita (en alemán) por Max Caspar en 1948, de la que no hay traducción española. Está disponible la traducción inglesa que C. Doris Hellman hizo en 1959, completada después con un exhaustivo aparato bibliográfico por Owen Gingerich: -Caspar M., *Kepler*, Dover Publications Inc., New York, 1993.

En español, la bibliografía sobre la vida de Kepler es escasa; pero es muy recomendable el librito de la editorial Nivola, con las vidas de Copérnico y Kepler (apodado en la obra, con gran acierto, "el testigo de Dios"): -García Hourcade JL., *La rebelión de los astrónomos: Copérnico y Kepler*, Nivola libros S.L., Madrid, 2000.

Existe además la traducción de la popular obra *Sonámbulos*, de Arthur Koestler, que incluye una presentación quizá demasiado literaria de la vida y obra de Kepler, destinada a ejemplificar las ideas del propio autor: -Koestler A., *Los sonámbulos*, Salvat Editores, Barcelona, 1988.

De las obras de Kepler, sólo hay traducción española de la *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* y del *Mysterium Cosmographicum*:

- Galilei/Kepler, *La gaceta sideral/Conversación con el mensajero sideral*, edición de Carlos Solís Santos, nº 2517 de la colección CT, Alianza Editorial, Madrid, 2007.
- Kepler, *El secreto del universo*, edición Eloy Rada, Alianza Editorial, Madrid, 1992.

CONGRESOS

International school of physics "enrico fermi". Summer courses 2009. Villa monasterio – varena, lake como:

1st course (clxxxiii). Nano optics and atomics: transport of light and matter waves, 23-June–3 July 2009, Directors: R.Kaiser (Institut Non Linéaire de Nice, Valbonne), D.S. Wiersma (LENS e INFN-CNR Sesto Fiorentino) Contact person: L. Fallani-fallani@lens.unifi.it, Deadline for application: April 20th, 2009.

2nd course (clxxxiv). Physics with many positrons, 7 - 17 July 2009, Directors: A. Dupasquier (Dipartimento di Fisica, Politecnico di Milano), A.P. Mills (Department of Physics and Astronomy, University of California), Contact person: R.S. Brusa - brusa@science.unifi.it, Deadline for application: April 30th, 2009.

3rd course (clxxxv). Radiation and particle detectors, 20 - 25 July 2009, Directors: S. Bertolucci (CERN, Genève e INFN, Laboratori Nazionali di Frascati), U. Bottigli (Dipartimento di Fisica, Università di Siena), Contact person: P. Oliva - oliva@df.unipi.it, Deadline for application: May 10th, 2009.

International scientific meeting on nuclear physics. Basic concepts in Nuclear Physics: theory, experiments and applications. Campus de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) en La Rábida (Huelva) del 4 al 10 de julio de 2009. Para más información consultar la Página Web: <http://www.uhu.es/gem/meeting/rabida2009/index.php>.

European Group on Atomic Systems, is organized in 2009 by the Gdansk University of Technology and

University of Gdansk, and will be held in Gdansk, Poland, July 8 - 11. To find more information and to pre-register, please visit the conference website: <http://egas2009.mif.pg.gda.pl/>.

III Reunión Ibérica de Coloides e Interfases (RICI). VIII. Reunión del Grupo Especializado de Coloides e Interfases (GECI) organized by the Royal Spanish Societies of Physics <http://www.rsef.org/> and Chemistry <http://www.rseq.org> and the Portuguese Society of Chemistry <http://www.spq.pt/>, will be held at the Palacio de Exposiciones y Congresos <http://www.pcgr.org>, Granada (Spain), 13-15 July, 2009.

11th International Conference on "Optics of Excitons on Confined Systems" (OECS11). Campus de la Universidad Autónoma de Madrid,

7- 11 de Septiembre de 2009. Para más information consúltase: <http://www.oecs11.org>.

XI Reunión del Grupo Especializado de Polímeros. Del 20 al 24 de septiembre de 2009. Valladolid. Organizador: Grupo Especializado de Polímeros (GEP) de las Reales Sociedades Españolas de Química y Física (RSEQ, RSEF). Teléfono de información: 902 500 493. Email: info@evento.es. Página web: <http://www.gep2009.com>.

Conferencia Internacional "La Ciencia de Materiales en la Era Nano". 2da Circular. Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE), Universidad de la Habana. Del 23 al 28 de Noviembre de 2009. Página web: <http://imre.oc.uh.cu/nanimre2009>.