

Los eclipses y las órbitas en la astronomía

Rafael Andrés Alemañ Berenguer



Revista Digital de ACTA

2014

Publicación patrocinada por



Los eclipses y las órbitas en la astronomía

© 2014, **Rafael Andrés Alemañ Berenguer**

© 2014, 

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.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.

INTRODUCCIÓN

Uno de los impedimentos que normalmente encontramos cuando intentamos aplicar nuestros conocimientos físicos a la astronomía y a la astrofísica se deben al hecho de que solemos tener en mente los modelos idealizados que se enseñan en los libros de texto. Tendemos a olvidar que los cuerpos celestes ni son masas puntuales, ni tienen una forma absolutamente esférica. En consecuencia, muchos resultados de la teoría gravitatoria, cuando se aplica a los planetas y a las estrellas no son los que esperaríamos encontrar.

Buena muestra de estos conceptos erróneos es que, por sus períodos excepcionalmente largos de existencia, se supone que muchos procesos astronómicos son eternos. Sabemos –es cierto– que el Sol agotará su combustible nuclear en algún momento inconcebiblemente lejano. Pero no debemos menospreciar la existencia de otros efectos de la mecánica celeste que, aun sumamente débiles son constantemente acumulativos.

A pesar de que ese tipo de efectos son desdeñables en una situación particular, no debemos ignorarlos cuando tratamos de calcular el comportamiento de procesos astronómicos cuya duración es bastante dilatada para permitir que estos minúsculos efectos acumulativos manifiesten su influencia.

Con el ánimo de lograr un mejor entendimiento del problema, podemos escoger un eclipse del sol como un punto de la salida para nuestras discusiones. También será muy útil e interesante agregar algunos ejemplos de procesos biológicos que se ven influenciados por los ciclos astronómicos. Pruebas de tal calibre nos persuaden vigorosamente de que todos los sistemas en la naturaleza, orgánicos o inorgánicos, están interactuando recíprocamente de modo continuo.

LA GRAVITACIÓN NEWTONIANA

Isaac Newton fue uno de los más grandes científicos de todos los tiempos, que destacó como gran físico, astrónomo y matemático. Fue el genio al cual debemos el descubrimiento de la ley de gravitación universal, que es una de las piedras angulares de la ciencia moderna. También fue uno de los inventores del cálculo diferencial e integral. Estableció las leyes de la mecánica clásica, y partiendo de la ley de gravitación universal dedujo las leyes de Kepler en forma más general. Logró construir el primer telescopio de reflexión. También son importantes sus contribuciones al estudio de la luz.

Sus obras más importantes publicadas son *Opticks*, en la que explica sus teorías sobre la luz, y la obra monumental *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687), comúnmente conocida como Principia, en la cual expone los fundamentos matemáticos de una parte de la mecánica (la del punto material) y de la astronomía. En este tratado, aplica por igual su nueva ley de gravedad a los arcos descritos por las balas de cañón, a las órbitas de los satélites y planetas y a las trayectorias de los cometas, calculando sus posibles rutas en forma detallada.

La combinación de las leyes de la dinámica junto con la ley de la gravitación universal, constituye una poderosa herramienta para contestar con precisión diversas cuestiones: ¿qué órbitas son posibles para planetas y cometas ante la atracción del Sol? ¿Qué curva describe en el aire el centro de gravedad de un nadador que salta a la piscina desde un trampolín? ¿Qué ángulo tiene que darle un futbolista a la

pelota, o un artillero al obús, para que el lanzamiento llegue lo más lejos posible? O por ejemplo, si el Sol y su cortejo planetario giran a novecientos mil kilómetros por hora en torno al centro de la galaxia, distante doscientos cuarenta mil billones de kilómetros, ¿cuál es la masa contenida en el interior?

Gracias a la ciencia newtoniana hoy sabemos que las órbitas posibles son las que se forman por la intersección de un plano con un cono (el círculo, la elipse y la hipérbola), que la curva del ombligo del bañista es una parábola, que el ángulo es de 45 grados (despreciando el rozamiento con el aire), y que la masa contenida en el centro de la galaxia se estima unas cien mil millones de masas solares.

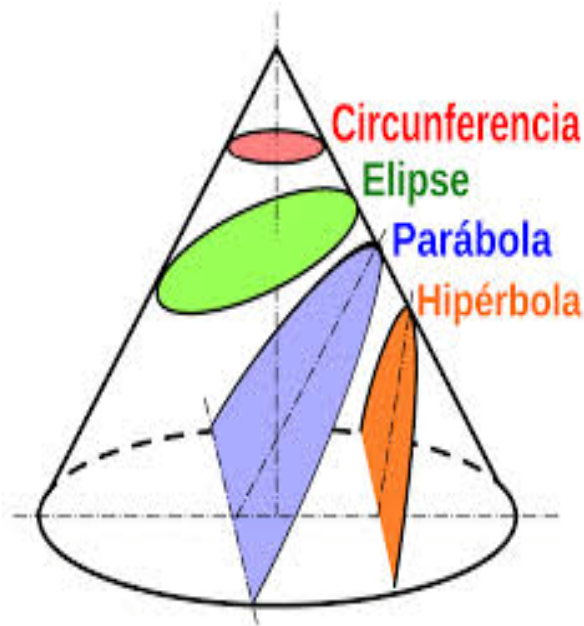


Figura 1. La familia matemática de las curvas cónicas coincide con la serie de las trayectorias orbitales físicamente posibles.

Partiendo de las leyes de Newton podemos calcular qué velocidad hay que imprimirle a un cohete para que se escape de la Tierra y se quede en órbita. Curiosamente, los cálculos que debemos realizar no dependen de la masa del cohete. Cualquier objeto debe alcanzar la misma velocidad para escapar de las garras del planeta madre, unos cuarenta mil doscientos ochenta y cuatro kilómetros por hora, o equivalentemente once mil ciento noventa kilómetros por segundo. Si es menos, el objeto vuelve a caer la Tierra. Si es más se escapa para siempre.

De hecho, estimando cuidadosamente la velocidad para cada parte de la trayectoria a recorrer, gracias a lo que nos enseña esa famosa segunda ley, ha sido posible enviar naves espaciales no tripuladas a Marte y posarse en la superficie del planeta. Viajar por Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, como lo hicieron las naves Voyager en 1977, o cualquiera de las sondas espaciales actualmente activas.

Con la ley gravitatoria del cuadrado inverso, Newton calculó el período de la órbita de la Luna, usando valores entonces aceptados para la fuerza de gravedad en la superficie de la Tierra y para el radio de la Tierra. Su resultado, 29,3 días, distaba mucho de la realidad, pues el período observado es de 27,3 días. Esta discrepancia lo desanimó, pero con factores numéricos más precisos se pudo comprobar que la ley operaba con toda exactitud.

En la famosa teoría de gravitación de Newton todo atrae a todo. Entre los ejemplos que usa para ilustrar el poder de su teoría de gravitación se encuentra la primera explicación correcta de las mareas, ese continuo vaivén de ascensos y descensos del nivel del mar en las costas, que dejó perplejos a tantos pensadores desde la más remota antigüedad. Imaginó Newton un canal con agua rodeando la Tierra, y demostró que bastaba la atracción de la Luna sobre ese sistema para producir la característica doble oscilación diaria que se observa en los grandes océanos.

Cuando el libro Principia fue presentado al rey Jaime II, Sir Edmund Halley, gran admirador de Newton, acompañó una carta en que explicaba en lenguaje sencillo la teoría de las mareas. El escrito fue luego publicado como un pequeño libro independiente bajo el título *La Verdadera Teoría de las Mareas*, y constituye un ejemplo temprano y bien logrado de divulgación científica.

¿LOS CICLOS ASTRONÓMICOS CAMBIAN?

Observar a nuestro alrededor es un buen ejercicio para descubrir consecuencias inesperadas de las cosas que consideramos completamente familiares. Por la tarde, si cubrimos consecutivamente con nuestro dedo pulgar la Luna y el Sol en el cielo (cuando podamos ver la luna con suficiente luz ambiental), será evidente que los dos cuerpos quedan ocultos. Esto significa que la Luna y el Sol tienen el mismo tamaño angular aparente.

El Sol es, obviamente, mucho más grande que la Luna, pero también está bastante más lejos que nuestro satélite. Esta coincidencia en los tamaños aparentes es la causa por la cual podemos contemplar desde la Tierra eclipses de Sol producidos por la interposición de la Luna.

Pero, ¿siempre ha sucedido esto así? Dicho de modo más técnico, ¿siempre son independientes del tiempo los parámetros astronómicos? Muchas personas cultas se sienten fuertemente tentadas a dar una respuesta positiva, pues no parece haber razón para pensar en cualquier otra posibilidad.

Sin embargo es muy aconsejable recordar la gran cantidad de ejemplos existentes que ilustran evidentes cambios astronómicos: el Sol y la Tierra no siempre mostraron las mismas propiedades que en la actualidad; los cuerpos celestes sufren toda clase de transformaciones durante su existencia, etc. ¿Por qué hemos de pensar que el giro de la Luna alrededor de la Tierra es eterno? Si pensamos un poco sobre ello, veremos que ese cambio de los ciclos astronómico es real, y de hecho el ritmo de variación es diferente en épocas distintas.

OBSERVACIONES Y EVIDENCIAS

Hay abundante evidencia paleontológica procedente de los denominados *rhythmites*, o sedimentos laminares de marea, que son las líneas de crecimiento que podemos encontrar regularmente espaciadas en los fósiles, como los anillos de crecimiento en los árboles. La disposición de estas líneas demuestra que su crecimiento depende críticamente de los ciclos geológicos y biológicos, los cuales, a su vez, se ven influenciados por los ciclos astronómicos.

Con todo ello, paleontólogos y geólogos (Ma, 1958; los Pozos, 1963, el Kahn & Pompea, 1978) han podido deducir los cambios acaecidos en las duraciones de los días y los meses a lo largo de períodos muy prolongados de tiempo, estudiando el modelo de crecimiento de estas estructuras laminadas en los restos fosilizados previamente descubiertos (sobre todo, corales y Nautilus).



Figura 2. Imagen de una capa de rhythmites en el oeste de Ohio (EE.UU.).

Esta evidencia paleontológica ha sido objeto de estudio minucioso durante décadas, incluso en el siglo XIX (Darwin, 1878, 1879, 1880). Los resultados, altamente fiables obtenidos por este cuidadoso escrutinio científico, permiten inferir (Williams, 1990) que hace 650 millones de años la velocidad de recesión lunar (el ritmo al cual nuestro satélite se aleja de la Tierra conforme va describiendo sus órbitas) era $1,95 \pm 0,29$ cm/año, y que hace entre 2500 y 650 millones de años, dicha velocidad era 1,27 cm/año.

Un análisis más cuidadoso de esos mismos datos (Williams, 1997), mostró una proporción de retroceso de 2,16 cm/año durante los últimos 650 millones de años. La fiabilidad de estos datos se halla respaldada por una cantidad aplastante de pruebas favorables (Lambeck, 1980; Arquero, 1996).

¿QUÉ TEORÍAS APLICAR?

Cualquier teoría científica es una idealización que debe complementarse con las verdaderas condiciones específicas de cada situación concreta y con los datos experimentales disponibles para producir información útil. Si admitimos –por comodidad de cálculo– que las masas participantes en la Ley del Newton de Gravitación son puntuales, estamos suponiendo con ello que no tienen tamaño físico en absoluto, lo cual es falso.

Por consiguiente, como todas las masas reales no son de hecho puntuales, no debemos sorprendernos si no obedecen con total pulcritud las leyes de la gravitación newtoniana. Es verdad que las ecuaciones de Newton funcionan muy bien para masas separadas por distancias muy grandes comparadas con su radio, pero nunca hemos de olvidar que en el mejor de los casos se tratará de una aproximación excelente.

Cuando tales masas no estén separadas por distancias bastante grandes en relación con su tamaño, entonces aparecerán efectos físicos conocidos como “fuerzas de la marea”, o meramente “mareas gravitatorias” (Munk & McDonald, 1975; Touma & Wisdom, 1994; Ray, Bills, Chao, 1999). Este efecto de marea es una tensión mecánica debida al hecho de que los cuerpos extensos no sufren la misma atracción gravitatoria en todos sus puntos por igual. El resultado de esta situación para el sistema Tierra-Luna-tierra es un incremento dependiente de la distancia (un “gradiente”, técnicamente expresado) en la intensidad de la atracción gravitatoria.

En otras palabras, se trata de una fuerza atractiva que no es constante a lo largo de la distancia que hay entre un punto de la Luna y su simétrico en la cara opuesta de nuestro satélite. Ciertamente, lo mismo cabría decir con respecto a la Tierra, que experimenta también una gravedad diferente en sus distintas partes causada por la influencia de la masa lunar (Bills, 1999). Esta variación en fuerza aplicada a los diferentes puntos de cada cuerpo celeste, o gradiente de marea, es una de las causas de distorsión en la forma de Tierra y la luna con respecto a una esfera perfecta.

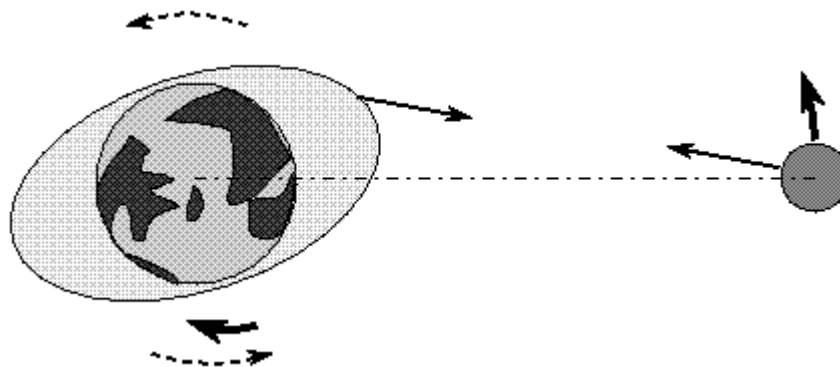


Figura 3. Fuerzas de marea ejercidas mutuamente entre la Tierra y la Luna que retardan sus respectivas rotaciones.

Este efecto de marea crea también una fricción entre los océanos y los continentes (Hansen, 1982; Kagan & Maslova, 1994; Kagan, 1994), que lentamente disminuye el ritmo de giro de la Tierra y transfiere la energía a la Luna. Si el momento angular total del sistema de Tierra-Luna debe conservarse, el momento angular perdido por la Tierra ha de ser ganado por la Luna, lo que provocará una aceleración en su órbita, y por consiguiente la alejará de la Tierra.

La consecuencia está clara: la Luna está distanciándose progresivamente de la Tierra (Goldreich, 1966). Ésta es una cuestión de hecho que ha sido repetidamente confirmada por numerosas mediciones astrofísicas (Dickey, 1994).

CONCLUSIONES

De todo lo anterior es posible obtener unas conclusiones que nos serán de utilidad en cada intento de comprender los modelos científicos en general –y la físicos en particular– y cada vez que elevemos nuestra mirada al cielo pensando en el espectáculo del firmamento como un cuadro inmutable, una característica muy alejada de la realidad.

I. Hemos de tener siempre presente que las teorías científicas describen situaciones idealizadas (masas puntuales, sistemas sin la fricción, interacciones entre dos cuerpos aislados, etc.) que a menudo requieren concreciones específicas para ofrecer respuestas realistas.

II. Debemos recordar que los ciclos astronómicos sufren cambios y alteraciones como cualquier otro proceso natural. No hay regularidades eternamente perdurables en la naturaleza; ni siquiera el movimiento de cuerpos celestes resulta ser eterno, como creían nuestros antepasados, sino que evoluciona dinámicamente. La impresión de permanente regularidad nace de nuestra breve observación de procesos dependientes de escalas de tiempo inmensamente grandes. Nuestra percepción es demasiado limitada para captar esa dependencia temporal tan notable.

III. Por último, haremos bien en ser conscientes de que las ciencias no pueden aislarse en compartimentos estancos: los ciclos astronómicos influyen en los ritmos biológicos y geológicos, y es posible acumular una gran cantidad grande de información relevante sobre muy diversos temas sin más que cultivar este tipo de vínculos interdisciplinarios.

REFERENCIAS

Archer, A.W. 1996, “Reliability of lunar orbital periods extracted from ancient cyclic tidal rhythmites”, *Earth and Planetary Science Letters*, 141 (1-4), 1-10.

Bills, B.G. & R.D. 1999, “Ray Lunar Orbital Evolution: A Synthesis of Recent Results”, *Geophysical Research Letters*, 26 (19), 3045-3048.

Darwin, G.H. 1877, “On the influence of geological changes on the Earth's axis of rotation”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 167, 271.

- Darwin, G.H.** 1879, “On the precession of a viscous spheroid and on the remote history of the earth”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 170, 447-530,
- Darwin, G.H.** 1880, “On the secular change of the orbit of a satellite revolving about a tidally distorted planet”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 171, 713-891.
- Dickey, J.O.** et al. 1994, “Lunar laser Ranging: A Continuing Legacy of the Apollo Program”, *Science*, 265, 482-490.
- Goldreich, P.** 1966, “History of the Lunar orbit”, *Reviews of Geophysics*, 4 (4), 411-439.
- Hansen, K.S.** 1982, “Secular Effects of Oceanic Tidal Dissipation on the Moon's Orbit and the Earth's Rotation”, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20 (3), 457-480,
- Kagan, B.A. & Maslova, N.B.** 1994, “A stochastic model of the Earth-moon tidal evolution accounting for cyclic variations of resonant properties of the ocean: An asymptotic solution”, *Earth, Moon and Planets*, 66, 173-188,
- Kagan, B.A.** 1997, “Earth-Moon tidal evolution: model results and observational evidence”, *Progress in Oceanography*, 40 (1-4), 109-124.
- Kahn, P.G. & Pompea, S.M.** 1978, “Nautiloid growth rhythms and dynamical evolution of the earth-moon system”, *Nature*, 275, 606-611.
- Lambeck, K.** 1980, *The Earth's Variable Rotation - Geophysical causes and consequences*, Cambridge, U.K: Cambridge University Press.
- Ma, T.Y.H.** 1958, “The relation of growth rate of reef corals to surface temperature of sea water as a basis for study of causes of diastrophisms instigating evolution of life”, *Research on the Past Climate and Continental Drift*, 14, 1-60.
- Munk, W.H. & McDonald, G.J.F.** 1975, *The Rotation of the Earth - A Geophysical Discussion*, Cambridge (U.K.): Cambridge University Press.
- Ray R.D., Bills B.G., Chao B.F.** 1999, “Lunar and solar torques on the oceanic tides”, *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*, 104 (B8), 17653-17659.
- Touma, J. & Wisdom, J.** 1994, “Evolution of the Earth-moon system”, *Astronomical Journal*, 108 (5), 1943-1961.
- Wells, J.W.** 1963, “Coral growth and geochronometry”, *Nature*, 197, 948-950.
- Williams, G.E.** 1990, “Tidal Rhythmites - Key to the History of the Earth's Rotation and the Moon's Orbit”, *Journal of the Physics of the Earth*, 38 (6), 475-491.
- Williams, G.E.**, 1997, “Precambrian Length of Day and the Validity of Tidal Rhythmite paleotidal Values”, *Geophysical Research Letters*, 24 (4), 421-424.