

# La órbita de la Luna alrededor del Sol

Sabemos que la Luna se desplaza alrededor de nuestro planeta en una órbita casi circular, y que tarda algo menos de un mes calendario en completarla. Sabemos también que la Tierra, como todos los planetas del Sistema Solar, se traslada alrededor del Sol en una órbita de igual forma, a la que se ha dado el nombre de *eclíptica*. En ese traslado va acompañada por la Luna, que por efecto de la fuerza de gravedad jamás se le despega, de suerte que, en realidad, es el sistema Tierra-Luna el que recorre la eclíptica y completa su recorrido en un año. Ambas órbitas, en honor a la precisión, tienen forma elíptica, pero como sus elipses están apenas achatadas (técnicamente se dice que tienen una pequeña excentricidad), podemos tomarlas por equivalentes a circunferencias.

Imaginemos ahora por un instante

que, como observadores, nos vamos de la Tierra y nos elevamos en el espacio a gran distancia de ella en una dirección perpendicular al plano de la eclíptica, es decir, nos colocamos en un punto que, por semejanza a los polos celestes, podríamos llamar un *polo eclíptico*.

Para aclarar el concepto de polo eclíptico apuntemos que, de la misma manera que definimos los polos norte y sur celestes como los puntos en que el eje de rotación de la Tierra perfora la bóveda celeste, también podemos definir los polos norte y sur eclípticos como los puntos en que la esfera celeste es alcanzada por un eje perpendicular al plano de la eclíptica. Y dado que nuestro hábito es imaginarnos que el polo norte está arriba y el sur abajo, supongamos que contemplamos la trayectoria de traslación de la Tierra y la

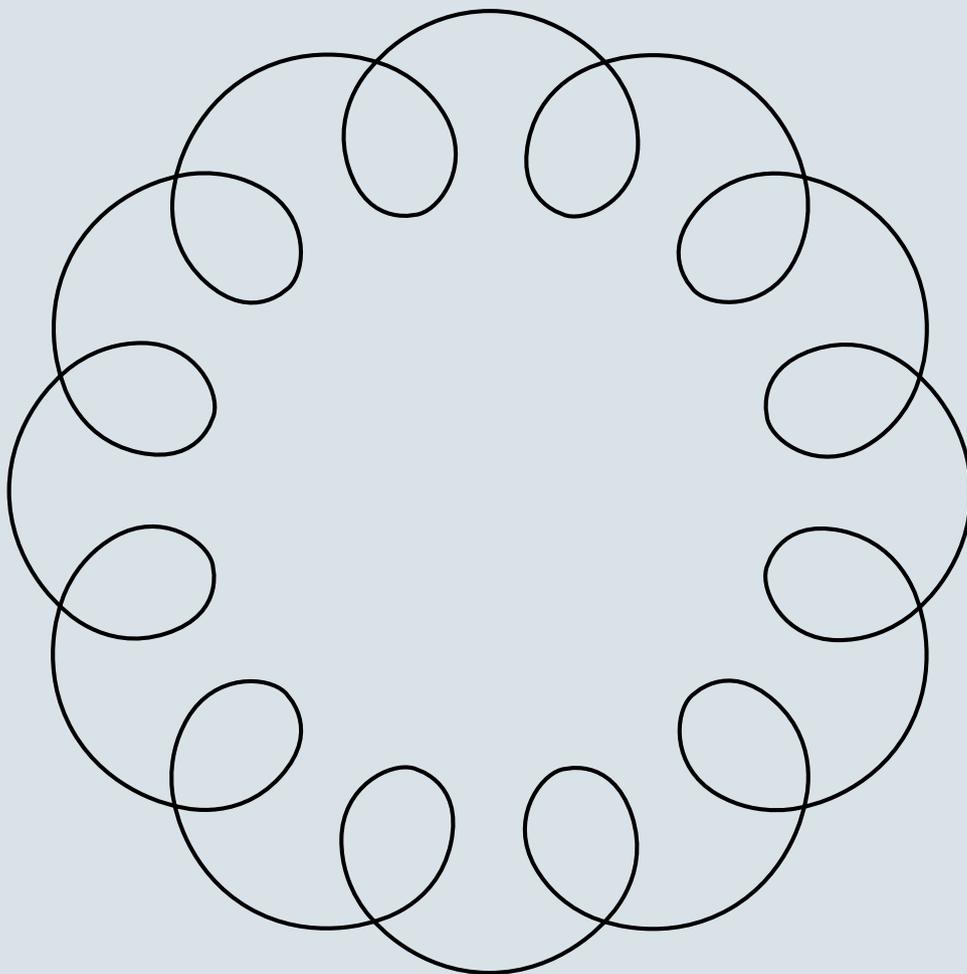
Luna alrededor del Sol mirando hacia abajo desde el polo norte eclíptico.

¿Qué forma tendría, vista desde allí, la órbita de la Luna, producto de su doble movimiento (en torno a la Tierra, y con esta alrededor del Sol)? Podríamos pensar que como en el calendario hay doce meses, y como cada ciclo o traslación completa de la Luna en torno a la Tierra dura (aproximadamente) un mes, la trayectoria de la Luna alrededor del Sol podría representarse por la figura 1. Sin duda, esta intuición está de acuerdo con el sentido común, es lógica y nos lleva a un trazado geométrico muy bonito. Pero sucede que no refleja la realidad astronómica.

Para aproximarnos a esta realidad que subyace a la forma de la trayectoria lunar alrededor del Sol, hagamos un nuevo esfuerzo de imaginación y, siempre desde nuestro observatorio

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Hacer un esfuerzo en el aula, con la participación de los alumnos, por determinar la forma de la órbita de la Luna en torno al Sol constituye un buen camino para comprender conceptos astronómicos básicos.



**Figura 1.** Como la Luna da varias vueltas alrededor de la Tierra en el tiempo en que esta recorre su órbita alrededor del Sol, la idea ingenua sobre la forma de la órbita de la Luna alrededor del Sol es muchas veces caracterizada por esta figura, con doce bucles correspondientes a los doce meses del año. En realidad, esto no se corresponde con su verdadero movimiento. Gráfico según Helmer Aslaksen, Universidad Nacional de Singapur.

del polo norte eclíptico, convirtamos la Tierra en invisible: sigue estando donde siempre (porque si la quitamos quitaríamos también su gravedad, que mantiene a la Luna en órbita) pero no la vemos, y vemos solo a la Luna orbitando una Tierra invisible y trasladándose alrededor del Sol. En esas condiciones, ¿cómo sería la órbita de la Luna alrededor del Sol que podríamos apreciar desde la distancia? En otras palabras: ¿cómo es la trayectoria de la Luna en el espacio que resulta del movimiento *combinado* de esta alrededor de la Tierra y de ambos astros alrededor del Sol?

Consideremos algunas preguntas útiles para plantear la situación (que quizá entren en conflicto con otros conocimientos que tienen los estudiantes):

- ¿Cómo deberían ser las velocidades de los astros en sus respectivas órbitas para que se dé una

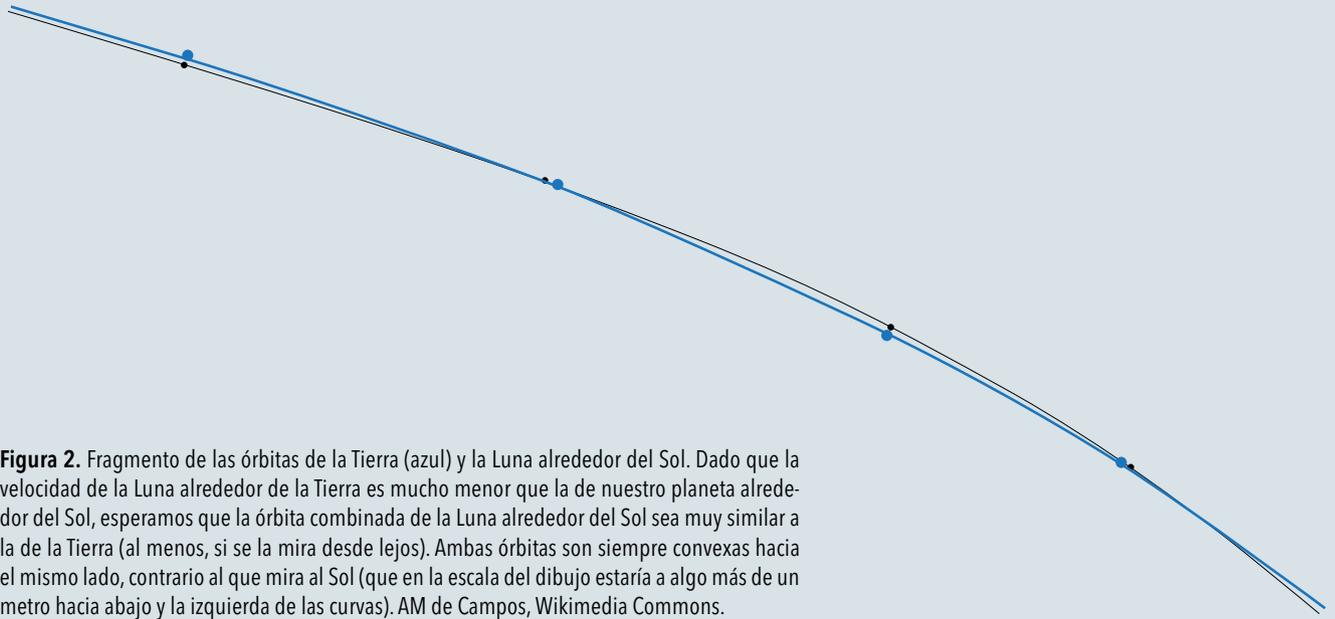
situación como la que muestra la figura 1?

- Cuando la Luna se halle transitando el interior de uno de los bucles de esa figura, su movimiento aparente en el cielo, visto desde la Tierra, sería en sentido contrario al usual. ¿Alguien recuerda haber visto a la Luna retroceder en su camino diario por el cielo? Algún alumno podría sugerir que esa parte de la trayectoria lunar coincide con la fase de Luna nueva, cuando el Sol y la Luna se hallan muy próximos en el cielo, y que por eso no es una situación fácilmente visible.
- Sabemos que el Sol es inmensamente más grande y masivo que nuestro planeta. ¿No debería ser el Sol, y no la Tierra, el cuerpo cuya gravitación más atrajese a la Luna? En ese caso, ¿no debería ser el Sol

el principal responsable de la forma de la órbita lunar?

Con estas u otras preguntas similares sobre la mesa, el docente puede dejar que los alumnos, en pequeños grupos, se tomen un tiempo para discutir y manifestar así sus conocimientos y dudas sobre la verdadera trayectoria de la Luna alrededor del Sol.

Transcurrido ese tiempo, puede comenzar a dilucidar las preguntas con todos, partiendo del hecho de que la Tierra se desplaza alrededor del Sol a una velocidad de unos 30km/s (unos 108.000km/h); la Luna se mueve alrededor de la Tierra, en promedio, unas 30 veces más despacio: a algo más de 1km/s (unos 3600km/h). Si consideramos ahora la velocidad de la Luna con respecto al Sol, podemos concluir que diferirá en apenas un pequeño porcentaje de la velocidad de la Tierra alrededor del Sol, por lo que jamás podría



**Figura 2.** Fragmento de las órbitas de la Tierra (azul) y la Luna alrededor del Sol. Dado que la velocidad de la Luna alrededor de la Tierra es mucho menor que la de nuestro planeta alrededor del Sol, esperamos que la órbita combinada de la Luna alrededor del Sol sea muy similar a la de la Tierra (al menos, si se la mira desde lejos). Ambas órbitas son siempre convexas hacia el mismo lado, contrario al que mira al Sol (que en la escala del dibujo estaría a algo más de un metro hacia abajo y la izquierda de las curvas). AM de Campos, Wikimedia Commons.

reflejarse en un dibujo como el de la figura 1.

Con un poco más de precisión: considerando cada astro de modo independiente, la velocidad de traslación de la Luna alrededor del Sol variará, en números redondos, entre el 97% y el 103% de la velocidad de la Tierra en su traslación alrededor del Sol. En otras palabras, la Luna jamás logrará contrarrestar la rapidez de nuestro planeta, y por ello su trayectoria nunca podría representarse con los bucles o movimientos retrógrados de la figura 1.

El matemático Helmer Aslaksen, de la Universidad Nacional de Singapur (cuyo sitio web figura entre las lecturas sugeridas), sugirió una comparación interesante para entender ese movimiento: imaginemos un automóvil de fórmula 1 que se desplaza a alta velocidad por la pista *circular* de un autódromo. En un momento, acelera y se adelanta a otro competidor por el lado exterior de la pista. Luego de regresar a su carril disminuye su velocidad hasta igualarla a la del auto al que sobrepasó. Instantes después el segundo auto hace exactamente lo mismo, y de entonces en más el proceso se repite de modo permanente.

Como resultado, el primer auto, que podríamos llamar Luna, parece

estar haciendo círculos alrededor del segundo, que podríamos llamar Tierra. Pero si miráramos la pista desde un helicóptero inmóvil un par de cientos de metros sobre el autódromo, veríamos que ambos autos (o astros) se desplazan todo el tiempo hacia adelante, y que la trayectoria (u órbita) de cada uno es siempre una curva en torno al centro de la pista circular (el Sol).

Se dice que una curva o superficie es convexa cuando tiene una forma más saliente en el centro que en los bordes (una panza prominente o un chichón presentan superficies convexas). En cambio, una superficie cóncava tiene hundida su parte central (los charcos de agua se forman en concavidades del suelo). En nuestro caso, las trayectorias (u órbitas) de los autos alrededor del centro (el Sol) tienen siempre la misma curvatura, y esta es convexa (siempre se curva hacia el centro). La convexidad de la órbita en la figura 1, sin embargo, cambia constantemente: cuando va por afuera es convexa; cuando va por la parte interior (en medio del 'rulo') es cóncava. Y esto no está de acuerdo con el análisis de las velocidades que acabamos de ver.

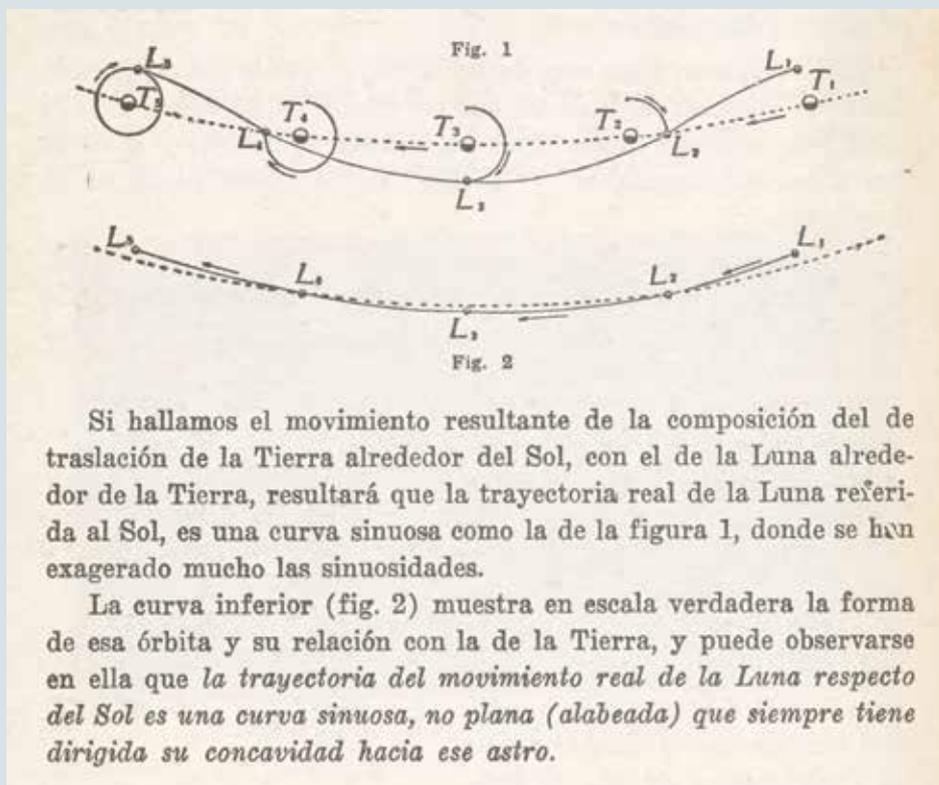
A la luz de estas consideraciones es posible entender con más facilidad que la órbita de la Luna alrededor del Sol se curva siempre para el mismo

lado: hacia el centro de la órbita, donde se halla el Sol. Dadas las diferencias de velocidades explicadas, en nuestro experimento mental de hacer invisible la Tierra, veríamos que la órbita de la Luna en torno al Sol, vista desde lejos, sería muy similar a la de la Tierra en torno a este. Si nos acercáramos para ver con más detalle una pequeña porción de ambas órbitas, percibiríamos lo que muestra la figura 2.

Vayamos ahora a la tercera pregunta formulada anteriormente, la que sugería que, a fin de cuentas, la mayor responsabilidad sobre la forma del movimiento efectivo de nuestro satélite natural es del Sol y no de la Tierra. ¿Será así?

Para confirmarlo, no pensemos en términos de velocidades sino en términos de fuerzas. No es difícil calcular las fuerzas que unen gravitacionalmente a la Luna con la Tierra y el Sol. Sabemos, como lo estableció Isaac Newton (1643-1727), que en palabras sencillas esas fuerzas son directamente proporcionales a las masas de los astros e inversamente proporcionales al cuadrado de las distancias que los separan. En virtud de las masas y las distancias en cuestión, ¿cuál de las dos fuerzas es más importante?

Si hacemos las cuentas, advertiremos que la fuerza Luna-Sol (que consi-



**Figura 3.** Reproducción de parte de una página de la edición de 1961 del texto *Elementos de cosmografía*, de ES Cabrera y HJ Medici (Librería del Colegio), usado en la Argentina en el último año del secundario, y atesorado por mucho tiempo en la biblioteca familiar del autor. La línea continua representa la órbita de la Luna; la punteada, la de la Tierra.

Si hallamos el movimiento resultante de la composición del de traslación de la Tierra alrededor del Sol, con el de la Luna alrededor de la Tierra, resultará que la trayectoria real de la Luna referida al Sol, es una curva sinuosa como la de la figura 1, donde se han exagerado mucho las sinuosidades.

La curva inferior (fig. 2) muestra en escala verdadera la forma de esa órbita y su relación con la de la Tierra, y puede observarse en ella que *la trayectoria del movimiento real de la Luna respecto del Sol es una curva sinuosa, no plana (alabeada) que siempre tiene dirigida su concavidad hacia ese astro.*

derada desde la Luna siempre tira hacia el Sol) es más de dos veces mayor que la fuerza Luna-Tierra (que desde la Luna a veces tira en dirección contraria al Sol). En conclusión, la fuerza neta sobre la Luna la estará siempre traccionando aproximadamente en dirección al Sol. La realidad, pues, es que la Luna orbita alrededor del Sol, pero de manera algo perturbada por el campo gravitatorio de la Tierra.

Permítansenos apuntar al margen, como una curiosidad que puede resultar simpática para los docentes, que las cuestiones presentadas aquí esta-

ban incluidas en un texto usado en la década de 1950 en el último año del bachillerato, escrito por los profesores de matemática Emanuel Cabrera y Héctor Medici bastante antes de que naciera el autor de esta contribución. Algún veterano editor de CIENCIA HOY recuerda haber usado ese texto en sus tiempos escolares. La figura 3 reproduce una parte de ese texto que explica lo mismo que esta nota.

Como comentario adicional a lo discutido, aquí podríamos agregar que la trayectoria de la Luna en el espacio, hablando con rigor, no es una circunfe-

rencia alrededor del Sol, ni siquiera una elipse de pequeña excentricidad en torno al astro, pues este tampoco está fijo en un lugar. El Sol, junto con la Tierra y la Luna, se desplaza alrededor del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, la cual tampoco permanece inmóvil, y así *ad infinitum*. En resumen, podemos afirmar sin sombra de duda que la Luna, desde su origen, no ha pasado dos veces por el mismo sitio del espacio, y que jamás lo hará (claro que algún alumno aventajado nos podría poner en apuros preguntándonos qué entendemos por el mismo sitio del espacio). **CH**

## LECTURAS SUGERIDAS

**ASLAKSEN H**, 'Heavenly Mathematics and Cultural Astronomy', [www.math.nus.edu.sg/aslaksen/teaching/heavenly.html](http://www.math.nus.edu.sg/aslaksen/teaching/heavenly.html) (consultado en marzo de 2015).

**BRANNEN NS**, 2001, 'The Sun, the Moon and Convexity', *The College Mathematics Journal*, 32: 268-272.

**HODGES L**, 2002, 'Why the Moon's Orbit is Convex', *The College Mathematics Journal*, 33: 169-170.



### Alejandro Gangui

Doctor en astrofísica, Escuela Internacional de Estudios Avanzados, Trieste.

Investigador independiente del Conicet.

Profesor adjunto, FCEYN, UBA.

Miembro del Centro de Formación e Investigación en la Enseñanza de las Ciencias, FCEYN, UBA.

[gangui@df.uba.ar](mailto:gangui@df.uba.ar)

[cms.iafe.uba.ar/gangui](http://cms.iafe.uba.ar/gangui)