UN COMETA EN LA COCTELERA

Cómo influye la astronomía en nuestra vida cotidiana

PREMIO AL LIBRO DE CIENCIA DEL AÑO EN ALEMANIA

FLORIAN FREISTETTER

Ariel

Florian Freistetter

Un cometa en la coctelera

Cómo influye la astronomía en nuestra vida cotidiana

Traducción de Sergio Pawlowsky
Ilustraciones de Gottfried Müller

Ariel CLAVES

Título original: *Der Komet im Cocktailglas*

Publicado originalmente por Carl Hanser Verlag, Múnich

1.ª edición: enero de 2015

© 2013, Carl Hanser Verlag München

Ilustraciones de Gottfried Müller

© 2015 de la traducción, Sergio Pawlowsky

Derechos exclusivos de edición en español
reservados para todo el mundo
y propiedad de la traducción:
© 2015: Editorial Planeta, S. A.
Avda. Diagonal, 662-664 - 08034 Barcelona

Editorial Ariel es un sello editorial de Planeta, S. A.
www.ariel.es

ISBN 978-84-344-1918-6

Depósito legal: B. 24.908- 2014

Impreso en España por Limpergraf

El papel utilizado para la impresión de este libro
es cien por cien libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación
a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio,
sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos,
sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos
mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual
(Art. 270 y siguientes del Código Penal).
Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita
fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com
o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Índice

Introducción 11

PARTE 1: En la calle

El viento del pasado 15
La Luna echa el freno 22
Televisión por satélite: toda la verdad 27
El reloj en el cielo 43
Colisiones lucrativas 53

PARTE 2: En el parque

El polvo desciende en silencio 61
Primavera, verano, otoño... y ¡catacroc! 66
¡Viva el efecto invernadero!. 71
En busca de árboles extraterrestres 74
Agua cósmica 78
Dónde viven hoy los dinosaurios. 81
Los numerosos ojos de los astrónomos 94

PARTE 3: En el bar

El Sol en el plato 105
Todo viene de las estrellas 123
El crepúsculo desde distintos puntos de vista. 129
El *big bang* en la pantalla 136
La búsqueda de la oscuridad 145

PARTE 4: Bajo el cielo estrellado

En taxi por el espacio-tiempo 153
El camino más corto de A a B 164
¿Cuántas estrellas hay en el firmamento? 173
La Luna y los humanos 179
Al final oscurece 190

El universo en la librería 195

Índice onomástico 199

PARTE 1
En la calle

Vamos a la ciudad. Bajamos la escalera y salimos por la puerta a la calle. Nos encontraremos con el universo en cada esquina. El primer paso sobre la acera ya nos retrotrae al comienzo del Sistema Solar. En la calle, delante de casa, a simple vista todo parece normal, como en un día cualquiera. Casas, ventanas, coches estacionados junto a las aceras. Todo esto lo tenemos ya muy visto. Pero hoy contemplaremos las cosas de un modo distinto, porque detrás de todas las cosas cotidianas se esconde el universo.

EL VIENTO DEL PASADO

Mientras nos detenemos en la acera y observamos nuestra calle, se levanta una brisa que nos agita el cabello. Esto también es un hecho normal y corriente. Sin embargo, ese viento es un mensajero de los primeros tiempos del Sistema Solar; viene de un pasado de 4.500 millones de años, cuando todavía no existía el planeta Tierra. Parece asombroso, pero no por ello es menos cierto. No tenemos más que mirar tras la fachada de las cosas cotidianas.

¿Qué es el viento? El viento es aire que se mueve. Nuestra Tierra está envuelta en una capa de aire, y este aire no está quieto, sino que se mueve continuamente. La causa de

ello radica en las diferentes presiones atmosféricas. El aire siempre busca el equilibrio y fluye de las zonas de altas presiones a las de bajas presiones. La temperatura del aire, que varía continuamente a lo largo del día y también en el curso de un año, genera todo el rato nuevas diferencias de presión atmosférica.

El aire caliente se expande y asciende, mientras que el aire más frío se contrae y desciende, y la cantidad de aire que hay encima de un determinado punto de la superficie terrestre también varía. Esto hace que no en todas partes presione la misma cantidad de aire sobre el suelo, con lo que se generan diferentes presiones atmosféricas.

A gran escala son los anticiclones y las borrascas los fenómenos que determinan el tiempo que hace. En los anticiclones impera una mayor presión atmosférica y en las borrascas la presión es menor que la media.

Alrededor de unos y otras circulan vientos, pero no del todo aleatorios, sino sujetos a ciertas reglas: en el hemisferio septentrional de la Tierra, el aire siempre se mueve en torno a los anticiclones en el sentido de las agujas del reloj, y en torno a las borrascas en sentido contrario. En el hemisferio meridional ocurre justo lo contrario. Este comportamiento se debe a la rotación de la Tierra. Para comprenderlo nos iremos mentalmente de vacaciones...

Imaginemos que estamos tumbados en una playa en cualquier lugar de la latitud 0, es decir, de la zona ecuatorial. Aunque nos hallemos dormitando en la tumbona, nos movemos, porque toda la Tierra gira cada día una vez sobre su propio eje. Si permanecemos acostados en la tumbona a lo largo de 24 horas, habremos dado exactamente una vuelta a la Tierra.[1] Esto equivale a una distancia igual a la longitud total del ecuador, que es de casi exactamente 40.000 kilóme-

1. Exactamente se tarda unos segundos menos. Depende de cómo se define «una vuelta». La diferencia se explicará más adelante.

tros, que habremos recorrido sin levantarnos de nuestra cómoda tumbona en la playa. Cuarenta mil kilómetros en 24 horas supone que nos hemos desplazado a casi ¡1.700 kilómetros por hora! Si tenemos la mala suerte de no encontrarnos en una playa ecuatorial, sino en la oficina, también vamos dando vueltas a la Tierra, aunque en este caso ya no recorremos 40.000 kilómetros. Supongamos que la oficina se halla en Berlín, una ciudad que se encuentra a 52 grados de latitud norte.[2] Si nos desplazamos desde aquí sobre una circunferencia alrededor de la Tierra, siempre en la misma latitud, pasaremos primero por Münster y Rotterdam, después sobrevolaremos Londres y cruzaremos el Atlántico. Si nos mantenemos en la misma latitud, alcanzaremos de nuevo tierra firme en Terranova, en Canadá, y en el extremo occidental del continente americano llegaremos, al norte de Vancouver, al océano Pacífico. Por poco no pasaremos por Japón y China, pero en Siberia volveremos al continente eurasiático; después atravesaremos Rusia y Bielorrusia y luego aterrizaremos de nuevo en Europa. Una breve visita a Varsovia y ya estaremos de vuelta en Berlín. Nos habremos desplazado siempre en la línea imaginaria de los 52 grados de latitud norte, y en este viaje habremos recorrido apenas 24.700 kilómetros.

Esta es la distancia que recorremos en un día mientras estamos sentados en la oficina. En el ecuador, la rotación de la Tierra nos ha transportado en 24 horas a lo largo de 40.000 kilómetros, pero en Berlín a lo largo de tan solo 24.700 kilómetros. Por tanto, en este último caso nos desplazamos más lentamente que en el ecuador, pues 24.700 kiló-

2. El ecuador está en la latitud 0, mientras que el polo norte se encuentra a 90 grados de latitud. Exactamente a mitad de camino entre el ecuador y el polo norte se hallan los 45 grados de latitud norte. En Berlín, por tanto, a 52 grados de latitud norte, nos encontramos un poco más cerca del polo norte que del ecuador.

metros en 24 horas supone una velocidad de apenas 1.000 kilómetros por hora. Y cuanto más al norte vayamos, tanto más lento será el desplazamiento: por ejemplo, si estamos en la ciudad de Ny-Ålesund, en la isla de Spitzbergen, en el océano Polar Ártico, en un día solo recorreremos, gracias a la rotación de la Tierra, 7.700 kilómetros, lo que representa una velocidad de 320 kilómetros por hora. En el punto exacto del polo norte ya no nos desplazaremos, sino que daremos una vuelta sobre nosotros mismos a lo largo de 24 horas.

¿Qué tiene que ver todo esto con el tiempo que hace? ¿Qué más da que nos movamos junto con la Tierra? Al fin y al cabo, ¡ni lo notamos! Esto es cierto, pero solo si permanecemos quietos en la tumbona de la playa, en la oficina de Berlín o en la isla de Spitzbergen. Imaginemos de nuevo que estamos relajándonos en la playa ecuatorial. De los 1.700 kilómetros por hora a los que nos arrastra la Tierra en su rotación no notamos nada, pues todo lo que nos rodea se desplaza junto con nosotros a la misma velocidad. De pronto nos vemos catapultados de nuevo a la oficina de Berlín, donde nos espera el jefe. Él también está sentado y quieto en su sillón y tampoco nota nada de los 1.000 kilómetros por hora a los que se desplaza en virtud de la rotación terrestre. De repente aparecemos nosotros delante de él, recién llegados a Berlín directamente desde la playa, y todavía nos desplazamos a una velocidad de 1.700 kilómetros por hora. Es decir, 700 kilómetros por hora más rápidamente que los compañeros de la oficina berlinesa. Por tanto, el jefe solo puede vernos durante un instante hasta que nos pierde de vista porque nos alejamos a 700 kilómetros por hora hacia el este. La velocidad a la que nos desplaza la Tierra no tiene importancia cuando todo lo que nos rodea se mueve con la misma rapidez. Si nos trasladamos a otra latitud de forma instantánea, la cosa cambia.

Claro que en la realidad esto no ocurre, pues no podemos desplazarnos así como así de un lado para otro a la ve-

locidad del rayo. El aire, no obstante, sí que se mueve sin problemas por todo el planeta. Desde el ecuador fluye hacia el norte o el sur, y entonces se enfrenta al mismo problema que nosotros con nuestro experimento mental. Desde el punto de vista del aire que fluye rápidamente del ecuador hacia el norte, la Tierra gira cada vez más lentamente a medida que asciende la latitud. Entonces, del mismo modo que desde el punto de vista del jefe nosotros nos deslizábamos hacia el este al llegar de la playa ecuatorial a Berlín, el aire también se mueve ahora hacia el este a mayor velocidad que la Tierra que tiene debajo. Desde el suelo se tiene la sensación de que el aire que fluye hacia el norte se desvía cada vez más hacia el este a medida que avanza hacia el norte. Si en algún lugar encima de Europa hay una zona de bajas presiones, una borrasca, entonces el aire fluye desde todas las direcciones hacia ella: el aire que viene del sur se desvía hacia el este, mientras que el aire que procede del norte se desvía hacia el oeste. Es decir, el aire no fluye directamente al interior de la borrasca, sino que describe un círculo que gira en sentido contrario al de las agujas del reloj.[3]

Este efecto deflector también se denomina «fuerza de Coriolis». Esta es responsable del viento que se mueve alrededor de los anticiclones y las borrascas. En cambio, la fuerza de Coriolis no determina la dirección en que gira el remolino de agua que sale por un desagüe. Dice una leyenda urbana que en el hemisferio norte el agua gira en sentido contrario al de las agujas del reloj y en el hemisferio sur en el sentido de las agujas del reloj. Teóricamente es cierto que la fuerza de Coriolis ejerce sobre el agua el mismo efecto que sobre el aire en movimiento. Sin embargo, un váter, un fregadero o una bañera son demasiado pequeños para que esa fuerza pueda tener un efecto real. El sentido en que gira el

3. En el hemisferio sur ocurre exactamente lo mismo, pero con las direcciones invertidas.

remolino de agua que sale del recipiente depende más bien de la forma de este y de la dirección en que se movía por casualidad el agua en ese momento junto al desagüe.

El tiempo meteorológico y el aire que nos despeina se deben por tanto a la rotación de la Tierra. ¿Por qué gira el planeta? ¿Acaso no podría ser cierto, al menos teóricamente, lo que pensaban los científicos de la Antigüedad, a saber, que la Tierra era el centro inmóvil del universo y que todo giraba alrededor de ella? ¿A qué se debe que la Tierra y todos los demás planetas giren sobre su propio eje?

La causa de ello se halla en el pasado, hace unos 4.500 millones de años. En aquel entonces todavía no existían planetas, ni siquiera había un sol. Allí donde se encuentra ahora el Sistema Solar no había más que una gigantesca nube de polvo y gas. Entonces ocurrió algo: tal vez una estrella pasó rozando esa nube o explotó en la proximidad. Hoy ya no podemos dilucidar qué es lo que sucedió exactamente, pero sí sabemos que algo perturbó la nube. El gas y el polvo se agitaron un poco, con lo que esa materia dejó de estar uniformemente repartida. En algunas regiones se acumuló más gas y polvo que en otras. Las zonas más densas vieron aumentar su fuerza gravitatoria y comenzaron a atraer el gas y el polvo de las zonas circundantes. En la nube se formaron conglomerados que crecían más rápidamente a medida que aumentaban de tamaño.

La agregación de grumos en la nube repercutió en el movimiento de las partículas, que comenzaron a girar alrededor de aquellos. Cuanto más se acercaban a los conglomerados, tanto más aumentaba la fuerza de atracción de los mismos y tanto más ascendía la velocidad a la que se movían. Los propios conglomerados también se movían: a medida que se volvían más densos giraban cada vez más rápidamente. Conocemos el fenómeno por el patinaje sobre hielo: cuanto más aprieta el patinador los brazos y piernas contra su cuerpo, es decir, cuanto más compacto se hace, tanto más

rápidamente gira. Del mismo modo que no se puede generar ni destruir la energía, tampoco puede desaparecer simplemente la energía rotatoria. Exactamente lo mismo ocurría en nuestra nube: cuanto más gas y polvo atraía un conglomerado, tanto más rápidamente giraba. Por consiguiente, los conglomerados se volvían cada vez más densos y atraían cada vez más material. En su interior aumentaba el calor. Con el tiempo se convirtieron en «protoestrellas» (es decir, en estrellas inacabadas) y cada uno de ellos estaba rodeado por un disco rotatorio formado por el gas y el polvo que quedaban.

Una de esas protoestrellas se convertiría en nuestro Sol. Los conglomerados se colapsaban cada vez más a causa de su propia fuerza de atracción, y a medida que se calentaba la protoestrella, tanto más rápidamente se movían los átomos en su interior. Claro que al hacerlo chocaban continuamente entre sí, y al principio rebotaban y se volvían a separar. Cuando la temperatura alcanzó el nivel crítico de unos 10 millones de grados, los átomos estaban tan acelerados que al colisionar llegaban a fusionarse unos con otros. Este proceso se denomina «fusión nuclear» y en él se libera energía. Así que la protoestrella comenzó a brillar. Las radiaciones que salían de su interior contrarrestaban la compresión, deteniendo el colapso de los conglomerados. La protoestrella se estabilizó y... ¡había nacido el Sol!

Sin embargo, al principio el Sol todavía estaba rodeado por un gran disco de gas y polvo, en cuyo interior se desarrollaba el mismo proceso que había tenido lugar en la nube. Las partículas de polvo chocaban entre sí, se juntaban y se mantenían unidas. Las partículas fueron aumentando de tamaño hasta que el disco de polvo se convirtió en un anillo gigantesco de rocas kilométricas. Estas también chocaban entre sí y siguieron creciendo. Algunas de las rocas crecieron más rápidamente que otras, su fuerza de atracción fue aumentando y de este modo se juntaban con cada vez más rocas del anillo. Así se formaron finalmente los planetas, que

también giraban con tanta mayor rapidez alrededor de su propio eje cuanto más densos y compactos se volvieron. Uno de estos planetas era la Tierra. Su génesis turbulenta es el motivo por el que no está quieta, sino que gira alrededor de su eje.

Vivimos por tanto en una gigantesca esfera de metal y roca que no deja de dar vueltas y vueltas sobre sí misma. Esta rotación es una consecuencia directa de los procesos que tuvieron lugar cuando se formó el Sistema Solar. Hoy en día determina el comportamiento de los vientos y del tiempo meteorológico. El viento que sopla con tanta fuerza y que notamos cuando vamos por la calle es consecuencia de la formación de nuestro planeta hace 4.500 millones de años.

LA LUNA ECHA EL FRENO

Debido a que nosotros nos movemos junto con la Tierra, no percibimos la rotación. Tenemos la sensación de que el resto del universo gira alrededor de nosotros. El Sol, que es el centro fijo propiamente dicho de nuestro Sistema Solar, desde nuestro punto de vista parece desplazarse todos los días de este a oeste. Mientras estábamos a la puerta de nuestra casa y reflexionábamos sobre el viento y la génesis de la Tierra, el Sol ha recorrido un buen trecho sobre nuestras cabezas. Las sombras de las casas del vecindario, las de los balcones, los árboles y las antenas parabólicas también se han movido un poco. Todavía estamos a primera hora de la mañana, pero a medida que el sol asciende en el cielo, las sombras se hacen cada vez más cortas. A mediodía, cuando alcanza su punto más alto, las sombras se reducen a la mínima expresión, y a continuación vuelven a alargarse, hasta que al atardecer el sol desaparece tras el horizonte. Este juego se repite día tras día: cada 24 horas sale el sol y cada 24 horas se pone. En realidad, por supuesto, es la Tierra la que gira una vez cada

24 horas alrededor de su propio eje. Sin embargo, esto no siempre ha sido así.

En la vida cotidiana estamos acostumbrados a que toda rotación acaba deteniéndose si no se aplica energía para mantener el movimiento. Una peonza deja en algún momento de girar y se tumba. Esto ocurre por la simple razón de que la peonza gira *dentro* de la atmósfera terrestre y la fricción con el aire la frena. La Tierra, en cambio, gira en el espacio sideral, donde no hay aire. Ahí no hay fricción que pudiera frenar la Tierra, que una vez puesta en movimiento debería seguir girando sin detenerse nunca. Esto lo hace efectivamente, no en vano está girando desde hace 4.500 millones de años... pero la Tierra rota cada vez más lentamente, ¡y la culpa la tiene la Luna!

Si no nos halláramos a la puerta de casa, sino en una playa, podríamos observar las mareas. Cada 12 a 13 horas desciende o asciende el nivel del mar; estos fenómenos se denominan «marea baja» y «marea alta», o «bajamar» y «pleamar». La causa de los mismos radica en la fuerza de atracción de la Luna. A menudo oímos decir que la Luna atrae el agua de los océanos, generando de este modo una montaña de agua, y que dado que la Tierra gira alrededor de su eje, desde nuestro punto de vista esa montaña de agua da cada día una vuelta entera alrededor de la Tierra. Esta explicación sencilla, no obstante, es errónea. Si fuera así, solo habría una pleamar al día, pero de hecho observamos dos. Por tanto, no solo se forma una montaña de agua, sino dos: la segunda se produce en el lado diametralmente opuesto de la Tierra. La cuestión de las mareas, por tanto, es un poco más compleja...

Para comprenderla hemos de recordar que la fuerza gravitacional es una fuerza que disminuye con la distancia. La relación entre la magnitud de esta fuerza y la distancia es «geométrica», es decir, que si se duplica la distancia entre dos objetos, la fuerza de atracción entre ellos no se reduce a la mitad, sino a

un cuarto de la que había antes (dos elevado al cuadrado da cuatro); si se triplica la distancia, la fuerza se reduce a un noveno (tres elevado al cuadrado da nueve), y así sucesivamente. La distancia, por tanto, es un factor importante a la hora de calcular la magnitud de la fuerza que ejerce la Luna sobre la Tierra. En la superficie terrestre hay siempre un punto determinado más cercano a la Luna. Si dejamos de lado las montañas altas, ese punto será siempre el que se halla perpendicularmente frente a la Luna. Dado que es el punto más cercano a la Luna, allí es donde la fuerza gravitacional de esta es mayor. En el lado diametralmente opuesto del planeta se halla el punto terrestre más alejado de la Luna: se encuentra a poco menos de 13.000 kilómetros más lejos, y esta distancia adicional hace que en él la fuerza de atracción lunar sea menor. Por consiguiente, la Tierra es atraída por la Luna con más fuerza en un lado que en el lado opuesto.

La fuerza gravitacional nunca es unidireccional, pues todo cuerpo celeste atrae a todos los demás cuerpos celestes. Cuando decimos que «la Luna gira alrededor de la Tierra», en el fondo eso no es del todo exacto. La Luna atrae a la Tierra y la Tierra a la Luna. De ahí que ambos cuerpos celestes giren alrededor de su centro de gravedad común, como dos patinadores sobre hielo que van agarrados de las manos y describen un círculo. Si la Tierra y la Luna tuvieran la misma masa, también girarían alrededor de un punto situado justo a mitad de camino entre ambas. Sin embargo, la Tierra pesa mucho más que la Luna, por lo que el centro de gravedad entre ellas está mucho más cerca de la primera. Para ser exactos, se encuentra a tan solo 4.700 kilómetros de distancia del centro de la Tierra, es decir, se sitúa todavía *en el interior* de esta. Por esta razón se balancea muy poco mientras la Luna gira alrededor de ella.

Veamos ahora el efecto de la fuerza de atracción de la Luna sobre el centro de la Tierra, pues es este el que produce las mareas. En el punto de la superficie terrestre que se halla

perpendicularmente bajo la Luna, esa fuerza es mayor que en los demás puntos, y sobre todo es mayor que la fuerza que actúa desde el centro de la Tierra, que se halla a unos 6.500 kilómetros de distancia. Si restamos ahora la fuerza que actúa en el centro de la Tierra de la que interviene en la superficie terrestre, nos queda una fuerza neta que actúa en dirección a la Luna. Esta atrae efectivamente el agua de mar que se encuentra directamente debajo de ella y hace que se produzca una crecida. En el otro lado de la Tierra no solo estamos 13.000 kilómetros más lejos de la Luna, sino también 6.500 kilómetros más lejos del centro de la Tierra. Ahora, la fuerza que actúa en el centro es mayor que la que ejerce la Luna en el punto más alejado de la superficie terrestre. Si restamos la fuerza del centro de la que actúa en la superficie, obtenemos una fuerza que actúa en dirección opuesta a la Luna.

Simplificando podemos imaginar este fenómeno del modo siguiente: la Luna atrae la Tierra y con ella el agua de los océanos. En la cara de la Tierra que se encuentra exactamente frente a la Luna, esta fuerza de atracción es mayor, y la Luna genera una montaña de agua en el mar. En la otra cara de la Tierra, la fuerza de atracción es más débil, y por decirlo gráficamente, aquí no es el agua la que es atraída hacia fuera de la Tierra, sino la Tierra hacia fuera del agua. La fuerza de atracción de la Luna es en este punto mayor sobre la Tierra que sobre el agua (pues es el punto más alejado de la Luna). Por esta razón el agua se queda un poco rezagada y forma una segunda montaña. Las dos montañas de agua siguen en principio la rotación de la Luna. Si la Tierra no rotara, las dos montañas de agua darían junto con la Luna una vuelta a la Tierra cada mes.[4] Sin embargo, nuestro

4. Siempre que dejemos de lado las costas y los continentes, que obstaculizan el desplazamiento de las montañas de agua. Para ser exactos, las mareas no solo actúan sobre el agua, sino sobre el conjunto de la Tierra. Sin embargo, las rocas de los continentes no son líqui-

planeta no se está quieto, sino que gira cada día una vez sobre su eje, y el agua de los océanos gira con él. La rotación terrestre arrastra también las montañas de agua, aunque en realidad estas no lo desean. Por ello, la montaña de agua que se forma directamente bajo la Luna no se sitúa del todo «directamente» debajo de esta, sino un poco más adelante, porque la rotación de la Tierra la empuja literalmente. Del mismo modo, la montaña de agua del otro lado discurre un poco más atrás, pues allí ha de desplazarse en contra de la rotación de la Tierra y se ve frenada.

¡Esta es la fricción que reduce la velocidad de rotación de la Tierra! La Luna genera montañas de agua que circulan sobre los océanos y no pueden seguir libremente a la rotación terrestre, pues están bajo el efecto de la fuerza de atracción lunar. De este modo se produce una fricción que frena poco a poco el movimiento rotatorio de la Tierra. El efecto es realmente pequeño, pero se puede medir. Cada año, la rotación de la Tierra dura 17 microsegundos más debido a la fricción de las mareas. Es poca cosa, pero con el paso del tiempo se va acumulando el efecto. Hace 400 millones de años, la Tierra no necesitaba 24 horas para dar una vuelta sobre sí misma, sino tan solo 22 horas. Por esta razón, el año no tenía 365 días, sino nada menos que 400.

Esta desaceleración proseguirá en el futuro. La Tierra girará cada vez más lentamente (aunque nunca llegará a detenerse por completo). En un futuro remoto se habrá frenado tanto que para dar una vuelta sobre sí misma necesitará el mismo lapso de tiempo que requiere la Luna para girar una vez alrededor de la Tierra. En esa situación desaparecerá la fricción de las mareas. El periodo de rotación terrestre y el de circunvalación lunar serán entonces idénticos y las montañas de agua se situarán en el punto exacto debajo de la Luna y en

---

das y reaccionan mucho más lentamente que el agua, que es más fácil de mover.