

## NOTA PRELIMINAR

El libro de Y. I. Perelman pone al lector en contacto con problemas aislados de la astronomía, con sus maravillosos progresos científicos, y describe en forma seductora los fenómenos más importantes del cielo estrellado. El autor trata muchos fenómenos habituales, de observación diaria, desde un punto de vista totalmente nuevo e inesperado, y revela su verdadera esencia.

El propósito del libro es desplegar ante el lector el inmenso cuadro del espacio sideral y los hechos notables que en él tienen lugar, y despertar interés hacia una de las ciencias más cautivadoras, la ciencia del firmamento. Y. I. Perelman murió en 1942, durante el sitio de Leningrado, y no tuvo tiempo de llevar a cabo su propósito de escribir una continuación de este libro.



## PREFACIO

La astronomía es una ciencia dichosa; según la expresión del sabio francés Arago, no necesita elogios. Sus éxitos son tan cautivadores que no hay necesidad de llamar la atención sobre ellos. Sin embargo, la ciencia del cielo no está sólo constituida por descubrimientos maravillosos y teorías audaces. Su fundamento lo constituyen hechos comunes que se repiten día a día. Las personas que no son aficionadas al estudio del cielo tienen, en la mayoría de los casos, un conocimiento bastante vago de este aspecto ordinario de la astronomía y se interesan poco por él, ya que es difícil concentrar la atención en aquello que se halla siempre delante de los ojos.

Esta parte vulgar, cotidiana, de la ciencia del cielo, es su primera y no su última frontera, y constituye una parte importante, aunque no exclusiva, del contenido de la Astronomía recreativa. Este libro se esfuerza ante todo en ayudar al lector a aclarar y comprender los hechos astronómicos fundamentales. Esto no quiere decir que sea semejante a un texto elemental de introducción. La manera de tratar el tema lo distingue fundamentalmente de un libro de texto. Hechos comunes; conocidos a medias, son presentados aquí en una forma no acostumbrada, a menudo paradójica, desde puntos de vista nuevos, inesperados, lo cual despierta el interés y aumenta la atención hacia ellos. La exposición está exenta en lo posible de términos especializadas y de todas esas fórmulas complicadas que son un obstáculo habitual entre el lector y el libro de astronomía.

Con frecuencia se hace a los libros de divulgación el reproche de que en ellas no es posible aprender nada seriamente. El reproche es en cierta medida justo, y se fundamenta (si se tienen en cuenta las obras sobre ciencias naturales exactas) en la costumbre de eludir en ellos todo cálculo numérico. Y; sin embargo, el lector empezará a dominar el tema del libro cuando empiece a comprender, aunque sólo sea en forma elemental, los valores numéricos que en él se hallan. Por esto, en la Astronomía recreativa, como en sus otros libros de la misma serie, el autor no elude los cálculos sencillos, y sólo se preocupa porque sean expuestos en forma elemental y al alcance de quienes han estudiado las matemáticas de la segunda enseñanza. Los ejercicios de este género no sólo consolidan los conocimientos adquiridos, sino que, además, preparan para la lectura de libros más profundos.

En el presente manual se incluyen capítulos referentes a la Tierra, la Luna, los planetas, las estrellas y la gravitación. Por otra parte, el autor ha dado preferencia a temas que habitualmente no se exponen en las obras de divulgación: Los temas no tratados en este manual piensa desarrollarlos el autor, a su tiempo, en un segundo libro de Astronomía recreativa. Por lo demás, las obras de este género no se proponen agotar en forma sistemática el riquísimo contenido de la astronomía contemporánea.

**Capítulo Primero****LA TIERRA, SU FORMA Y MOVIMIENTOS**

*Contenido:*

[El Camino más Corto: en la Tierra y en el Mapa](#)

[El grado de Longitud y el grado de Latitud](#)

[¿En qué dirección voló Amundsen?](#)

[Cinco maneras de contar el tiempo](#)

[La duración de la luz diurna](#)

[Sombras extraordinarias](#)

[El problema de los dos trenes](#)

[El reloj de bolsillo como Brújula.](#)

[Noches "blancas" y Días "Negros"](#)

[La luz del día y la Oscuridad](#)

[El enigma del Sol Polar](#)

[¿Cuándo comienzan las Estaciones?](#)

[Tres "Si"](#)

[Si la trayectoria de la Tierra fuera más pronunciada](#)

[¿Cuándo Estamos más Cerca del Sol, al mediodía o por la tarde?](#)

[Agregue un Metro](#)

[Desde diferentes puntos de vista](#)

[Tiempo no terrenal](#)

[¿Dónde comienzan los meses y los años?](#)

[¿Cuántos viernes hay en Febrero?](#)

\* \* \*

**El Camino más Corto: en la Tierra y en el Mapa**

La maestra ha dibujado con la tiza dos puntos en la pizarra. Le pregunta a un pequeño alumno que hay ante ella si sabría decirle cual es la distancia más corta entre esos dos puntos.

El chico vacila un momento y después dibuja con cuidado una línea curva.

"Es este el camino más corto" le pregunta la maestra sorprendida. "¿Quién te lo ha enseñado?"

"Mi Papá. Él es taxista."

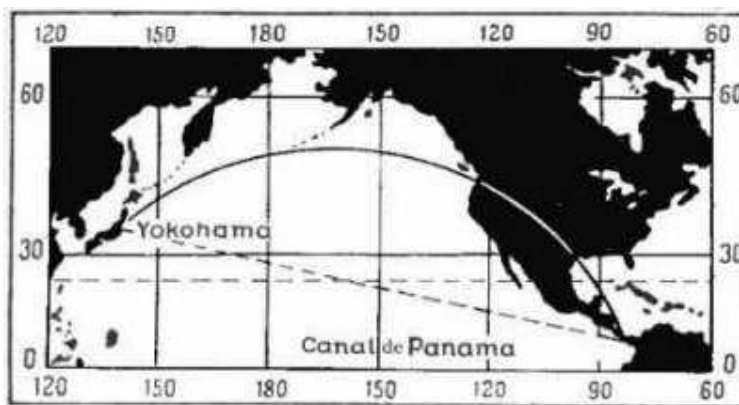


*Figura 1. Las cartas náuticas no designan el camino más corto del Cabo de Buena Esperanza a la punta sur de Australia por una línea recta ("loxodrómica") sino por una curva ("ortodrómica").*

El dibujo del ingenuo colegial es, por supuesto, un chiste. ¡Pero supongo que usted, también sonreiría incrédulo, cuando le hayan contado que la línea discontinua y arqueada de la Fig. 1 era el camino más corto desde el Cabo de Buena Esperanza a la punta sur de Australia! ¡Usted todavía se asombraría más al aprender que el camino indirecto de Japón al Canal de Panamá, mostrado en la Fig. 2, es más corto que la línea recta entre estos dos lugares en el mismo mapa!

Podría pensar que se trata de un chiste, pero es la pura verdad, no obstante, un hecho que todos los cartógrafos atestiguarían.

Para dejar las cosas claras debemos decir unas palabras sobre los mapas en general y sobre las cartas náuticas en particular. No resulta fácil dibujar una parte de la superficie de la Tierra, porque esta tiene la forma de una pelota.



*Figura 2. Parece increíble que la curva que une Yokohama con el Canal de Panamá es más corta en la carta náutica que la línea recta entre estos dos puntos.*

Nos guste o no tenemos que aguantarnos con las inevitables distorsiones cartográficas. Se han desarrollado muchos métodos para dibujar mapas, pero todos han tenido defectos en un sentido u otro.

Los marinos usan mapas trazados al modo de Mercator, una cartógrafo y matemático flamenco del siglo XVI. Este método se conoce como la Proyección de Mercator. Las cartas marinas son fácilmente reconocibles por su red de líneas entrelazadas; tanto los meridianos como las latitudes están indicados por líneas rectas en los paralelos y por ángulos rectos.

Imagine ahora que su objetivo es encontrar la ruta más corta entre un puerto y otro, ambos en el mismo paralelo. En el mar podrá navegar en cualquier dirección, y si sabe como, podrá encontrar siempre el camino más corto. Podría pensar naturalmente que el camino más corto sería navegar a través del paralelo que une ambos puertos, una línea recta en nuestro mapa. Después de todo, que puede ser más corto que una línea recta. Pero se equivocaría; la ruta a través del paralelo no sería la más corta. De hecho en la superficie de una pelota, el camino más corto entre dos puntos es el arco de confluencia del gran círculo<sup>1</sup>. Sin embargo, la latitud es un pequeño círculo.

El arco del gran círculo es menos curvado que el arco de cualquier pequeño círculo que pasen por esos dos puntos; el radio más grande pertenece a la curva más pequeña. Coja un trozo de hilo y estírelo a través del globo entre los dos puntos que haya elegido (ver Figura 3): notará que no sigue la línea del paralelo. Nuestro trozo de hilo incuestionablemente nos muestra la ruta más corta, así que si no coincide con el paralelo, lo mismo sucederá en las cartas náuticas, donde los paralelos están indicados como líneas rectas. La ruta más corta no será una línea recta así que solo puede ser una línea curva.

Eligiendo una ruta para el ferrocarril entre San Petersburgo y Moscú, según nos cuenta la historia, los ingenieros no conseguían ponerse de acuerdo. El Zar Nicolás I resolvió la situación dibujando una línea recta entre los dos puntos. Con un mapa con la proyección de Mercator el resultado habría sido embarazoso. La vía férrea hubiera resultado curva y no recta.

Por medio de un simple cálculo cualquiera puede ver por si mismo que una línea curva en un mapa es, de hecho, más corta que la que tomarías como recta. Imaginemos que nuestros hipotéticos puertos están en la misma latitud que Leningrado, aproximadamente en el paralelo 60 y separados por unos 60°.



*Figura 3. Una manera simple de encontrar el camino más corto entre dos puntos es estirar un pedazo de hilo entre los puntos dados en un globo.*

---

<sup>1</sup> “El gran círculo en la superficie de una esfera es cualquier círculo, cuyo centro coincida con el centro de la esfera. Todos los restantes círculos son denominados pequeños círculos.”

En la Figura 4, el punto O designa el centro del globo y AB el arco de 60° de la línea latitudinal donde se encuentran los puertos A y B. El punto C designa el centro de ese círculo latitudinal.

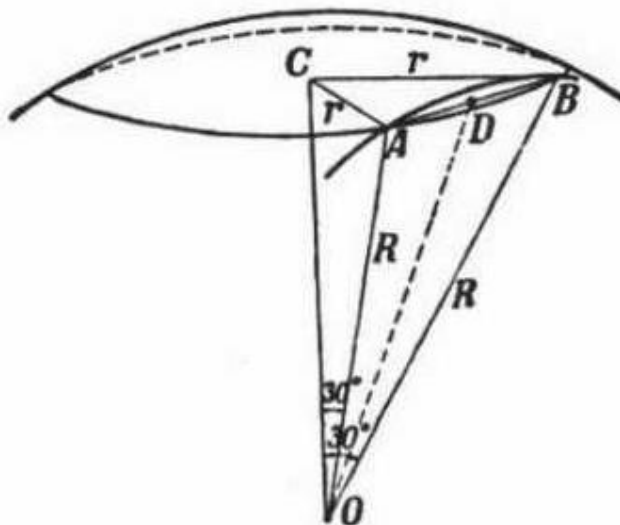


Figura 4. Cómo calcular las distancias entre los puntos A y B en una esfera a lo largo de los arcos del paralelo y el gran círculo.

Al dibujar a través de los dos puertos un gran arco del círculo imaginario con su centro en O, el centro del globo, su radio resulta  $OB = OA = R$ , de modo que será aproximado, pero no coincidirá exactamente con el arco AB.

Calculamos ahora la longitud de cada arco. Como los puntos A y B están a 60° de latitud, los radios OA y OB forman un ángulo de 30° con OC el último siendo el eje global imaginario. En el triángulo rectángulo ACO, el lado CA ( $= r$ ), adyacente al ángulo recto y opuesto al ángulo de 30°, es igual a la mitad de la hipotenusa AO, de modo que  $r = R/2$ .

Como la longitud del arco AB es una sexta parte de la longitud del círculo latitudinal, esa longitud es la siguiente:

$$AB = \frac{1}{6} \times \frac{40.000}{2} = 3.333 \text{ kilómetros}$$

Para determinar la longitud del arco del mayor de los círculos, debemos encontrar el valor de ángulo AOB.

Como la cuerda del arco AB, es el lado de un triángulo equilátero inscrito en el mismo pequeño círculo,  $AB = r = R/2$ . Si dibujamos una línea recta OD, uniendo el punto O, el centro del globo, con el punto D a medio camino de la cuerda del arco AB, obtenemos el triángulo rectángulo ODA.

Si DA es  $\frac{1}{2} AB$  y OA es R, entonces el seno AOD = AD: AO =  $R/4$ : R = 0.25.

Encontramos (de las tablas apropiadas) que  $\angle AOD = 14^\circ 28' 30''$  y que  $\angle AOB = 28^\circ 57'$ . Ahora será fácil encontrar el camino más corto, tomando la longitud de un minuto del gran círculo del globo como una milla náutica, o más o menos 1,85 kilómetros. Por lo tanto,

$$28^\circ 57' = 1,737' \approx 3,213 \text{ km.}$$

Así, encontramos que la ruta a lo largo del círculo latitudinal, indicada en las cartas náuticas por una línea recta, es 3,333 km., mientras que la ruta del gran círculo, una línea curva en el mapa, es de 3,213 km., es decir 120 km. más corta.

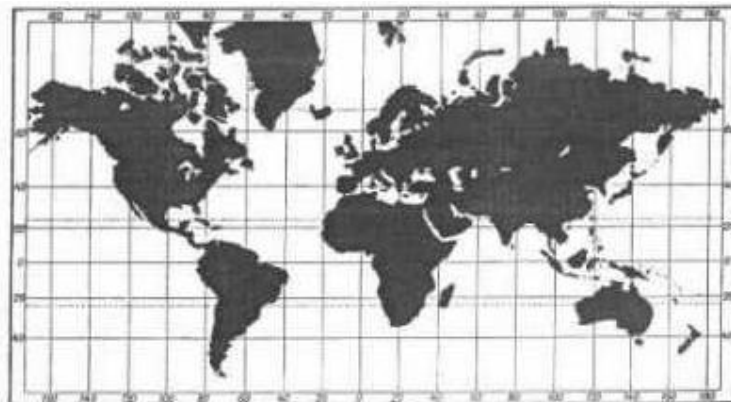
Equipado con un pedazo de hilo y un globo terrestre de escuela, encontrará fácilmente nuestros dibujos correctos y verá por usted mismo que los grandes arcos del círculo realmente son como se muestran allí. La ruta marítima aparentemente "recta" de África a Australia, trazada en la Figura 1, es de 6.020 millas, considerando que la ruta curva es de sólo 5.450, o 570 millas (1,050 km.) menos.

En la carta de navegación la línea aérea "recta" que une Londres y Shangai pasaría a través del Mar Caspio, teniendo en cuenta que el camino más corto es el norte de Leningrado. Uno puede imaginar bien cuan importante es esto desde el punto de vista de ahorrar tiempo y combustible.

Considerando que en la era de los grandes veleros no siempre será un artículo de valor, el hombre en aquel momento no consideró el tiempo aun como "dinero", con la llegada del buque de vapor, cada tonelada extra de carbón utilizada significaba dinero. Eso explica por qué los barcos toman el camino más corto, confiando principalmente no en los mapas de la Proyección de Mercator, sino en lo que se conocen como mapas de proyección "Central" que indican los grandes arcos del círculo mediante líneas rectas.

¿Por qué, entonces, los marineros de tiempos antiguos usaron esos mapas engañosos y se introdujeron en rutas poco ventajosas? Usted estaría equivocado si pensó que los marineros de tiempos atrás no sabían nada sobre las cualidades específicas de las Cartas de Navegación que antes hemos mencionado. Naturalmente, ésta no es la autentica razón. El caso es que, junto a sus inconvenientes, los mapas de la Proyección de Mercator poseen, varios valiosos puntos para los marineros. En primer lugar, conservan los contornos, sin distorsiones, de pequeñas partes separadas del globo. Esto no se altera por el hecho de que cuanto mayor es la distancia desde el Ecuador, más alargados son los contornos. En las latitudes altas la distorsión es tan grande que cualquiera que no conozca los rasgos peculiares de las Cartas de Navegación creería que Groenlandia es tan grande como África, o Alaska más grande que Australia, sin embargo, realmente, Groenlandia es 15 veces más pequeña que África, mientras que Alaska, incluso junto a Groenlandia, no sería más de la mitad de Australia. Esa persona tendría por lo tanto, una concepción completamente errónea del tamaño de los diferentes continentes. Pero el marinero, al corriente de estas peculiaridades no estaría en desventaja, porque dentro de las pequeñas secciones del mapa, la Carta de Navegación proporciona un cuadro exacto (Figura 5).

La Carta náutica es, mas aun, un recurso para resolver las tareas prácticas de la navegación. Es, a su manera, el único mapa en el que el verdadero curso recto de un navío se indica por una línea recta. Dirigir un curso firme significa mantener la misma dirección, a lo largo del mismo rumbo, o en otras palabras cruzar todos los meridianos con el mismo ángulo.



*Figura 5. Una carta náutica o proyección de Mercator del mundo. Estos mapas dilatan de forma muy importante los contornos de los territorios que quedan lejos del Ecuador. Qué es más grande: ¿Groenlandia o Australia? (Vea el texto para la respuesta)*

Este rumbo, conocido como línea loxodrómica, puede, sin embargo, indicarse como una línea recta solo en un mapa donde los meridianos son líneas rectas paralelas. Puesto que los meridianos en el globo se cruzan con la latitud en ángulos rectos, este mapa también debe mostrar las latitudes como líneas rectas, perpendiculares a los meridianos.

Usted apreciará ahora por qué los marineros se sienten tan atraídos por la Proyección de Mercator. Para crear el rumbo hacia el puerto de destino, el navegante une los puntos de salida y destino con una regla, y calcula el ángulo entre esa línea y el meridiano. Siguiendo este curso en el mar, el navegante llevará su nave infaliblemente a su meta. Por consiguiente, se verá que mientras que el "loxodromo" no es el camino más corto o el modo más barato, es, en cierto modo, un rumbo muy conveniente para el marino. Para alcanzar, digamos, la punta sur de Australia del Cabo de Buena Esperanza (ver Figura 1), el rumbo S 87°50' debe seguirse sin desviaciones. Pero si nosotros queremos llegar allí por el camino más corto, a lo largo de lo que se conoce como el ortodromo<sup>2</sup>, nos veremos forzados, como puede verse en el dibujo, a cambiar el rumbo continuamente, empezando con S 42°50' y acabando con N 53°50' (esto sería intentar lo imposible ya que nuestro rumbo más corto nos llevaría hacia las paredes de hielo del Antártico).

Los dos rumbos, el "loxodrómico", y el "ortodrómico", coinciden en dirección circular a lo largo del ecuador o cualquiera de los meridianos que se indican en el mapa náutico por una línea recta. En los restantes casos siempre divergen.

[Volver](#)

## **El grado de Longitud y el grado de Latitud**

*La pregunta.*

Tomo por seguro que los lectores, estarán al corriente de lo que es la longitud y la latitud geográfica. Pero temo que no todos podrán dar la respuesta correcta a la siguiente pregunta: ¿Siempre un grado de latitud es mayor que un grado de longitud?

*La respuesta*

La mayoría, están convencidos de que cada paralelo es más corto que el meridiano. Y ya que los grados de longitud se miden en los paralelos, y los de latitud, en los meridianos, la deducción es que bajo ninguna circunstancia podría el primero ser más largo que el último. Pero aquí se olvidan de que la Tierra no es una esfera perfectamente redonda, sino un

<sup>2</sup> Ortodromo: camino más corto que puede seguirse en la Navegación entre dos puntos.



elipsoide, que se pandea ligeramente en su ecuador. En este elipsoide, no sólo el ecuador, sino que también sus paralelos adyacentes son más largos que los meridianos. Según los cálculos, a unos 5° de latitud, los grados de los paralelos, es decir la longitud, resultan más largos que los grados del meridiano, o lo que es lo mismo, la latitud.

[Volver](#)

### **¿En qué dirección voló Amundsen?**

*La pregunta*

¿Qué dirección tomó Amundsen cuándo regresó del polo Norte, y cual en la vuelta atrás desde el polo Sur?

Dé la respuesta sin ojear furtivamente el diario de este gran explorador.

*La respuesta*

El Polo Norte es el punto que se encuentra más al norte del globo. De modo que cualquier camino que tomemos desde allí, siempre nos moveremos hacia el sur. En su regreso desde el Polo Norte, Amundsen solo podría ir hacia el sur, no existiendo ninguna otra dirección. A continuación tenemos una sección del diario de su vuelo del polo Norte a bordo del Norge:

*"El Norge circulaba en las proximidades del Polo Norte. Entonces continuamos nuestro vuelo.... Tomamos dirección al sur por primera vez desde que nuestro dirigible dejó Roma"*

Del mismo modo Amundsen sólo podría ir norte al regresar del polo Sur. Hay una anécdota bastante antigua sobre el Turco que se encontró en un país del Extremo Oriente. "Hacia el frente, el este, este a la derecha, este a la izquierda. ¿Y qué hay del oeste? También tiene el este a sus espaldas. Para abreviar, por todas partes no hay nada más que un interminable este.

Un país con el Este en todas las direcciones es imposible en nuestra Tierra. Pero existe un punto con solo la dirección Sur alrededor, así como hay un punto en nuestro planeta rodeado por un Norte "sin fin". En el Polo Norte es posible construir una casa cuyas cuatro paredes señalen al sur. De hecho, ésta es una tarea que los exploradores soviéticos al Polo Norte podrían realizar en la actualidad.

[Volver](#)

### **Cinco maneras de contar el tiempo**

Estamos tan acostumbrados a utilizar los relojes que a veces no nos damos cuenta de la importancia de sus indicaciones. Creo que tengo razón si digo que no muchos lectores sabrán explicar lo que quieren decir cuando dicen: Ahora son las 7 p. m.

¿Es solo que la manecilla pequeña marca la figura del siete? ¿Y qué significa realmente esta figura? Muestra que después del mediodía, ha pasado una buena parte del día. ¿Pero después de que mediodía y, en primer lugar, buena parte de qué día? ¿Que es un día? El día es la duración de una rotación completa de nuestra esfera con respecto al Sol. Desde un punto de vista práctico se mide como: dos pasadas sucesivas del Sol (para ser más exacto, de su centro) a través de una línea imaginaria en el cielo que conecta el punto directamente en lo alto, el cenit, con el punto sur del horizonte. La duración varía, con el cruce del Sol por esta línea un poco más temprano o más tarde. Es imposible poner un reloj a funcionar con este "verdadero mediodía". Ni siquiera el artesano más experimentado puede hacer un reloj que mantenga el tiempo en concordancia con el Sol; es demasiado inexacto. " El Sol muestra un tiempo equivocado" era hace un siglo el lema de los relojeros de París.

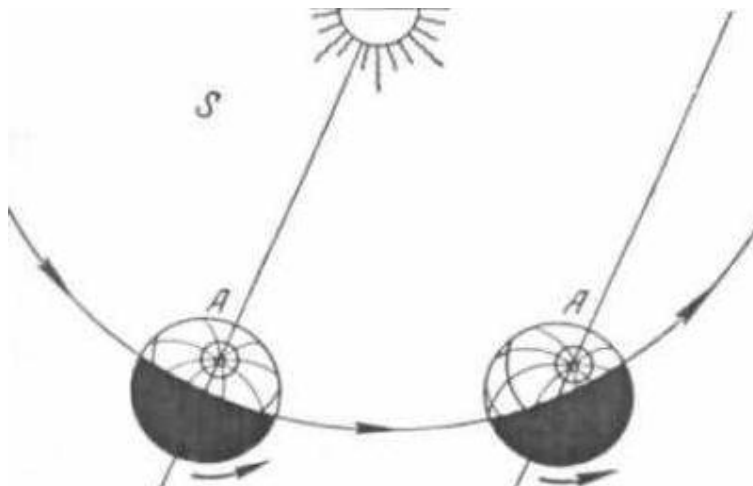


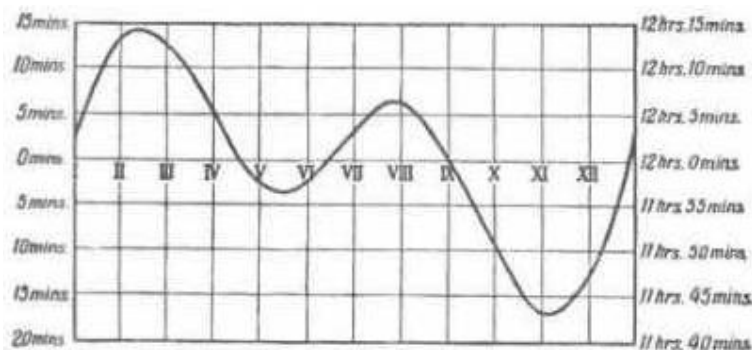
Figura 6. ¿Por qué son los días solares más largos que los días siderales? (Vea el texto para los detalles)

Nuestros relojes no son fijos al Sol real sino que funcionan con relación a un Sol ficticio que ni brilla ni calienta, pero que se ha inventado para el solo propósito de evaluar el tiempo correctamente. Imagine que un cuerpo celeste cuyo movimiento a lo largo del año es constante, tarda exactamente el mismo período de tiempo que el Sol real en pasar por la Tierra. En Astronomía este cuerpo ficticio se conoce como el Sol Medio. El momento en que cruza la línea cenit - sur se llama mediodía media, el intervalo entre dos mediodías medias se conoce como el día solar medio, así que el tiempo queda medido como el tiempo solar medio. Nuestros relojes quedan regulados según este tiempo solar medio. El reloj de sol, sin embargo, muestra el verdadero tiempo solar por la situación dada por la sombra del Sol. El lector podría pensar de lo que se ha dicho que el globo gira irregularmente alrededor de su eje, y que ésta es la razón para la variación en la longitud del verdadero día solar. Estaría equivocado, ya que esta variación se debe al desnivel de otro de los movimientos de la Tierra en su viaje alrededor del Sol. Medite un poco y verá por qué esto afecta a la longitud del día. Regrese a la Figura 6. Aquí usted ve dos posiciones sucesivas del globo. Primero la posición izquierda. La flecha inferior derecha muestra la dirección de la rotación de la Tierra, en sentido contrario a las aguas del reloj, si lo observamos desde el Polo Norte. En el punto A es ahora mediodía; este punto está directamente opuesto al Sol. Ahora imagine que la Tierra ha hecho una rotación completa; en este tiempo se ha desplazado hacia la derecha tomando la segunda posición. El radio de la Tierra con respecto al punto A es el mismo que el día anterior, pero por otro lado, el punto A ya no se encuentra directamente frente al sol. No es mediodía para nadie en el punto A; desde que el Sol se sale de la línea, la Tierra tendrá que girar unos minutos más para que el mediodía alcance el punto A.

¿Qué implica esto entonces?. Que el intervalo entre dos verdaderos mediodías solares es más largo que el tiempo que necesita la Tierra para completar un movimiento de rotación. La Tierra viajar alrededor del Sol a lo largo de una órbita circular, con el Sol en el centro, de modo que la diferencia entre el período real de rotación y el que nosotros suponemos con respecto al Sol será constante todos los días sin excepción. Esto se establece fácilmente, sobre todo si tenemos en cuenta el hecho de que estas pequeñas fracciones de tiempo suman en el curso de un año un día entero (en su movimiento orbital la Tierra realiza una rotación extra al año); por consiguiente la duración real de cada rotación es igual a:

$$365 \frac{1}{4} \text{ días: } 366 \frac{1}{4} = 23 \text{ hrs. } 56 \text{ min. } 4 \text{ sec.}$$

A propósito, deberíamos notar que la longitud "real" de un día simplemente es el período de rotación de la Tierra con relación a cualquier estrella: de aquí el término de día "sideral." Así el día sideral es, por promedio, 3 min. 56 sec., o, redondeando, cuatro minutos más corto que el día solar. La diferencia no es uniforme, en primer lugar, porque la órbita de la Tierra alrededor del Sol es elíptica, no circular, con la Tierra moviéndose más rápida y más lentamente cuando se encuentra más cerca o más lejos del Sol, y, en segundo lugar, porque el eje de rotación de la Tierra está inclinado con respecto a la elíptica. Éstas son las dos razones por las que en diferentes ocasiones los días solares verdaderos y los días solares medios varían en cuestión de minutos, alcanzando los 16 minutos de diferencia en algunas ocasiones. Las dos medidas de tiempo coincidirán sólo cuatro veces por año: el 15 de abril, el 14 de junio, el 1 de septiembre y el 24 de diciembre. Y recíprocamente, el 11 de febrero y el 2 de noviembre la diferencia será la más grande – mas o menos de un cuarto de una hora. La curva en la Figura 7 muestra el grado de diferencia en los diferentes momentos del año.



*Figura 7. Este mapa llamado "mapa de ecuación de tiempo", muestra lo grandes que son las diferencias en cualquier día entre el verdadero mediodía solar y el mediodía solar medio. Por ejemplo, el 1 de abril que un reloj que mida el tiempo con exactitud debe mostrar las 12:05 al verdadero mediodía.*

Antes de 1919, las personas en la URSS fijaban sus relojes con relación al tiempo solar local. En cada meridiano existía un tiempo diferente (el mediodía "local"), de modo que cada pueblo tenía su propio tiempo local; sólo los itinerarios de tren se compilaron basándose en la hora de Petrogrado como tiempo común para el país. De este modo, los residentes urbanos reconocieron dos tiempos distintos, el "tiempo del pueblo" y "el tiempo del ferrocarril", siendo el primero de éstos el tiempo medio solar de cada localidad, mostrado por el reloj de cada pueblo, y siendo el último, el de Petrogrado, el tiempo medio solar, mostrado por el reloj de la estación. Hoy en día los itinerarios ferroviarios en la URSS se rigen por la hora de Moscú.

Desde 1919 el control horario en la URSS no ha sido basado en el tiempo local, sino en lo que se llama el tiempo zonal. Los meridianos dividen el globo en 24 zonas iguales, de modo que las localidades dentro de una zona tienen la misma hora.

Así hoy día, el globo tiene simultáneamente 24 tiempos diferentes, no la legión de horarios que existía antes de que la cuenta de tiempo zonal fuese introducida.

A estas tres maneras de contar el tiempo: 1) el verdadero tiempo solar, 2) el tiempo solar medio local, y 3) el tiempo zonal, nosotros debemos agregar una cuarta, usada sólo por los astrónomos, el tiempo "sideral", moderado basándose en el antes comentado día sideral que como ya sabemos, es aproximadamente cuatro minutos más corto que el día solar medio. El 22 de septiembre, el tiempo sideral y solar coinciden. A partir de esto, el primero salta cuatro minutos hacia delante cada día.

Finalmente, hay una quinta manera de contar el tiempo, conocida como, tiempo de verano, utilizada en la URSS todo el año, y en la mayoría de los países europeos en verano. El tiempo de verano es exactamente una hora antes del tiempo zonal. Esto se utiliza para ahorrar combustible para la iluminación artificial empezando y acabando el día laborable más pronto durante el periodo más luminoso del año, entre primavera y otoño. En el Oeste, se utiliza todas las primaveras, a la una a. m. la manecilla horaria se mueve a las dos, mientras en otoño el movimiento de la manecilla se invierte. En la URSS, los relojes han estado adelantados durante el ciclo anual, verano e invierno. Aunque esto no ahorra más electricidad, asegura un trabajo más rítmico en las fábricas. El tiempo de verano se introdujo por primera vez en la Unión Soviética en 1917<sup>3</sup>; durante algún tiempo los relojes estuvieron dos e incluso tres horas adelantados. Tras un descanso de varios años, el tiempo de verano se decretó de nuevo en la URSS durante la primavera de 1930 y exactamente significa estar una hora por delante del tiempo zonal.

[Volver](#)

**La duración de la luz diurna.**

Para un cálculo exacto de la duración de la luz diurna en cualquier parte del mundo y en cualquier día del año, uno debe referirse a las tablas apropiadas en un almanaque astronómico. Pero el lector apenas necesitará este nivel de exactitud; para un cálculo rápido pero veraz bastaría con referirse al dibujo añadido en la Figura 8.

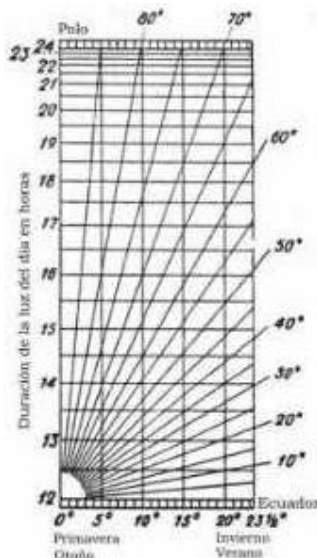


Figura 8. Una tabla de duración de la luz diurna. (vea el texto para los detalles)

Su lado de la izquierda indica la luz del día en horas. La base ofrece la distancia angular del Sol con relación al ecuador celeste, conocido como la "declinación" del Sol que se mide en grados. Por último, las líneas que cortan el dibujo, corresponden a las diferentes latitudes de observación.

Para usar el dibujo debemos conocer la distancia angular del Sol (la "declinación") con respecto al ecuador para los diferentes días del año. (Ver la tabla a continuación)

Día del año	Declinación del Sol	Día del año	Declinación del Sol
-------------	---------------------	-------------	---------------------

<sup>3</sup> En función de los cálculos hechos por el propio autor.

21 enero	-20	24 julio	+20
8 febrero	-15	12 agosto	+15
23 febrero	-10	28 agosto	+10
8 marzo	-5	10 septiembre	+5
21 marzo	0	23 septiembre	0
4 abril	+5	6 octubre	-5
16 abril	+10	20 octubre	-10
1 mayo	+15	3 noviembre	-15
21 mayo	+20	22 noviembre	-20
23 junio	+23.5	22 diciembre	-23.5

1) Hallar la duración de la luz diurna a mediados de Abril, en Leningrado (latitud  $60^\circ$ ). La tabla nos da la declinación del Sol a mediados de Abril como  $+10^\circ$ , ( es decir, su distancia angular con respecto al ecuador celeste en este momento particular). Ahora encontramos la marca correspondiente a los  $10^\circ$  en la base de nuestro gráfico y dibujamos una línea perpendicular que corte la línea que corresponde al paralelo  $60$ . Una vez obtenido el punto de intersección entre ambas líneas nos dirigimos hacia la izquierda del gráfico para encontrar que el punto de intersección se corresponde con el valor  $14 \frac{1}{2}$ , lo que significa que la duración de la luz diurna que buscamos es aproximadamente 14 hrs. 30 min. Decimos "aproximadamente", ya que el dibujo no tiene en cuenta el efecto de lo que se conoce como la "refracción atmosférica" (vea Figura 15).

2) Encontrar la duración de la luz del día durante el 10 de noviembre en Astrakhan ( $46^\circ$  Latitud Norte.).

La declinación del Sol durante el 10 de Noviembre es  $-17^\circ$  (está ahora en el Hemisferio Sur). Aplicando el método anterior encontramos una duración de 14 horas y media. Sin embargo, debido al estado actual de la declinación—, el valor obtenido implica la duración, no de luz del día, sino de la oscuridad nocturna. Así que tendremos que restar  $14 \frac{1}{2}$  a 24 y así conseguimos 9 horas y media como la duración de la luz del día requerida.

De este modo, también podemos calcular el tiempo de salida del Sol. Dividiendo en dos  $9 \frac{1}{2}$ , obtenemos 4 horas y 45 minutos. De la Figura 7 sabemos que para el verdadero mediodía el 10 de noviembre, el reloj mostrará las 11 y 43 minutos. Para encontrar la salida del sol restaremos 4 horas y 45 minutos, y determinaremos que el sol subirá a las 6 y 58 minutos. El ocaso, por otro lado, lo obtendremos del siguiente cálculo. 11 horas y 43 minutos + 4 horas y 45 minutos = 16 horas y 28 minutos, es decir, a las 4 y 28 p.m.

Usando este método, se puede generar un gráfico de la salida y puesta del Sol durante un año entero para una latitud determinada. Un ejemplo para el paralelo  $50$ , dando también la duración de la luz del día, se proporciona en la Fig. 9. Un cuidadoso escrutinio le ayudará a dibujar un mapa similar para su propio uso.

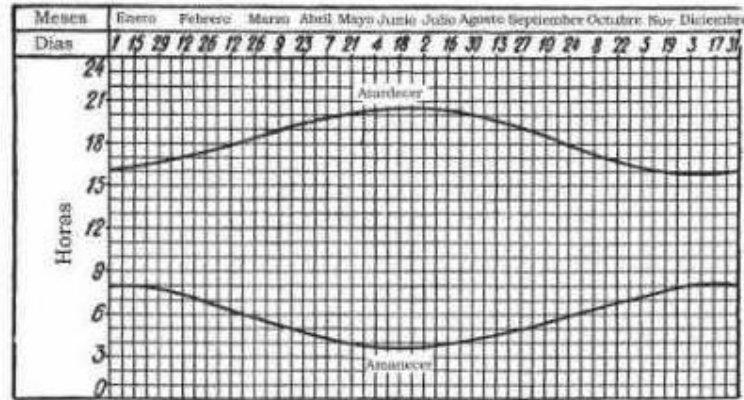


Figura 9. Un mapa anual para la salida y ocaso del sol en el paralelo 50.

Habiendo hecho esto, usted será capaz, con solo una mirada superficial a su gráfico, de decir el tiempo aproximado de salida del sol o del ocaso en cualquier día dado.

[Volver](#)

### Sombras extraordinarias

La Fig. 10 puede resultarle bastante extraña. El marinero que está de pie bajo la luz intensa del Sol carece prácticamente de sombra.



Figura 10. Casi sin sombra. El dibujo reproduce una fotografía tomada cerca del Ecuador

No obstante, ésta es una imagen real, no realizada en nuestras latitudes, sino en el ecuador, cuando el Sol se encontraba casi en lo más alto, en lo que se conoce como el "cenit". En nuestras latitudes el Sol nunca alcanza el cenit, por lo que una imagen como la de la Figura 10 esta fuera de cuestión. En nuestras latitudes, cuando el Sol de mediodía alcanza lo más alto el 22 de junio, encontraremos el cenit en el límite norte de la zona tórrida (el

Trópico de Cáncer, por ejemplo, los  $23^{\circ} 1/2$  Latitud Norte). Seis meses después, el 22 de diciembre, el cenit se encontrará en los  $23^{\circ} 1/2$  Latitud Sur (el Trópico de Capricornio). Entre estos límites, en los trópicos, el Sol del mediodía alcanza el cenit dos veces por año, brillando de un modo que evita las sombras, o para ser más exacto, coloca las sombras justamente debajo del cuerpo que ilumina. La Fig. 11 lleva este efecto a los Polos. Aunque al contrario que la anterior situación se trata de una imagen fantástica, resulta no obstante bastante instructiva. Un hombre no puede, por supuesto, tener la sombra en seis lugares diferentes. El artista pretendía mostrar de forma llamativa la peculiaridad del Sol Polar que permite que las sombras *tengan exactamente la misma longitud* alrededor del reloj. Esto se debe a que en los Polos el Sol no se inclina hacia el horizonte a lo largo del día como hace en nuestras latitudes, sino que toma un camino casi paralelo al horizonte. El artista, en cualquier caso, se equivoca, al mostrar una sombra demasiado corta comparada con la altura del hombre. Para que esto fuese así, el sol debería encontrarse hacia los  $40^{\circ}$ , algo que es imposible en los Polos, donde el sol nunca brilla por encima de los  $23^{\circ} 1/2$ . Así, puede establecerse fácilmente, el lector con conocimientos de trigonometría puede hacer los cálculos, que la sombra más corta en los Polos es por lo menos 2.3 veces la altura del objeto que desarrolla esa sombra.



Figura 11. En el Polo las sombras son de la misma longitud alrededor del reloj.

[Volver](#)

### El problema de los dos trenes

#### La pregunta

Dos trenes absolutamente idénticos que viajan a la misma velocidad se cruzan viniendo de direcciones opuestas, uno va hacia el oeste y el otro hacia el este. ¿Cuál de los dos es el más pesado?

#### La respuesta

El más pesado de los dos, es decir el que más presión ofrece sobre la vía, es el tren que se desplaza contrariamente a la dirección de rotación de la Tierra, es decir, el tren que se mueve hacia el oeste.



Figura 12. El problema de los dos trenes.

Al moverse lentamente alrededor del eje de la Tierra, pierde, debido al efecto centrífugo, menos peso que el expreso que se dirige hacia el este.

¿Cómo de grande es la diferencia? Tomaremos dos trenes a través del paralelo 60 a 72 kilómetros por hora o a 20 metros por segundo. En ese paralelo la tierra se mueve alrededor de su eje a una velocidad de 230 metros por segundo.

Por lo tanto el expreso del este tiene un velocidad total de  $230 + 20$  m/s, es decir 250 m/s, y el que se desplaza hacia el oeste, una velocidad de 210 m/s. La aceleración centrífuga para el primer tren será:

$$\frac{V_1^2}{R} = \frac{25,000^2}{320,000,000} \text{ cm/s}^2$$

Teniendo en cuenta que el radio de la circunferencia en el paralelo 60 es de 3,200 Km. Para el segundo tren la aceleración centrífuga sería:

$$\frac{V_2^2}{R} = \frac{21,000^2}{320,000,000} \text{ cm/s}^2$$

La diferencia en el valor de aceleración centrífuga entre los dos trenes es:

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{R} = \frac{25,000^2 - 21,000^2}{320,000,000} \approx 0.6 \text{ cm/s}^2$$

Puesto que la dirección de la aceleración centrífuga queda en un ángulo de  $60^\circ$  respecto a la dirección de la gravedad, tendremos en cuenta sólo el fragmento apropiado de esa aceleración centrífuga:  $0.6 \text{ cm/s}^2 \cos 60^\circ$  que es igual a  $0.3 \text{ cm/s}^2$ .

Esto da una proporción a la aceleración de la gravedad de  $0.3/980$  o aproximadamente 0.0003

Por consiguiente el tren que se dirige al este es más ligero que el que va al oeste por un fragmento del 0.0003 de su peso. Supongamos, por ejemplo, que consiste en unos 45 vagones cargados, es decir unas 3,500 toneladas métricas. Entonces la diferencia en el peso sería

$$3,500 \times 0.0003 = 1,050 \text{ kg.}$$

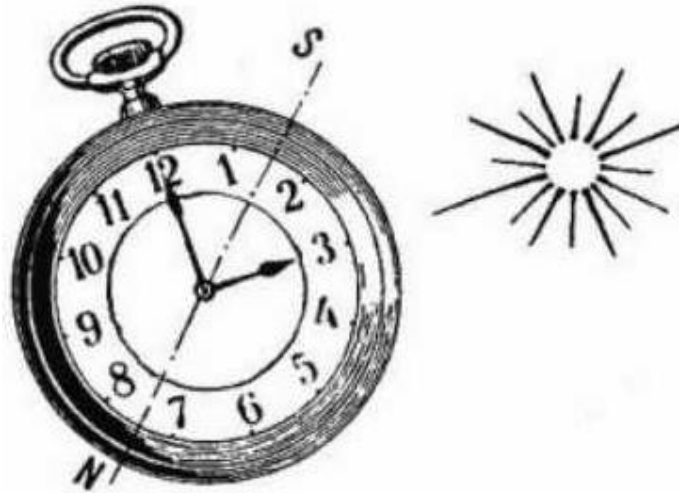
Para una nave de 20,000 toneladas con una velocidad de 34 kilómetros por hora (20 nudos), la diferencia sería de 3 toneladas. De este modo, la disminución en el peso de la nave que se dirige al este también se reflejaría en el barómetro; en el caso anterior el mercurio sería  $0.00015 \times 760$ , ó 0.1 mm más bajo en la nave que se dirige hacia el este. Un ciudadano de Leningrado que camina en dirección al este a una velocidad de 5 km/h, se vuelve 1 gramo y medio aproximadamente más ligero que si se desplazara en la dirección opuesta.



[Volver](#)

### El reloj de bolsillo como Brújula.

Muchas personas saben encontrar un rumbo en un día soleado usando un reloj. Debe colocar la esfera de modo que la manecilla horaria apunte hacia el Sol. Entonces parta en dos el ángulo formado por esta manecilla y la línea que separa las 12 de las 6. La bisectriz indica el sur. No es difícil entender por qué. Considerando que el Sol tarda 24 horas en cruzar su camino completo en los cielos, la manecilla que marca la hora se desplaza por nuestro reloj en la mitad el tiempo, en 12 horas, o dobla el arco en el mismo tiempo. De hecho, si al mediodía la manecilla de la hora indica el Sol, después lo habrá dejado atrás y habrá doblado el arco. De este modo, sólo tenemos que bisecar este arco para encontrar donde se encontraba el Sol estaba a mediodía, o, en otros términos, la dirección sur (Fig. 13).



*Figura 13. Una manera simple pero inexacta de encontrar los puntos de la brújula con la ayuda de un reloj de bolsillo.*

La comprobación nos mostrará que este método es excesivamente tosco, resultando incluso a veces una docena de grados desviados. Para entender por qué, permítanos examinar el método propuesto.

La razón principal para la inexactitud es que el reloj, la cara que ponemos boca arriba, se sostiene paralela al plano horizontal, considerando que el Sol en su paso diario sólo toca ese plano en los Polos. Por otra parte, su trayectoria cae angularmente en relación con el plano, tanto como a  $90^\circ$  en el Ecuador. De este modo, el reloj sólo dará los rumbos exactos a los Polos; en todos los restantes lugares, una desviación mayor o menor es inevitable. Miremos el dibujo (Fig. 14, a).

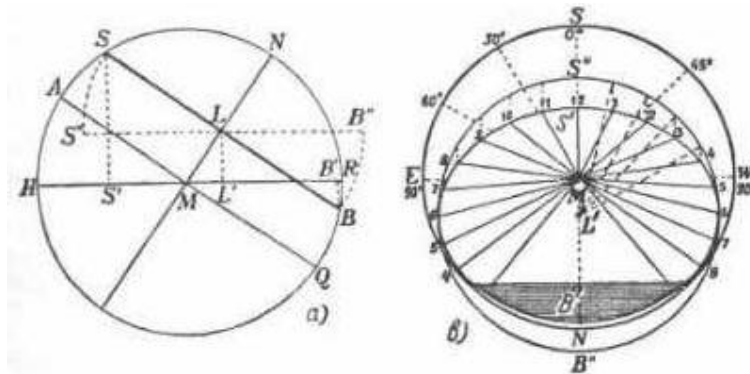


Figura 14. a y b. Por qué el reloj resulta inexacto como brújula.

Supongamos que nuestro observador se encuentra en M. El punto N indica el Polo, mientras el círculo HASNRBQ, el meridiano celeste, pasa a través del cenit del observador y del Polo. El paralelo del observador puede determinarse fácilmente: una medida prolongada de la altitud del polo sobre el horizonte NR lo mostrará igual a la latitud de la situación. Con sus ojos en la dirección del punto H, el observador en M estará mirando al sur. El dibujo muestra el paso diario del Sol como una línea recta, la parte sobre el horizonte es día, mientras que la otra, por debajo del horizonte, es noche. La línea recta AQ indica el paso del Sol en los equinoccios, cuando el día y la noche tienen la misma duración. SB, el paso del Sol en Verano, es paralelo a AQ, pero sus mayores proporciones quedan por encima del horizonte, y sólo una parte insignificante (la llamadas noches cortas de verano) quedan por debajo. El Sol cruza  $1/24^{\text{a}}$  parte de la circunferencia de estos círculos cada hora, o  $360^{\circ}/24 = 15^{\circ}$ . No obstante, a las tres de la tarde, el Sol no se encontrará exactamente al Suroeste, como habíamos anticipado ( $15^{\circ} \times 3 = 45^{\circ}$ ), la razón para la divergencia es que los arcos del paso del Sol no son iguales en la proyección en el plano horizontal.

Para verlo con claridad nos remitiremos a la Figura 14, b. Aquí SWNE es el círculo horizontal visto desde el cenit, y la línea recta SN el meridiano celeste. M es la situación de nuestro observador, y L el centro del círculo descrito por el Sol en su paso diario, proyectado en el plano horizontal. El círculo real del camino del Sol se proyecta en la forma de la elipse S'B'. Ahora proyecte las divisiones horarias de SB, la ruta del Sol, en el plano horizontal. Para hacer eso, lleve el círculo SB paralelo al horizonte, a la posición S''B'', como se muestra en la Figura 14, a. A continuación, divida ese círculo en 24 partes equidistantes y proyecte los puntos hacia el plano horizontal. Ahora dibuje desde estos puntos de división, líneas paralelas a SN que corten la elipse S'B', la cual, si usted recuerda, era el círculo del paso del Sol proyectado en el plano horizontal. Claramente, percibiremos, que los arcos obtenidos de este modo resultan desiguales. A nuestro observador la desigualdad le parecerá incluso mayor, debido a que él no se encuentra en el punto L', el centro de la elipse, sino que está en el punto M, fuera de él.

Permítanos ahora, para nuestra latitud escogida ( $53^{\circ}$ ), estimar el grado de inexactitud al determinar los puntos de la brújula usando un reloj en un día de verano. En este momento del año, el nacimiento del Sol se produce entre las 3 a. m. y las 4 a. m. (el límite del segmento sombreado indica la noche). El Sol alcanza el punto E, este ( $90^{\circ}$ ), no a las 6 a. m. como muestra nuestro reloj, sino que lo hace a las 7:30 a. m. Además, alcanzará los  $60^{\circ}$ , no a las 8 a. m. sino a las 9:30 a. m., y el punto  $30^{\circ}$ , no a las 10 a. m. sino a las 11 a. m. El Sol estará al SW ( $45^{\circ}$  al otro lado del punto S) no a las 3 p. m. sino a las 1:40 p. m., y no se encontrará al Oeste (punto W) a las 6 p. m. sino a las 4:30 p. m.

Es más, si nos damos cuenta de que nuestro reloj marca la hora de Verano, que no coincide con la hora solar real, la inexactitud será mayor aun.

Por lo tanto, aunque el reloj puede emplearse como una brújula, es poco fiable. Esta brújula improvisada errará menos en los equinoccios (de este modo la situación de nuestro observador no será excéntrica) y en invierno.

[Volver](#)

### Noches "blancas" y Días "Negros"

Desde la mitad del mes de abril Leningrado entra en un tiempo de noches "blancas", el "crepúsculo transparente" y "brillo sin luna", cuya fantástica luz ha engendrado tantos vuelos de la imaginación poética.

Las blancas noches de Leningrado se asocian estrechamente con la literatura, tanto es así que muchos se muestran propensos a pensar que esta particular estación es la única prerrogativa de esta ciudad. Realmente, como un fenómeno astronómico, las noches "blancas" son reales en cada punto de una latitud definida.

Pasando de la poesía a la prosa astronómica, aprenderemos que la noche "blanca" es la mezcla del crepúsculo y alba. Pushkin definió este fenómeno correctamente como la reunión de dos crepúsculos – la mañana y la tarde.

*As tho' to bar the night's intrusión  
And keep it out the golden heavens,  
Doth twilight hasten fo its fusion  
With its fellow...*

En las latitudes dónde el Sol en su camino por los cielos se deja caer unos  $17 \frac{1}{2}^\circ$  bajo el horizonte, el ocaso es seguido casi inmediatamente por el alba, dando a la noche una escasa media hora, a veces incluso menos.

Naturalmente ni Leningrado ni cualquier otro punto tienen el monopolio de este fenómeno. Un estudio astronómico del límite de la zona de las noches "blancas" lo mostraría lejos al sur de Leningrado.

Los moscovitas, también, pueden admirar sus "blancas" noches - aproximadamente de la mitad de Mayo hasta el fin de Julio. Aunque no tan luminosas como en Leningrado, las noches "blancas" que ocurren en Leningrado en Mayo puede observarse en Moscú a lo largo de Junio y al comienzo del mes de Julio.

El límite sur de la zona de las noches "blancas" en la Unión Soviética pasa a través de Poltava, a  $49^\circ$  latitud norte ( $66 \frac{1}{2} - 17 \frac{1}{2}^\circ$ ), dónde hay una noche "blanca" al año, a saber, el 22 de junio. Al norte de este paralelo, las noches "blancas" son más ligeras y más numerosas; pueden observarse las noches "blancas" en Kuibyshev, Kazan, Pskov, Kirov y Yeniseisk. Pero como todos estos pueblos se encuentran al sur de Leningrado, las noches "blancas" son menos (antes o después del 22 de junio) y no son tan luminosas. Por otro lado, en Pudozh son más luminosas que en Leningrado, mientras en Arkhangelsk, que está cerca de la tierra del Sol que nunca se pone, estas son muy brillantes. Las noches "blancas" de Estocolmo son análogas a las de Leningrado.

Cuando el Sol en su punto más bajo no se inclina por debajo del horizonte, sino que sencillamente lo roza, no tenemos simplemente la fusión de la salida del sol y de su ocaso, sino que la luz del día continúa. Esto se observa al norte de los  $65^\circ 42'$ , dónde comienza el dominio del Sol de medianoche. Aún más al norte, en los  $67^\circ 24'$ , también podemos dar testimonio de la noche continua, cuando el amanecer y el crepúsculo se funden al mediodía, no a la medianoche.

Éste es el día "negro", el episodio opuesto a la noche "blanca", aunque su brillo es el mismo. La tierra de la "oscuridad del mediodía" también es la tierra del Sol de la media noche, sólo

que en un momento diferente del año. Considerando que en Junio que el Sol nunca se pone<sup>4</sup>, en Diciembre cuando el Sol nunca sube la oscuridad prevalece durante días.

[Volver](#)

### **La luz del día y la Oscuridad**

Las noches "blancas" son la prueba clara de que nuestra noción de la niñez sobre la igual alternancia de la noche y del día en este mundo es demasiado simplificada. Actualmente, la alternancia de luz del día y oscuridad es más abigarrada y no encaja en el modelo típico de día y noche. En este respecto el mundo en que nosotros vivimos puede ser dividido en cinco zonas, cada una con su propia alternancia de luz diurna y oscuridad.

La primera zona, exterior al ecuador en cualquier dirección, se extiende hasta los paralelos 49. Aquí, y solo aquí, se da un día completo y una noche completa cada 24 horas.

La segunda zona, entre el paralelo 49 y el  $65 \frac{1}{2}$ , abarca el conjunto de la Unión Soviética, el norte de Poltava, tiene un continuo crepúsculo alrededor del solsticio de verano. Esta es la zona de las noches "blancas."

Dentro de la estrecha tercera banda, entre los paralelos  $65 \frac{1}{2}$  y  $67 \frac{1}{2}$ , el Sol no se pone durante varios días alrededor del 22 de junio. Esta es la tierra del Sol de media noche.

La característica de la cuarta zona, entre  $67 \frac{1}{2}$  y  $83 \frac{1}{2}$ , aparte del día continuo en junio, es la larga noche de Diciembre, cuando hay días sin ninguna salida del sol, y la mañana y el crepúsculo de la tarde duran todo el día. Ésta es la zona de los días "negros."

La quinta y última zona, al norte del paralelo  $83 \frac{1}{2}$ , tiene una notable alternancia de luz diurna y oscuridad. Aquí, la ruptura hecha en la sucesión de días y noches por las noches "blancas" de Leningrado, perturba completamente el orden normal. Los seis meses entre el Verano y el solsticio de Invierno, del 22 de junio al 22 de diciembre, pueden ser divididos en cinco períodos o estaciones. Primero, el día continuo; segundo, la alternancia de día con el crepúsculo de la media noche, pero sin las noches apropiadas (las noches "blancas" de Leningrado de verano son una imitación débil de esto); tercero, el crepúsculo continuo, sin noches apropiadas o días en absoluto.

El cuarto, un continuo crepúsculo que alterna con una noche más autentica alrededor de la medianoche; y quinto y último, oscuridad completa todo el tiempo. En los seis meses siguientes, de Diciembre a Junio, estos períodos siguen en el orden inverso.

En el otro lado del ecuador, en el Hemisferio Sur, los mismos fenómenos se observan, lógicamente, en las latitudes geográficas correspondientes.

Si nunca hemos oído hablar de las noches "blancas" en el "Lejano Sur", es sólo porque el océano reina allí.

El paralelo en el Hemisferio Sur correspondiente a la latitud de Leningrado no cruza absolutamente nada de tierra; hay agua por todas partes; de modo que sólo los navegantes polares han tenido la oportunidad de admirar las noches "blancas" en el sur.

[Volver](#)

### **El enigma del Sol Polar**

#### **La pregunta**

Los exploradores polares notan un rasgo curioso de los rayos del Sol en verano en las latitudes altas. Aunque calientan débilmente la superficie de la Tierra, su efecto en todos los objetos dispuestos verticalmente, sorprendentemente los suficientes en esa zona del mundo, es más pronunciado.

Los precipicios escarpados y las paredes de las casas llegan a estar bastante calientes, las caras sufren quemaduras del sol, y más casos se pueden documentar.

¿Cuál es la explicación?

---

<sup>4</sup> Sobre la Bahía de Ambarchik, el Sol no se pone del 19 de mayo al 26 de julio y en la proximidad de la Bahía de Tixi del 12 de mayo al 1 de agosto.

**La respuesta**

Esto puede explicarse por una ley de la física según la cual cuanto menos inclinados son los rayos, más fuerte es su efecto. Ni siquiera en verano en las latitudes polares el sol sube muy alto sobre el horizonte

Más allá del círculo polar, su altitud no puede exceder la mitad un ángulo recto - en las latitudes altas es considerablemente menos.

Tomando esto como nuestro punto de partida, no será difícil establecer que con un objeto vertical (erguido) los rayos del Sol formen un ángulo mayor que medio ángulo recto, en otras palabras, esos rayos caen de forma empinada sobre una superficie vertical.

Esto deja claro por qué los rayos del Sol en los Polos, mientras calientan débilmente la superficie, lo hacen de forma intensa en el caso de los objetos dispuestos verticalmente.

[Volver](#)

**¿Cuándo comienzan las Estaciones?**

Si la nieve está cayendo, el mercurio bajo cero, o si el tiempo es apacible, las personas en el Hemisferio Norte consideran el 21 de marzo como el fin de Invierno y el comienzo de la Primavera, que es astronómicamente cierto. Muchos no pueden entender por qué esta fecha particular ha sido escogida como la línea que divide el Invierno y la Primavera, aunque, como hemos dicho, podemos comprobar como nos afecta una cruel escarcha o como el tiempo puede ser caluroso y agradable.

Lo cierto es que el principio de la primavera astronómica no tiene nada que ver con los caprichos y las vicisitudes del tiempo. El hecho de que el principio de la Primavera sea el mismo para todos los lugares en este hemisferio nos basta para mostrar que los cambios en el tiempo no son de ninguna importancia esencial aquí. ¡De hecho, las condiciones meteorológicas no pueden ser las mismas en la mitad el mundo!

Buscando donde fijar le llegada de las estaciones, los astrónomos no tomaron como guía los fenómenos meteorológicos sino los astronómicos, por ejemplo, la altitud del Sol del mediodía y la duración resultante de la luz diurna. El tiempo, entonces, es solo una circunstancia complementaria.

El 21 de marzo difiere de los otros días del año en que en esta fecha el límite entre la luz y la oscuridad corta los dos polos geográficos. Si sostenemos un globo junto a una lámpara, veremos que el límite del área iluminada sigue el meridiano, cruzando el ecuador y todos los paralelos con ángulos rectos. Sosteniendo el globo así, gírelo sobre su eje: cada punto en su superficie describirá un círculo, con exactamente una mitad en la sombra, y la otra mitad en la luz. Esto significa que en ese momento particular del año, la duración del día iguala a la duración de la noche. Esta igualdad se observa alrededor de todo el mundo del Polo Norte al Polo Sur.

Así, el rasgo que distingue al 21 de marzo es que por todo el Mundo el día y la noche tienen la misma duración en esta fecha. Este fenómeno notable se conoce como el Equinoccio Vernal (Primaveral) - vernal porque no es el único equinoccio. Seis meses después, el 23 de septiembre de nuevo tenemos un día y una noche iguales, el Equinoccio Otoñal, con el que finaliza el Verano y llega el Otoño. Cuando en el Hemisferio Norte se da el Equinoccio de Primavera en el Hemisferio Sur se da el equinoccio otoñal, y viceversa. En un lado del Ecuador el Invierno da paso a la Primavera, en el otro, el Verano se convierte en Otoño. Las estaciones en el Hemisferio Norte no se corresponden con esas mismas estaciones en el Hemisferio Sur.

Permítanos ver cómo la longitud comparativa del día y de la noche cambia a lo largo del año. Comenzando con el equinoccio otoñal, es decir, el 23 de Septiembre cuando en el Hemisferio Norte el día es más corto que la noche. Esto dura unos seis meses, con el día más corto y más corto hasta llegar al 22 de Diciembre, cuando el día se hace poco a poco más largo, y luego el 21 de Marzo, el día alcanza la noche. Desde ese momento, a lo largo de la otra mitad del año, el día en el Hemisferio Norte es más largo que la noche, alargándose hasta el 22 de Junio, y a partir de entonces reduciéndose de nuevo la duración

del día frente a la noche, pero permaneciendo más largo que esta, hasta que se alcance de nuevo el equinoccio otoñal, el 23 de Septiembre.

Estas cuatro fechas marcan el principio y el final de las estaciones astronómicas. Para el Hemisferio Norte las fechas son las siguientes:

21 de marzo, el día iguala a la noche. Comienza la Primavera.

22 de junio, el día más largo. Comienza el Verano.

23 de Septiembre, el día iguala a la noche. Comienza el Otoño.

22 de Diciembre, el día más corto. Comienza el Invierno.

Debajo del ecuador, en el Hemisferio Sur, la Primavera coincide con nuestro Otoño, el Invierno con nuestro Verano, y así sucesivamente.

Para el beneficio del lector sugerimos en esta fase algunas preguntas que ayudarán a asimilar y memorizar lo que se ha dicho.

1. ¿Dónde en nuestro planeta el día iguala a la noche durante todo el año?
2. ¿A qué hora, hora local, el Sol subirá en Tashkent el 21 de marzo, en Tokio en la misma fecha, y en Buenos Aires?
3. ¿A qué hora, hora local, el Sol se pondrá el 23 de septiembre, en Novosibirsk, en Nueva York, y en el Cabo de Esperanza Buena?
4. ¿A qué hora subirá el Sol en los puntos del ecuador el 2 de agosto y el 27 de febrero?
5. ¿Es posible tener escarcha en Julio y una ola de calor en Enero? <sup>5</sup>

[Volver](#)

### Tres "Si"

A veces es más duro entender lo usual que lo extraño. Comprendemos la utilidad de la numeración decimal que aprendemos en la escuela, sólo cuando intentamos usar algún otro sistema, basado por ejemplo en el siete o en el doce. Para apreciar realmente el papel que la gravedad juega en nuestra vida, imaginemos un fragmento, o al contrario, un múltiplo de lo que realmente es, un artificio al que nosotros acudiremos después. Entretanto permítanos recurrir a los "si" para comprender bien las condiciones del movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

Permítanos comenzar con el axioma, que determina que el eje de la Tierra forma un ángulo de  $66\frac{1}{2}^\circ$ , o aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de un ángulo recto, con respecto al plano orbital de la Tierra. Usted apreciará lo que esto significa imaginando este ángulo no como tres cuartos, sino como un completo ángulo recto. En otros términos, suponga que el eje de rotación de la Tierra sea perpendicular a su plano orbital. ¿Qué cambios introduciría esto en la rutina de la Naturaleza?

#### a. Si el Eje de la Tierra Fuera Perpendicular al Plano Orbital

Bien, suponga que los artilleros de Julio Verne han logrado su proyecto de "enderezar el eje" de la Tierra, y le hacen formar un ángulo recto al plano del vuelo orbital de nuestro planeta alrededor del Sol. ¿Qué cambios observaríamos nosotros en la Naturaleza?

En primer lugar, la Estrella Polar -  $\alpha$  Ursae Minoris Polaris - dejaría de ser polar, ya que la continuación del eje de la Tierra no pasaría cerca de ella, sino cerca de algún otro punto alrededor en el giro de la cúpula celeste.

---

<sup>5</sup> Las respuestas: 1) El día y la noche siempre tienen una longitud igual en el ecuador, como el límite entre la luz y la oscuridad que también divide el ecuador en dos mitades iguales, independiente de la posición de la Tierra. 2 y 3) Durante los equinoccios el Sol sube y pasa por el mundo a las mismas horas, 6 a. m. y 6 p. m. ( en hora local). 4) El Sol sale en el Ecuador a las 6 a. m. todos los días a lo largo del año. 5) Las escarchas de Julio y las olas de calor de Enero son episodios comunes en las latitudes del sur.

Además, la alternancia de las estaciones sería completamente diferente, o incluso no existiría ninguna alternancia. ¿Qué causa las estaciones? ¿Por qué el Verano es más caluroso que el Invierno? Permítanos no evadir esta pregunta común. En la escuela obtuvimos una vaga idea de ello, y después de la escuela la mayoría de nosotros estaba demasiado ocupado con otras cosas para molestarse en pensar sobre el tema.

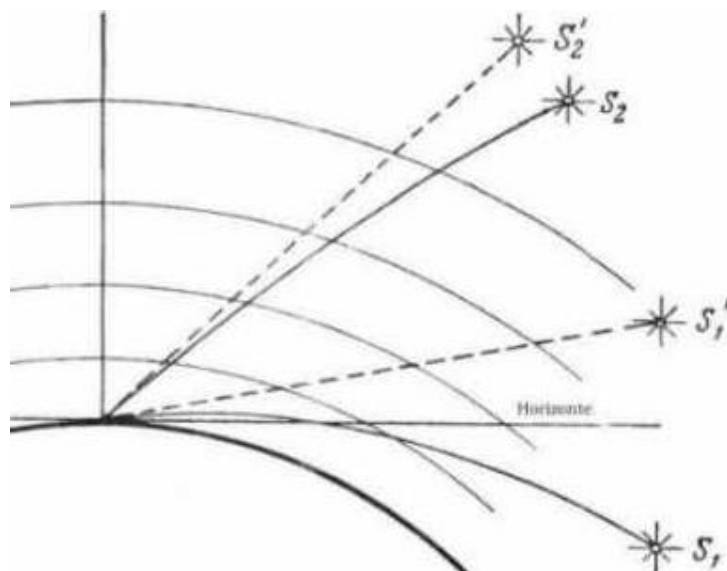
El Verano en el Hemisferio Norte es caluroso, en primer lugar, porque la inclinación del eje de la Tierra, hace los días más largos y las noches más cortas. El Sol calienta la tierra durante un tiempo más largo y no hay ningún enfriamiento pronunciado durante las pocas horas de oscuridad - el flujo de calor aumenta y las disminuciones del mismo disminuyen. En segundo lugar, (debido de nuevo a la inclinación del eje de la Tierra hacia el Sol), como el Sol se encuentra muy alto durante el día, sus rayos caen más directamente sobre la Tierra. De modo que, en verano el Sol proporciona más y más calor, mientras que la pérdida de este durante la noche es muy ligera. En invierno, sucede lo contrario, la duración del calor es más corta y, además, es más débil, ya que por la noche el enfriamiento es más pronunciado.

En el Hemisferio Sur este proceso tiene lugar seis meses después, o antes, si usted desea. En Primavera y Otoño los dos polos son equidistantes con respecto a los rayos del Sol; el círculo de luz casi coincide con los meridianos; el día y la noche prácticamente son iguales; y las condiciones climáticas esta a medio camino entre el Invierno y el Verano.

¿Qué sucedería si el eje de la Tierra fuera perpendicular al plano orbital? ¿Tendríamos esta alternancia? No, porque el globo siempre se enfrentaría a los rayos del Sol con el mismo ángulo, y tendríamos la misma estación en todos los momentos del año. ¿Qué sería esta estación? Podríamos llamarlo Primavera en las zonas templadas y polares aunque con el mismo derecho podría llamarse Otoño.

Siempre y en todas las partes del globo, día y noche serían iguales el día igualaría noche, como sucede ahora sólo en el caso de la tercera semana de Marzo y Septiembre. (Éste es aproximadamente el caso de Júpiter; su eje de rotación es casi perpendicular al plano de su desplazamiento alrededor del Sol.)

Ése sería el caso de la zona templada. En la zona tórrida, el cambio en el clima no sería tan notable; en los polos sucedería lo contrario. Aquí debido a la refracción atmosférica, el Sol se elevaría ligeramente sobre el horizonte (Figura 15), en lugar de salir completamente, solo rozaría el horizonte. El día, o, para ser más exacto, el principio de la mañana, serían perpetuos. Aunque el calor emitido por este Sol tan bajo sería ligero, ya que nunca dejaría de emitirlo durante todo el año, el clima polar, ahora yermo, sería apreciablemente más apacible. Pero esa sería una pobre compensación para el daño que recibirían las áreas muy desarrolladas del planeta.



*Figura 15. La refracción atmosférica. El rayo del astro  $S_2$  se refracta y se curva al atravesar las capas de la atmósfera terrestre, pensando el observador que se emite desde el punto  $S_2'$  punto más alto. Aunque el astro,  $S_1$  ya se ha hundido por debajo del horizonte, el observador todavía lo ve, debido a la refracción*

**b. Si el eje de la tierra se inclinara  $45^\circ$  en el plano orbital.**

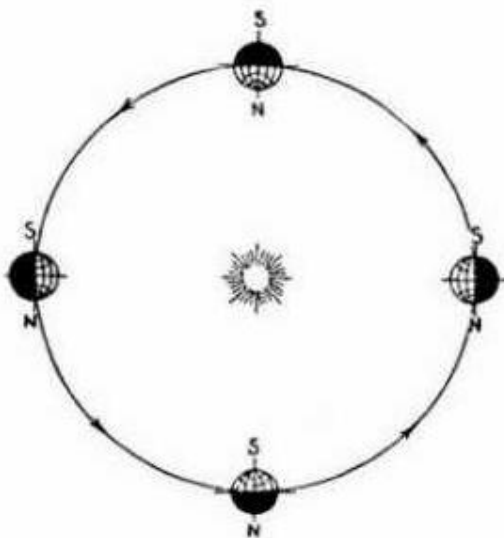
Imaginemos ahora una inclinación de  $45^\circ$  del eje de la Tierra con respecto al plano orbital. Durante los equinoccios (alrededor del 21 de marzo y el 23 de septiembre) el día se alternaría como ahora con la noche. Sin embargo, en junio el Sol alcanzaría el cenit hacia el paralelo  $45$  y no en el  $23$  y medio; esta latitud llegaría a ser tropical. A la latitud de Leningrado ( $60^\circ$ ) el sol estaría a no más de  $15^\circ$  del cenit, una altitud solar verdaderamente tropical. La zona tórrida limitaría directamente con la zona frígida, no existiendo la zona templada. En Moscú y Cracovia el mes de junio sería un continuo y largo día.

Al contrario, en invierno, la oscuridad polar prevalecería durante semanas en Moscú, Kiev, Kharkov y Poltava. Y la zona tórrida en esta estación sería más templada porque el Sol al mediodía no subiría por encima de los  $45^\circ$ . Naturalmente, las zonas tórridas y templadas perderían mucho con este cambio. Las regiones Polares, sin embargo, ganarían. Aquí, después de un invierno sumamente severo, peor que los actuales, habría un verano ligeramente caluroso, teniendo en cuenta que en el Polo el Sol al mediodía estaría sobre los  $45^\circ$  y brillaría durante más de la mitad del año. Los hielos eternos del ártico se retirarían apreciablemente bajo la acción benéfica de los rayos del sol.

**c. Si el eje de la Tierra coincidiera con el plano Orbital**

Nuestro tercer experimento imaginario es poner el eje de la Tierra en su plano orbital (Fig. 16). La Tierra giraría entonces alrededor del Sol "en una posición tendida", girando en su eje de la misma manera que lo hace ese miembro remoto de nuestra familia planetaria, Urano. ¿Qué pasaría en este caso?





*Figura 16. Así es cómo la Tierra se movería alrededor del Sol si el eje de rotación estuviera en su plano Orbital.*

En las proximidades de los polos habría un día de seis meses durante el cual, el Sol subiría en espiral del horizonte al cenit, y luego descendería de la misma forma hacia el horizonte. Tras esto viviríamos una noche de seis meses. Día y noche quedarían divididos por un crepúsculo de varios días de duración. Antes de desaparecer bajo el horizonte, el Sol cruzaría los cielos durante varios días, rozando el horizonte. Un verano así fundiría todo el hielo acumulado durante el invierno.

En las latitudes medias los días rápidamente se harían más largos con el comienzo de la Primavera; tras esto, tendríamos luz diurna durante varios días. Ese largo día significaría aproximadamente el número de días que coincidiera con el número de grados que distan del Polo y su duración sería aproximadamente el número de días igual a los grados del doble de la latitud.

En Leningrado, por ejemplo, esta continua luz diurna empezaría 30 días después del 21 de marzo, y duraría 120 días. Las noches reaparecerían 30 días antes del 23 de septiembre. En invierno sucedería lo contrario; una continua luz diurna sería reemplazada por una oscuridad continua de aproximadamente la misma duración. Sólo en el ecuador la noche y el día serían siempre iguales.

El eje de Urano se inclina sobre su plano orbital mas o menos como se describe anteriormente; su inclinación hacia su propio plano en su camino alrededor del Sol es de sólo  $8^\circ$ . Uno podría decir de Urano que gira alrededor del Sol "echándose a su lado." Estos tres "si", podrían con toda la probabilidad, dar una buena idea al lector de la relación entre el clima y la inclinación del eje de la Tierra. No es accidental que en griego la palabra "clima" signifique "inclinación"

#### **d. Un "Si" Más**

Permítanos ahora regresar a otro aspecto de los movimientos de nuestro planeta, la forma de su órbita. Como cada planeta, la Tierra cumple la primera ley de Kepler que es que cada planeta sigue un camino elíptico del que el Sol es uno de los focos.

¿Cómo es la elipse de la órbita terrestre? ¿Difiere significativamente de un círculo?

Los libros de texto y los folletos de astronomía elemental pintan a menudo la órbita del globo como una elipse bastante extendida. Esta imagen, mal entendida, queda fija en

muchas mentes para toda la vida; muchas personas permanecen convencidas que la órbita de la Tierra es una elipse notablemente larga. Sin embargo, esto no es así en absoluto; la diferencia entre la órbita de la Tierra y un círculo es tan despreciable que no puede dibujarse de otra forma que no sea como un círculo. Supongamos que en nuestro dibujo el diámetro de la órbita es un metro. La diferencia entre él y un círculo sería menos que el espesor de la línea dibujada para pintarlo. Incluso el exigente ojo del dibujante no distinguiría entre esta elipse y un círculo.

Permítanos sumergirnos por un momento en la geometría elíptica. En la elipse de la Fig. 17, AB es su "eje mayor", y CD, su "eje menor". Aparte del centro O, cada elipse todavía tiene otro dos puntos importantes, los "focos", puestos simétricamente en el eje mayor a ambos lados del centro. Los focos se encuentran de la siguiente manera (Fig. 18). Un par de piernas de compás se estiran para cubrir una distancia igual al semi-eje principal OB. Con una pierna en C, el fin del eje menor, describimos con la otra un arco que se cruza con el eje mayor. Los puntos de intersección, F y F<sub>1</sub> son los focos de la elipse.

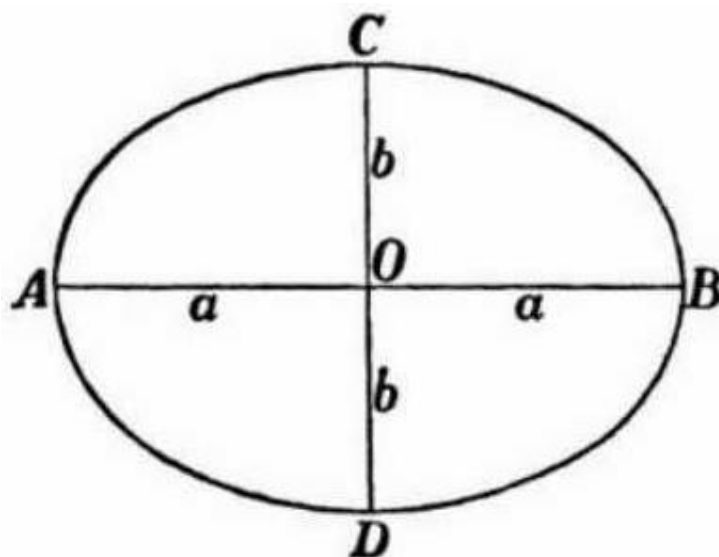


Figura 17. Una elipse y sus ejes, mayor (AB) y menor (el CD). El Punto O designa su centro

Las distancias iguales OF y OF<sub>1</sub> se designarán ahora como c, y los ejes, mayor y menor, 2a y 2b. El tramo c, medido fuera de la longitud un del semi-eje mayor, por ejemplo, el fragmento c/a es la medida de la extensión de la elipse y se llama "excentricidad". Cuanto mayor sea la diferencia entre la elipse y el círculo, mayor será la excentricidad.

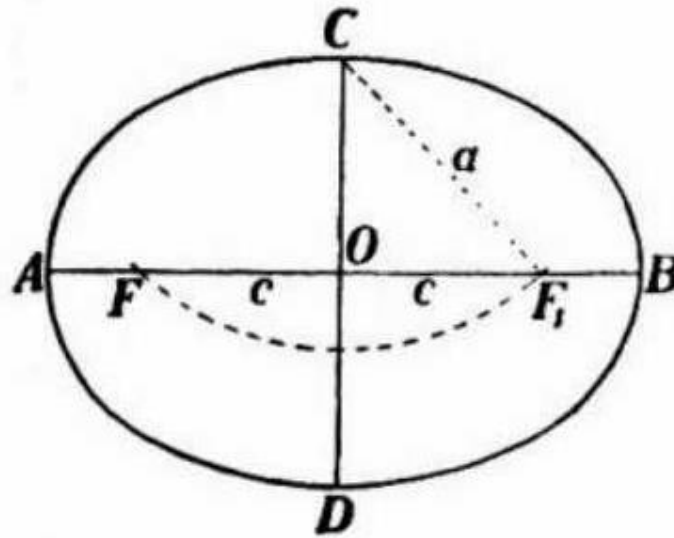


Figura 18. Cómo se localizan los focos de una elipse

Tendremos una idea exacta de la forma de la órbita terrestre cuando conozcamos el valor de su excentricidad. Esto incluso puede determinarse sin medir el valor de la órbita. El Sol, dispuesto como uno de los focos de la órbita, nos parece en la Tierra de un tamaño diferente, algo que se debe a las diferentes distancias de los puntos de la órbita desde ese foco. A veces las dimensiones visibles del Sol aumentan, a veces disminuyen, su proporción se ajusta exactamente a la proporción de las distancias entre la Tierra y el Sol en los momentos de observación. Asumamos que el Sol sea el foco  $F_1$  de nuestra elipse (Fig. 18). La Tierra estará aproximadamente en el punto A de la órbita el 1 de julio, cuando veremos el disco más pequeño del Sol, su valor angular será  $31'28''$ . La Tierra alcanzará el punto B aproximadamente el 1 de enero, cuando aparentemente el disco del Sol está en su ángulo más grande  $32'32''$ .

Así damos con la siguiente proporción:

$$\frac{31'28''}{32'32''} = \frac{BF_1}{AF_1} = \frac{a-c}{a+c}$$

de donde conseguimos la llamada proporción derivativa:

$$\frac{a-c-(a+c)}{a+c+(a-c)} = \frac{31'28''-32'32''}{32'32''+31'28''}$$

o:

$$\frac{64''}{64'} = \frac{c}{a}$$

Esto significa que:

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{60} = 0.017$$

Por ejemplo, la excentricidad de la órbita de la Tierra es 0.017. Todo lo que necesitamos, por consiguiente, es tomar una medida cuidadosa del disco visible del Sol para determinar la forma de la órbita de la Tierra.

Ahora demostraremos que la órbita de la Tierra difiere muy poco de un círculo. Imagine un dibujo enorme con el semi-eje mayor de la órbita igual a un metro. ¿Cuál será la longitud del otro eje menor de la elipse? Del triángulo del ángulo recto  $OCF_1$  (Fig. 18) encontramos

$$c^2 = a^2 - b^2,$$

o

$$\frac{c^2}{a^2} = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

pero  $c/a$  es la excentricidad de la órbita de la Tierra, es decir,  $1/60$ . Reemplazamos la expresión algebraica  $a^2 - b^2$  por  $(a - b)(a + b)$ , y  $(a + b)$  por  $2a$ , ya que  $b$  difiere ligeramente de  $a$ .

Así obtenemos

$$\frac{1}{60^2} = \frac{2a(a-b)}{a^2} = \frac{2(a-b)}{a}$$

y por lo tanto  $a - b = a/2 \times 60^2 = 1000/7200$ , es decir, menos de  $1/7$  mm.

Hemos encontrado que incluso a esta gran escala, la diferencia entre la longitud del mayor y del menor de los semi-ejes de la órbita de la Tierra no es mayor que  $1/7$  mm. (más delgada que una línea dibujada con un lápiz fino)

Así que no estaremos muy equivocados si dibujamos la órbita de la Tierra como un círculo. ¿Pero dónde encajaría el Sol en nuestro esquema? ¿Para ponerlo como foco de la órbita, cuán lejos debe estar del centro? ¿En otras palabras, cuál sería la longitud de  $OF$  o de  $OF_1$ , en nuestro dibujo imaginario? El cálculo es bastante simple:

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{60}$$

$$c = \frac{a}{60} = \frac{100}{60} = 1,7 \text{ cm.}$$

En nuestro dibujo el centro del Sol debe estar 1.7 cm fuera del centro de la órbita. Pero como el propio Sol debe dibujarse como un círculo de 1 cm. De diámetro, sólo los ojos entrenados del pintor se darían cuenta de que no está en el centro del círculo.

La conclusión práctica es que podemos dibujar la órbita de la Tierra como un círculo, colocando al Sol ligeramente al lado del centro.

¿Podría esta insignificante asimetría en la posición del Sol influir en el clima de la Tierra?

Para descubrir el efecto probable, nos permitimos dirigir otro experimento imaginario, jugando de nuevo a "Si." Suponga que la excentricidad de la órbita de la Tierra sea más grande, digamos, 0.5. Aquí el foco de la elipse dividiría su semi-eje por la mitad; esta elipse

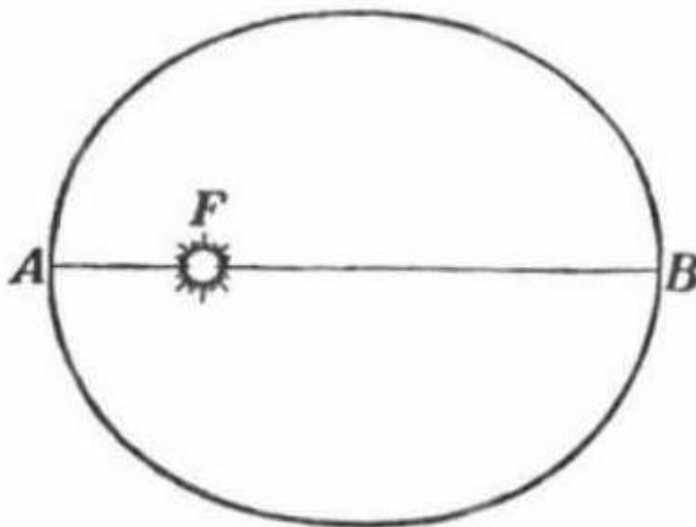
se parecería aproximadamente a un huevo. Ninguna de las órbitas de los planetas mayores en el sistema solar tiene esta excentricidad; La órbita de Plutón, la más prolongada, tiene una excentricidad de 0.25. (los asteroides y los cometas, sin embargo, siguen elipses más pronunciadas.)

[Volver](#)

### Si la trayectoria de la Tierra fuera más pronunciada.

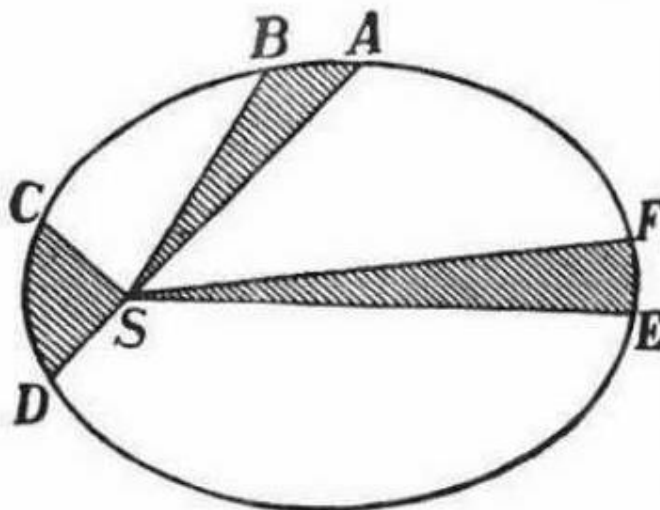
Imagine la órbita de Tierra notoriamente alargada, con el foco dividiendo su semi-eje mayor en la mitad. La figura 19 muestra esta órbita. La Tierra, hasta aquí, estaría en el punto A, el más cercano al Sol, el 1 de enero, y en el punto B, el más lejano, el 1 de Julio. Ya que FB es tres veces FA, el Sol estaría tres veces mas cerca de nosotros en Enero que en Julio. Su diámetro en Enero sería el triple del diámetro de Julio, y la cantidad de calor emitido sería nueve veces mayor que en Julio (la proporción inversa de la longitud cuadrada). ¿Que pasaría entonces con nuestros Inviernos del Norte? Sólo que el Sol estaría más bajo en el cielo, los días serían más cortos y las noches más largas. Pero, no tendríamos un tiempo frío, ya que la proximidad del Sol compensaría el déficit de luz diurna.

A esto debemos agregar otra circunstancia, que proviene de la segunda ley de Kepler, que dice que el vector radio alcanza áreas iguales en tiempos iguales.



*Figura 19. Ésta es la forma que la órbita de la Tierra tendría, si su excentricidad fuera 0.5. El sol está en el foco F.*

El " vector radio" de una órbita es la línea recta que une el Sol con el planeta, la Tierra en nuestro caso. La Tierra se desplaza a través de su órbita junto a su vector radio, con este último barriendo una cierta área. Sabemos por la ley de Kepler que las secciones de un área de una elipse barridas en el mismo tiempo, son iguales. En puntos cercanos al Sol, la Tierra tiene que moverse más rápido a lo largo de su órbita que en puntos más lejanos, si no el área barrida por un radio-vector más corto no igualaría el área cubierta por uno más largo. (Fig. 20).



*Figura . 20. Una ilustración de la segunda ley de Kepler: Si el planeta viaja a lo largo de los arcos AB, CD y EF en tiempos iguales, los segmentos sombreados deben ser iguales en cuanto al área.*

Aplicando esto a nuestra órbita imaginaria deducimos que entre Diciembre y Febrero, cuando la Tierra está más cerca del Sol, se mueve más rápido a través de su órbita que entre Junio y Agosto. En otros términos, el invierno del Hemisferio Norte es de duración corta. Mientras que el verano al contrario, es largo, como si estuviera compensando el poco calor ofrecido por el Sol.

Fig. 21 amuebla una idea más exacta de la duración de las estaciones bajo nuestras condiciones imaginadas. La elipse pinta el formulario de la nueva órbita de la Tierra, con una excentricidad 0.5. Las figuras 1-12 dividen el camino de la Tierra en las secciones que cruza a los intervalos iguales; según la ley de Kepler las secciones de la elipse divididas por los radio-vectores son iguales en el área.

La Tierra alcanzará el punto 1, el 1 de Enero, el punto 2 el 1 de Febrero, el punto 3, el 1 de marzo, y así sucesivamente. El dibujo nos muestra que en esta órbita el equinoccio primaveral (A) debe darse al principio de Febrero, el otoñal (B) al final de Noviembre. Así el Invierno del Hemisferio Norte duraría poco más de dos meses, desde finales de Noviembre a comienzos de Febrero. Por otro lado la estación de días largos y un sol de mediodía alto, duraría del equinoccio primaveral al otoñal, y por lo tanto serían más de 9 meses y medio.

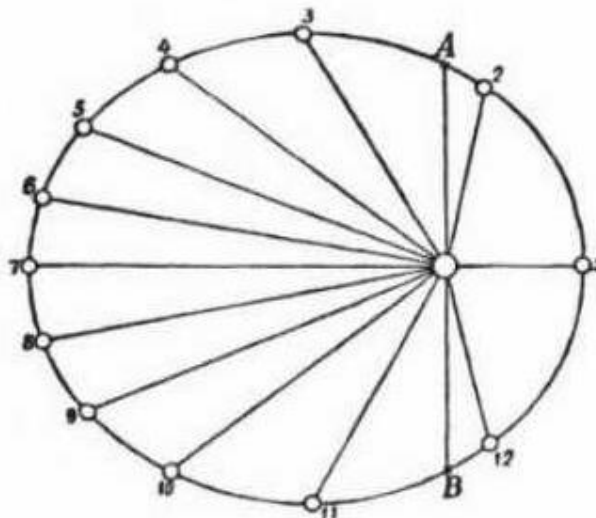


Figura 21. Así es cómo la Tierra giraría alrededor del Sol, si su órbita fuese una elipse muy prolongada. (El planeta cubre las distancias entre cada punto, en el mismo tiempo – un mes.)

Lo contrario sucedería en el Hemisferio Sur. El Sol permanecería bajo y los días serían cortos, cuando la Tierra estuviera más lejos del Sol diurno y el calor de este menguaría al menos una novena parte. El Invierno sería mucho más riguroso y de lejos más largo que en el Norte. Por otro lado, el Verano, aunque corto, sería intolerablemente caliente. Otra consecuencia de nuestro "Si." En Enero el movimiento orbital rápido de la Tierra haría que los momentos de mediodía medio y del verdadero mediodía fueran considerablemente distintos, una diferencia de varias horas. Esto haría muy inoportuno seguir el tiempo solar medio que observamos ahora.

Ahora tenemos una idea de los efectos de la posición excéntrica del Sol en la órbita de la Tierra. Primero, el Invierno en el Hemisferio Norte debe ser más corto y más apacible, y el Verano más largo que en el Hemisferio Sur. ¿Esto es realmente así? Indiscutiblemente, sí. En Enero la Tierra está más cerca del Sol que en Julio por  $2 \times 1/60$ , es decir, por  $1/30$ . Por eso, la cantidad de calor recibida se incrementa  $(61/59)^2$  veces, en consecuencia un 6%. Esto alivia un poco la severidad del Invierno en el Hemisferio Norte.

Además, el otoño y el Invierno del Hemisferio Norte juntos son aproximadamente ocho días más cortos que las mismas estaciones del Hemisferio Sur; mientras que el Verano y la Primavera en el Hemisferio Norte son ocho días más largos que en el Hemisferio Sur. Posiblemente, esta puede ser la razón por la que el hielo es más espeso en el Polo Sur. Debajo encontramos una tabla que nos muestra la longitud exacta de las estaciones en los Hemisferios Norte y Sur:

<b>Hemisferio Norte</b>	<b>Longitud</b>	<b>Hemisferio Sur</b>
Primavera	92 días 19 horas	Otoño
Verano	93 días 15 horas	Invierno
Otoño	89 días 19 horas	Primavera
Invierno	89 días 0 horas	Verano

Como se puede ver, el Verano en el Hemisferio Norte es 4.6 días más largo que el Invierno, y la Primavera 3 días más larga que el Otoño.

El Hemisferio Norte no retendrá esta ventaja eternamente. El eje mayor de la órbita de la Tierra está cambiando gradualmente en el espacio, con el resultado de que los puntos más cercano y más lejano a lo largo de la órbita del Sol se transfieren a otra parte. Estos movimientos representan un ciclo completo cada 21,000 años y se ha calculado que alrededor del 10700 después de Cristo el Hemisferio Sur disfrutará las ventajas antes dichas que ahora posee el Hemisferio Norte.

Tampoco esta rígidamente fijada la excentricidad de la órbita de la Tierra; vacila despacio a lo largo de las épocas entre casi cero (0.003), cuando la órbita es casi un círculo, y 0.077, cuando la órbita es mas alargada, pareciéndose en eso a Marte. Actualmente su excentricidad esta menguando; disminuirá durante otros 24 milenios hasta quedar en 0.003, e invertirá el proceso entonces durante 40 milenios. Estos cambios son tan lentos que su importancia es completamente teórica.

[Volver](#)

### ¿Cuándo Estamos más Cerca del Sol, al mediodía o por la tarde?

Si la órbita terrestre fuera estrictamente circular con el Sol en su punto central, la respuesta sería muy simple. Estaríamos a mediodía más cerca del Sol, cuando los puntos correspondientes en la superficie del globo, pertenecientes a la rotación axial de la Tierra, están en conjunción con el Sol. La longitud más grande de esta proximidad al Sol sería, para los puntos en el ecuador, de 6.400 Km., la longitud del radio de la Tierra.

Pero la órbita de la Tierra es una elipse con el Sol en uno de sus focos (Fig. 22).



Figura 22. Un diagrama del tránsito de la Tierra alrededor del Sol.

Como consecuencia, a veces la Tierra está más cerca del Sol y a veces más lejos. Durante los seis meses entre el 1 de Enero y el 1 de Julio, la Tierra se mueve alejándose del Sol y durante los otros seis se aproxima. La diferencia entre la distancia más grande y la más pequeña es de

$$2 \times \frac{1}{60} \times 150.000.000. \text{ es decir } 5.000.000 \text{ kilómetros.}$$



Esta variación en la distancia promedia unos 28.000 km al día. Por consiguiente, entre el mediodía y el ocaso ( en un cuarto de día) la distancia recorrida de ese promedio es de 7.500 km, es decir, más que la distancia de la rotación axial de la Tierra.

De aquí, la respuesta: entre Enero y Julio estamos al mediodía más cerca del Sol, y entre Julio y Enero estamos más cerca por la tarde.

[Volver](#)

### Agregue un Metro

#### Pregunta

La Tierra se mueve alrededor del Sol a una distancia de 150,000,000 Km. Suponga que nosotros agregamos un metro a esta distancia.

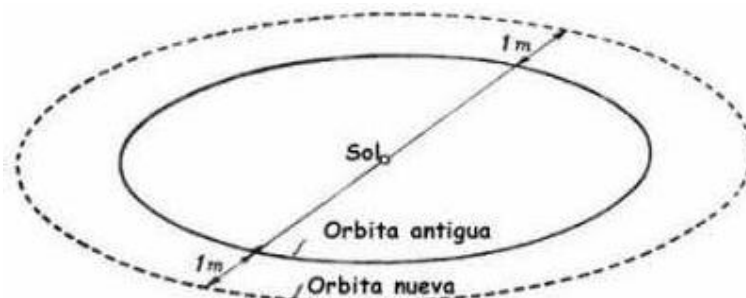


Figura 23. ¿Cuánto mayor sería la órbita de la Tierra, si nuestro planeta estuviera 1 metro más lejos del Sol? (ver el texto para la respuesta).

¿Cuánto más largo sería el camino de la Tierra alrededor del Sol y cuánto más largo el año, con tal de que la velocidad del movimiento orbital de la Tierra permanezca invariable (vea Fig. 23)?

#### La respuesta

Ahora un metro no es mucha distancia, pero, teniendo en cuenta la enorme longitud de la órbita de la Tierra, uno podría pensar que la suma de esta distancia insignificante aumentaría la longitud orbital notoriamente e igualmente la duración del año.

Sin embargo, el resultado, es tan infinitesimal que nos inclinamos por dudar de nuestros cálculos. Pero no hay ninguna necesidad de sorprenderse; la diferencia realmente es muy pequeña.

La diferencia en la longitud de dos circunferencias concéntricas no depende del valor de sus radios, sino de la diferencia entre ellos. Para dos circunferencias descritas en un suelo el resultado sería exactamente igual que para dos circunferencias cósmicas, siempre que la diferencia entre los radios sea de un metro en ambos casos. Un cálculo nos mostrará como es esto posible.

Si el radio de la órbita de la Tierra (aceptada como un círculo) es, R metros, su longitud será  $2\pi R$ . Si nosotros hacemos ese radio 1 metro más largo, la longitud de la nueva órbita será

$$2\pi (R+1) = 2\pi R + 2\pi$$

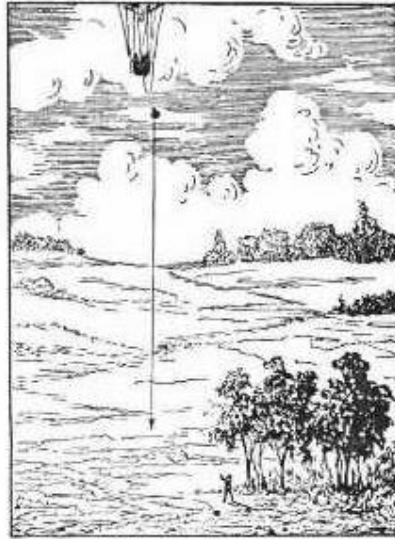
La suma a la órbita es, por consiguiente, sólo  $2\pi$ , en otras palabras, 6,28 metros, y no depende de la longitud del radio.

De aquí que la travesía de la Tierra alrededor del Sol, con la suma de ese metro, sea solo  $6 \frac{1}{4}$  metros más larga. El efecto práctico de esto en la longitud del año sería nulo, ya que la velocidad orbital de la Tierra es de 30.000 metros por segundo. El año sería sólo  $\frac{1}{5000}$  parte de un segundo más largo que el actual, por lo que lógicamente nunca lo notaríamos.

[Volver](#)

**Desde diferentes puntos de vista.**

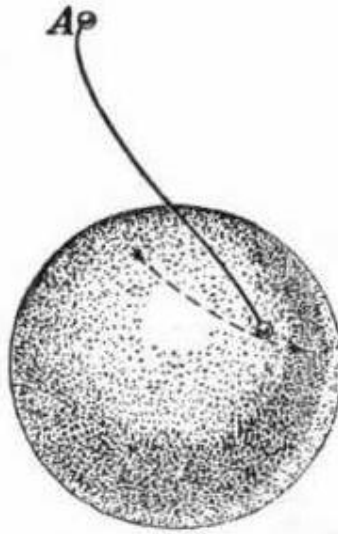
Siempre que deje caer algo, usted observará que cae verticalmente. Podría considerar raro que otra persona haya observado como ese objeto no caía en línea recta. Algo que sería cierto en el caso de cualquier observador no involucrado junto con nosotros en los movimientos de la Tierra.



*Figura 24. Cualquiera en nuestro planeta vería un objeto caer libremente a lo largo de una línea recta*

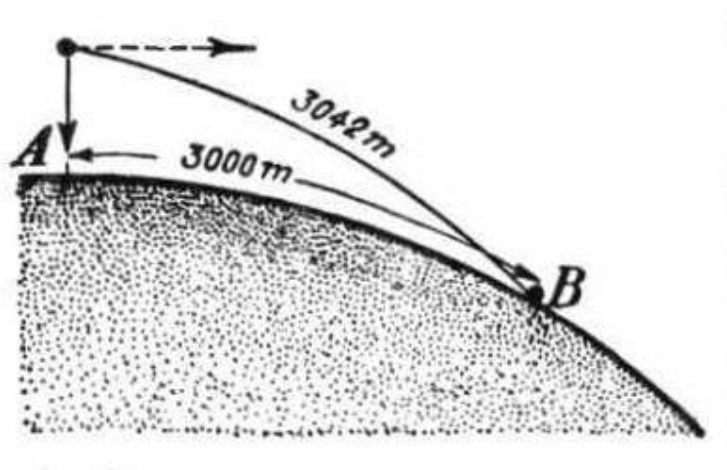
Imaginémonos a nosotros mismos mirando un cuerpo que cae a través de los ojos de ese observador. La figura 24 muestra una pesada bola que se deja caer libremente de una altura de 500 metros. Al caer, participa naturalmente y de forma simultánea de todos los movimientos terrestres.

La única razón por la que no notamos esos movimientos suplementarios y rápidos del cuerpo que cae, es porque nosotros también estamos envuelto en ellos. Si pudiéramos evitar la participación en uno de los movimientos de nuestro planeta, veríamos como ese cuerpo no cae verticalmente, sino que sigue otro camino.



*Figura 25. El hombre en la Luna vería el mismo vuelo como una curva.*

Supongamos que no estamos mirando el cuerpo que cae desde la superficie de la Tierra, sino desde la superficie de la Luna. Aunque la Luna acompaña a la Tierra en su movimiento alrededor del Sol, no está implicada en su rotación axial. Así que desde la Luna veríamos a ese cuerpo hacer dos movimientos, uno vertical hacia abajo y otro, que no habíamos observado antes, hacia el este en una tangente con la superficie de la Tierra. Los dos movimientos simultáneos se suman, de acuerdo con las reglas de la mecánica, y, como uno es desigual y el otro uniforme, el movimiento resultante nos dará una curva. La figura 25 muestra esa curva, o cómo un hombre con una vista muy aguda vería desde la Luna un cuerpo que cae en la Tierra.



*Figura 26. Un cuerpo que cae libremente hacia nuestra Tierra al mismo tiempo se mueve en una tangente, descrita por los puntos de la superficie de la Tierra debido a la rotación.*

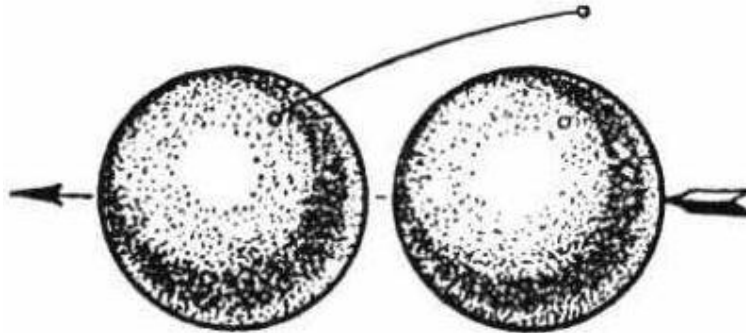
Permítanos ir que uno camina más allá y se imagina en el Sol que observa a través de un telescopio extra-poderoso el vuelo hacia la tierra de esta pelota pesada. En el Sol nosotros

estaremos fuera de la rotación axial de ambos el Tierra y su revolución orbital. De, nosotros veremos tres movimientos del cuerpo cayente simultáneamente (Fig. 26): 1) una gota vertical hacia la superficie de la Tierra, 2) un movimiento hacia el este a lo largo de una tangente hacia la superficie de la Tierra y 3) una ronda del movimiento el Sol.

El movimiento número 1 cubre 0.5 km. El movimiento número 2, en los 10 segundos del vuelo descendente del cuerpo, cubriría, a la latitud de Moscú,  $0.3 \times 10 = 3$  km.

El tercero, y más rápido de los movimientos sería de 30 kilómetros por segundo, por lo que en los 10 segundos de su movimiento descendente viajaría 300 km. a lo largo de la órbita terrestre.

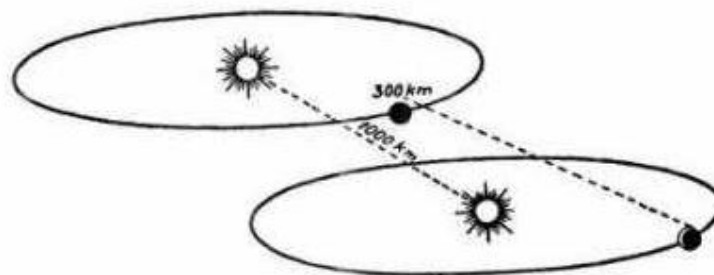
En comparación con este pronunciado movimiento, los otros, de 0.5 km. hacia abajo y de 3 km. a lo largo de la tangente, apenas se distinguirían; desde un mirador en el Sol, solo veríamos el vuelo principal. ¿Qué tendríamos? Aproximadamente lo que vemos ( la escala correcta no ha sido respetada en este ejemplo) en la Figura 27.



*Figura 27. Esto es lo que cualquiera, observando el cuerpo que cae mostrado en la Figura 24, vería desde el Sol (la escala se ha desestimado).*

La Tierra se desplaza hacia la izquierda, mientras el cuerpo cae desde un punto sobre la Tierra en la posición mostrada a la derecha, a un punto correspondiente en la Tierra mostrada a la izquierda. Como se dijo anteriormente, la escala correcta no ha sido respetada - en los 10 segundos de caída, el centro de la Tierra no se habrá desplazado 14.000 kilómetros, como nuestro artista ha reflejado en el dibujo persiguiendo una mayor claridad, sino sólo 300 kilómetros.

Permítanos dar otro paso e imaginarnos en una estrella, por ejemplo, en un Sol remoto, más allá incluso de los movimientos de nuestro propio Sol. Desde allí observaríamos, aparte de los tres movimientos expuestos anteriormente, un cuarto movimiento del cuerpo que cae con respecto a la estrella en la que nosotros nos encontrásemos. El valor y la dirección del cuarto movimiento dependen de la estrella que nosotros hayamos escogido, es decir, en el movimiento de todo el sistema solar con respecto a esa estrella.



*Figura 28. Cómo vería un observador situado en una estrella*

*distante un cuerpo cayendo hacia la Tierra.*

La Figura 28 es un caso probable cuando el sistema solar se mueve con respecto a la estrella escogida en un ángulo agudo respecto a la eclíptica, a una velocidad de 100 kilómetros por segundo (las estrellas tienen velocidades de este orden.) En 10 segundos este movimiento desplazaría al cuerpo que cae unos 1.000 kilómetros y, naturalmente, complicaría su vuelo. La observación desde otra estrella nos daría para esta misma trayectoria, otro valor y otra dirección.

Podríamos ir incluso más lejos e imaginar que características podría tener el vuelo de un cuerpo que cae hacia nuestro planeta, para un observador que se encuentra más allá de la Vía Láctea, y que por lo tanto no estaría involucrado en el rápido movimiento de nuestro sistema estelar con respecto a otras islas del universo.

Mas no existe finalidad alguna para hacerlo. A estas alturas, los lectores ya sabrán que, observando desde diferentes puntos el vuelo de un cuerpo que cae, este vuelo se verá de forma diferente.

[Volver](#)

### **Tiempo no terrenal**

Usted ha trabajado una hora y después ha descansado durante una hora. ¿Son estos dos tiempos iguales? Indiscutiblemente sí, si utilizamos un buen reloj, la mayoría de las personas así lo dirían. ¿Pero qué reloj deberíamos usar? Naturalmente, uno verificado por la observación astronómica, o en otros términos, uno que repique con el movimiento de un globo que gira con la uniformidad ideal, volviendo a los mismos ángulos en exactamente el mismo tiempo.

¿Pero cómo, puede uno preguntarse, sabemos que la rotación de la Tierra es uniforme? ¿Por qué estamos seguros de que las dos rotaciones axiales consecutivas de nuestro planeta tardan en realizarse el mismo tiempo? Lo cierto es que no podemos verificar esto mientras que la rotación de la Tierra sea una medida de tiempo.

Ultimamente algunos astrónomos han encontrado útil en algunos casos reemplazar de forma provisional este modelo de movimiento uniforme por otro. A continuación se exponen las razones y las consecuencias de este paso.

Un cuidadoso estudio reveló que en sus movimientos, algunos de los cuerpos celestes no se comportan de acuerdo a las suposiciones teóricas, y que la divergencia no puede explicarse por las leyes de la mecánica celestial. Se encontró que la Luna, los satélites de Júpiter I y II, Mercurio, e incluso los movimientos anuales del Sol, es decir, el movimiento de nuestro propio planeta a lo largo de su propia órbita, tenían variaciones para las que no había ninguna razón aparente.

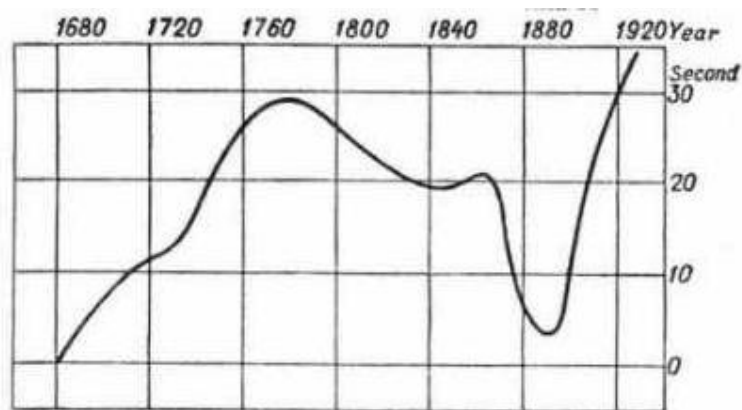
Por ejemplo, la Luna se desvía de su órbita teórica al menos 1/6ª parte de un minuto de un arco en algunas épocas, y el Sol llega a un segundo de arco. Un análisis de estas incongruencias descubrió un rasgo común entre todos: en un período determinado, la velocidad de estos movimientos aumenta y, mas tarde, se ralentiza. Naturalmente se dedujo que estas desviaciones tenían una causa común.

¿No se deberá esto a la "inexactitud" de nuestro reloj natural, a la desafortunada opción de la rotación terrestre como un modelo de movimiento uniforme?

La cuestión de reemplazar el "reloj terrestre" fue planteada. Provisionalmente este quedó descartado, y el movimiento investigado pasó a medirse por otro reloj natural basado en los movimientos de los satélites de Júpiter, la Luna, o Mercurio ( los movimientos de ambos o de uno u otro de estos elementos). Esta acción inmediatamente introdujo el orden satisfactorio en el movimiento de los cuerpos celestiales antes nombrados. Por otro lado, la rotación de la Tierra medida por este nuevo reloj resultó ser desigual – desacelerando durante unas docenas de años, ganando velocidad en las próximas docenas, y reduciendo después esa velocidad una vez más.

En 1897 el día era 0,0035 segundos más largo que en años anteriores y en 1918 esta cantidad ya era menor que entre 1897 y 1918. El día es ahora aproximadamente 0,002 segundos más largo que hace cien años.

En este sentido podemos decir que nuestro planeta gira irregularmente con respecto a otros de sus movimientos y también con respecto a los movimientos en nuestro sistema solar convencionalmente aceptados como movimientos regulares. El valor de las desviaciones de la Tierra si tenemos en cuenta un movimiento estrictamente regular (en el sentido antes indicado) es sumamente despreciable: durante los cientos años entre 1680 y 1780 la Tierra giró más lentamente, los días eran más largos y nuestro planeta acumuló una diferencia de unos 30 segundos entre su tiempo de ese momento y al tiempo del pasado; entonces, a mediados del siglo XIX, los días se acortaron, y esa diferencia se redujo en aproximadamente 10 segundos; hacia comienzos del siglo XX otros 20 segundos se perdieron. Sin embargo, en el primer cuarto del siglo XX el movimiento de la Tierra redujo de nuevo la velocidad, los días se alargaron y la diferencia aumentó de nuevo en casi medio minuto (Fig. 29).



*Figura 29. La línea nos muestra lo lejos que la Tierra se desvió del movimiento uniforme entre 1680 y 1920. Si la Tierra realizase este movimiento uniformemente, este quedaría reflejado en el gráfico como una línea horizontal. Sin embargo, el gráfico nos muestra un día más largo cuando la velocidad de rotación de la Tierra se redujo, y un día más corto cuando la velocidad de rotación empezó a incrementarse.*

Se han aducido varias razones para esos cambios, por ejemplo, las mareas lunares, los cambios en el diámetro de la Tierra <sup>6</sup> y así sucesivamente.

Es bastante posible que el estudio completo de este fenómeno nos ofrezca importantes descubrimientos.

[Volver](#)

### ¿Dónde comienzan los meses y los años?

La medianoche ha llegado a Moscú, introduciendo el Nuevo Año. Hacia el oeste de Moscú todavía es 31 de diciembre, mientras que hacia el este ya es 1 de enero. Sin embargo, en nuestra Tierra esférica, el Este y el Oeste deben encontrarse inevitablemente. Esto significa que debe haber en alguna parte una línea que divida los días 1 de los días 31, Enero de Diciembre y el Año Nuevo del Año viejo.

<sup>6</sup> Sería suficiente si el diámetro de la Tierra se volviese unos metros más largo o más corto, para causar los cambios mencionados anteriormente en la duración del día.

Esta línea se conoce como Línea de Fecha Internacional. Atraviesa el Estrecho de Bering, a través del Océano Pacífico, aproximadamente a lo largo del meridiano 180°. Se ha definido exactamente por acuerdos internacionales.

A lo largo de esta línea imaginaria, cortando el Pacífico, los días, los meses y los años cambian por primera vez en el globo.

Aquí yace lo que puede llamarse el umbral de nuestro calendario; es desde este punto desde donde comienzan todos los días del mes. Es la cuna del Nuevo Año. Cada día del mes aparece aquí antes que en cualquier otra parte; desde aquí se extiende hacia el oeste, circunnavega el globo y de nuevo regresa a su lugar de nacimiento para desaparecer.

La Unión Soviética lidera el mundo como anfitrión de cada nuevo día del mes. En el cabo Dezhnev el día recién nacido en las aguas del Estrecho de Bering es bienvenido al mundo y empieza su marcha por todo el globo. Y es también aquí, en la punta oriental de la Asia soviética, donde el día acaba, tras sus 24 horas de existencia.

Así, los días cambian en la Línea de Fecha Internacional. Los primeros marineros que circunnavegaron el mundo (antes de que se estableciera esta línea) calcularon mal los días. Veamos una historia real contada por Antonio Pigafetta, quien acompañó a Magallanes en su viaje alrededor del mundo.

"El 19 de julio, miércoles, vimos las Islas de Cabo Verde y dejamos caer el ancla... Ansiosos por saber si nuestros diarios de a bordo eran correctos, preguntamos que día de la semana era. Nos dijeron que era jueves. Esto nos sorprendió, porque nuestro libro indicaba que estábamos en Miércoles. Parecía improbable que todos nosotros hubiéramos cometido el mismo error de un día....

"Aprendimos después que nosotros no habíamos cometido ningún error en absoluto en nuestros cálculos. Navegando continuamente hacia el oeste, habíamos seguido al Sol en su camino y al volver a nuestro punto de salida se deben haber ganado 24 horas. Uno sólo necesita pensar un poco sobre esto para estar de acuerdo."

¿Qué hace el marinero ahora cuándo cruza la línea de fecha? Para evitar el error, "pierde" un día al navegar del este al oeste, y "suma" un día, al volver. Por consiguiente la historia contada por Julio Verne en su obra La Vuelta al Mundo en Ochenta Días sobre el viajero que habiendo navegado alrededor del mundo "regresó" un domingo cuando todavía era sábado, no podría pasar. Esto sólo podía ocurrir en tiempos de Magallanes, cuando no había ningún acuerdo sobre la línea de determinación de la fecha. Igualmente inconcebible en nuestro tiempo es la aventura descrita por Edgar Allan Poe en sus Tres domingos en una Semana, sobre el marinero que después de ir alrededor del mundo del este al oeste se encontró, al regresar a casa, a otro que había hecho el viaje en la dirección inversa. Uno mantenía la postura de que el día antes había sido domingo, el otro estaba convencido de que el día siguiente sería domingo, mientras que un amigo que había permanecido en tierra insistía en que ese día era domingo.

Por lo tanto para no reñir con el calendario en un viaje alrededor del mundo uno debe, cuando viaje hacia el este, tómesese su tiempo para calcular los días, permitiendo al Sol ponerse al día, o en otras palabras, cuente dos veces el mismo día; por otro lado, cuando viaje al oeste, debe, al contrario, perder un día, para no retrasarse detrás del Sol.

Aunque esto es común, incluso en nuestros días, cuatro siglos después del viaje de Magallanes, no todo el mundo es consciente de ello.

[Volver](#)

### **¿Cuántos viernes hay en Febrero?**

*La pregunta*

¿Cuál es el mayor y el menor número de viernes que se pueden dar en el mes de Febrero?

*La respuesta*

La respuesta común es que el mayor número de viernes en el mes de Febrero es de cinco y el menor, cuatro. Sin duda alguna, es cierto que si en un año bisiesto el 1 de Febrero cae en viernes, el 29 también será viernes, sumando por lo tanto cinco viernes en total.

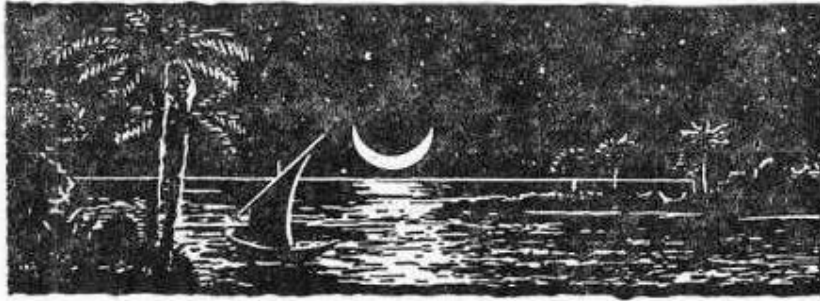
Sin embargo, es posible calcular el doble de viernes de un mes de Febrero. Imagine una nave recorriendo el camino existente entre Siberia y Alaska y dejando la orilla Asiática regularmente todos los viernes. ¿Cuántos viernes contará su capitán en el mes de Febrero de un año bisiesto en el que además el día 1 es viernes? Desde que cruza la línea de fecha internacional de oeste a este y lo hace durante un viernes, contará dos viernes todas las semanas, sumando así 10 viernes en todo el mes. Al contrario, el capitán de una nave que deja Alaska todos los jueves y se dirige hacia Siberia perderá los viernes en sus cálculos, con el resultado de que no tendrá un solo viernes en todo el mes.

Así que la respuesta correcta es que el mayor número de posibles viernes en el mes de Febrero es de 10, y el menor es de ninguno.





## Capítulo Segundo



## LA LUNA Y SUS MOVIMIENTOS

### Contenido

[¿Cuarto creciente o cuarto menguante?](#)

[La Luna en las banderas](#)

[Los enigmas de las fases de la Luna](#)

[Planeta doble](#)

[Por qué la Luna no cae sobre el Sol](#)

[El lado visible y el lado invisible de la Luna](#)

[La segunda Luna y la Luna de la Luna](#)

[Por qué la Luna no tiene atmósfera](#)

[Las dimensiones del mundo lunar](#)

[Paisajes lunares](#)

[El cielo de la Luna](#)

[Para qué observan los astrónomos los eclipses](#)

[Por qué los eclipses se repiten cada 18 años](#)

[¿Es posible?](#)

[Lo que no todos saben acerca de los eclipses](#)

[¿Cuál es el clima de la Luna?](#)

\* \* \*

### ¿Cuarto creciente o cuarto menguante?

Pocos son los que viendo en el cielo el disco incompleto de la Luna pueden decir sin equivocarse si la Luna está en creciente o en menguante.

La fina hoz de la Luna nacida de unos días y la hoz de la "Luna vieja" se distinguen solamente porque tienen la convexidad dirigida en sentido contrario. En el hemisferio Norte la Luna creciente está siempre con la convexidad dirigida hacia la derecha y la menguante hacia la izquierda. ¿Cómo recordar fácilmente y sin error hacia dónde mira cada Luna?

En ruso, en francés y en otras lenguas existen diferentes artificios mnemotécnicos que se basan en el parecido de la hoz o de la media luna con letras -P y C, p y d- iniciales de palabras que claramente indican si la Luna está en cuarto creciente o en cuarto menguante (figura 30).

Para los que en el hemisferio Norte hablan español, las hoces de la Luna pueden representar una C o una D, iniciales de creciente y de decreciente. Ahora bien, nosotros hemos de tomar estas letras con significado contrario, es decir, que cuando la Luna tiene la forma de C, inicial de creciente; está en menguante; y cuando tiene la forma de una D, inicial de decreciente, está en creciente. (También podemos servirnos al efecto del conocido dicho: "Luna creciente, cuernos a Oriente".)

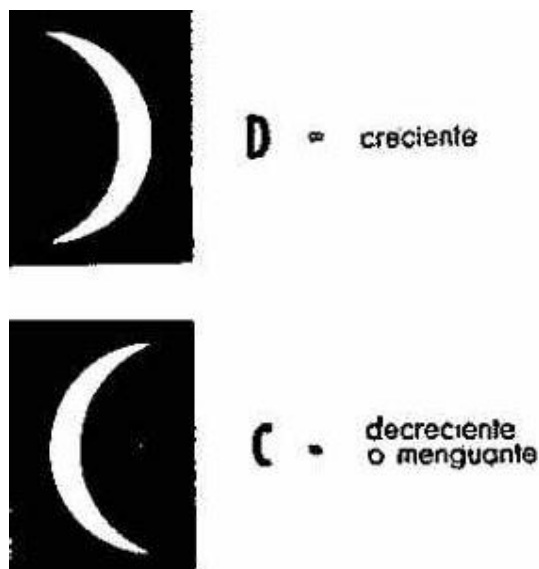


Figura 30. Procedimiento sencillo para distinguir el cuarto creciente del cuarto menguante en el hemisferio Norte

En el hemisferio Sur, en cambio, la correspondencia entre las iniciales C y D y el cuarto de la Luna es perfecta, pues el observador de ese hemisferio ve siempre a nuestro satélite en posición invertida con respecto al observador del hemisferio Norte.

Por otra parte, todos estos signos mnemotécnicos vienen a resultar inaplicables en las latitudes muy bajas. Ya en Crimea y en Transcaucasia la hoz y la media luna se inclinan fuertemente hacia un lado, y más al Sur aún, están completamente acostadas. Cerca del Ecuador, la hoz de la Luna, colgada sobre el horizonte, parece una góndola columpiándose sobre las olas (la "barca de la Luna" de los cuentos árabes) o un arco brillante. Aquí no sirven signos de ninguna clase; con el arco acostado se puede formar indiferentemente una y otra letra: C y D, p y d. No en vano en la antigua Roma llamaban "engañososa" (*Luna fallax*) a la Luna inclinada.

Para no equivocarse tampoco en este caso en la fase de la Luna, es necesario valerse de signos astronómicos: la Luna creciente es visible de noche en la parte occidental del cielo; la Luna menguante se ve de mañana en la parte oriental del cielo.

[Volver](#)

### La Luna en las banderas

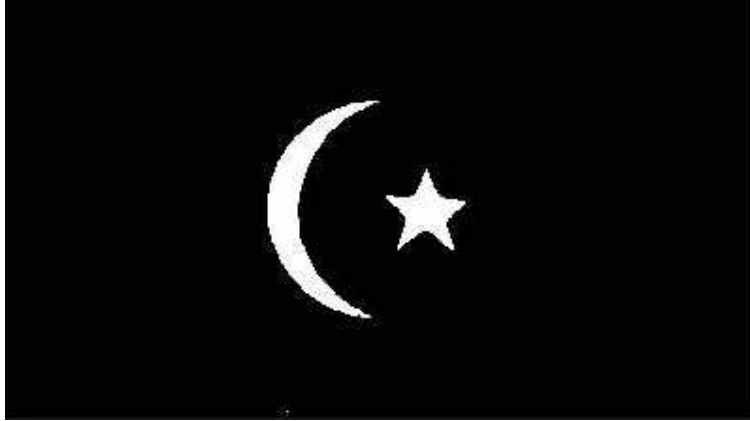
#### Problema

En la figura 31 vemos la antigua bandera de Turquía. En ella están representadas la hoz de la Luna y una estrella. Esto nos sugiere los siguientes problemas:

1. ¿La hoz de qué Luna está representada en la bandera de la creciente o de la menguante?
2. ¿Pueden observarse la hoz de la Luna y la estrella en el cielo según aparecen representadas en la bandera?

#### Solución

1. Recordando los signos mnemotécnicos antes indicados y teniendo en cuenta que la bandera pertenece a un país del hemisferio Norte, podemos decir que la Luna de la bandera es menguante.



*Figura 31. La antigua bandera de Turquía*

2. La estrella no puede ser vista dentro del círculo que resulta prolongando la hoz de la Luna hasta cerrar la circunferencia (figura 32a).



*a)*



*b)*

*Figura 32. El por qué la estrella no puede ser vista en los cuernos de la luna*

Todos los astros del cielo están mucho más lejos que la Luna y, por consiguiente, o quedan ocultos por ella, o sólo pueden ser vistos fuera de los límites de la parte no iluminada de la Luna, como se indica en la figura 32b.

Es de señalar que en la bandera actual de Turquía, que contiene también la representación de la hoz de la Luna y una estrella, la estrella está separada de la hoz como se muestra en la figura 32b.

[Volver](#)

### **Los enigmas de las fases de la Luna**

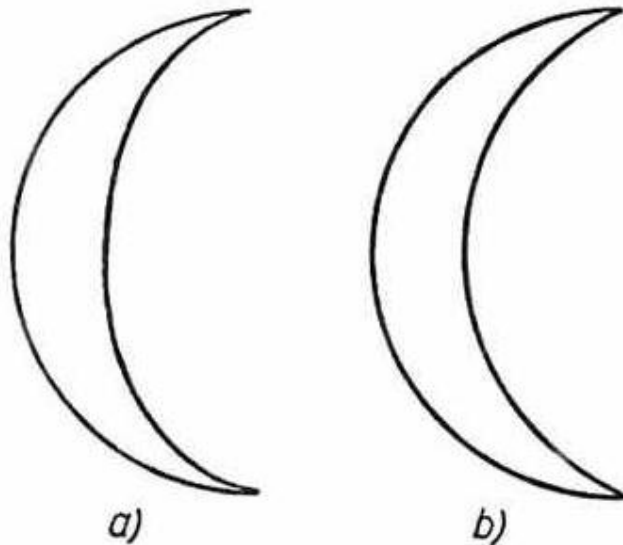
La Luna recibe su luz del Sol, y por esta razón el lado convexo de la hoz de la Luna debe estar dirigido hacia el Sol. Los artistas se olvidan muy a menudo de esto.

En las exposiciones de cuadros no es raro ver paisajes con la media luna dirigiendo hacia el Sol su lado recto; también se encuentra a veces la hoz de la Luna con sus cuernos dirigidos hacia el Sol (figura 33).



*Figura 33. ¿Cuál es el error astronómico cometido por el pintor en este paisaje? (Respuesta en el texto)*

Es necesario observar, por otra parte, que dibujar correctamente la Luna creciente no es tan sencillo como parece.



*Figura 34. Cómo se debe a) y cómo no se debe b) representar la hoz de la Luna*

Incluso artistas experimentados dibujan los arcos exterior e interior de la hoz de la Luna en forma de semicírculo (figura 34 b) Sin embargo, solamente el arco exterior tiene forma

semicircular; el arco interior es una semielipse, porque es un semicírculo (límite de la parte iluminada) visto en perspectiva (figura 34 a).

No es fácil tampoco dar a la hoz de la Luna una posición correcta en el cielo. Es frecuente situar la media luna y la hoz de la Luna en forma bastante discordante con relación al Sol. Parece que, como la Luna es iluminada por el Sol, la línea recta que une los extremos de la Luna debería formar un ángulo recto con el rayo que va del Sol a su punto medio (figura 35 ). En otras palabras, el centro del Sol debe encontrarse en la perpendicular trazada por el punto medio de la recta que une los extremos de la Luna. Sin embargo, esto es correcto sólo para una hoz estrecha.

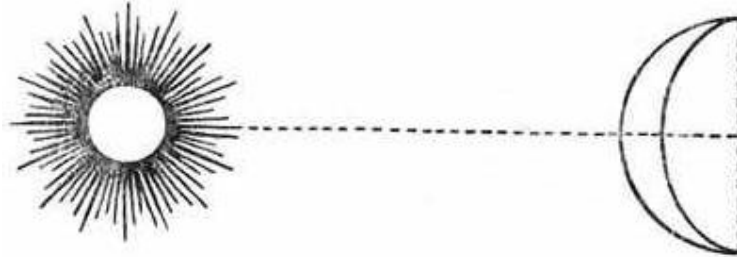


Figura 35. Posición de la hoz de la Luna con respecto al Sol

En la figura 36 se muestran las posiciones de la Luna en distintas fases con relación a los rayos del Sol. Da la impresión de que los rayos del Sol se curvan antes de alcanzar a la Luna.

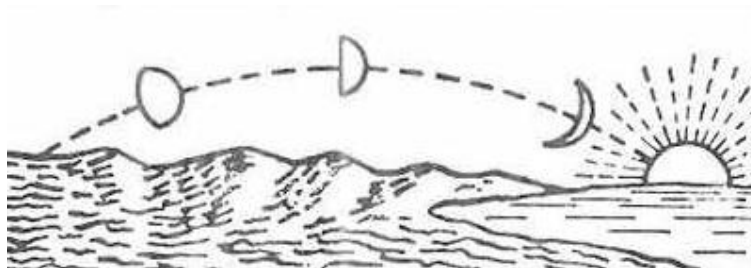


Figura 36. Posiciones con respecto al Sol en que vemos la Luna en sus distintas fases

La clave del enigma se reduce a lo siguiente: el rayo que va del Sol a la Luna es en realidad perpendicular a la línea que une los extremos de la Luna y constituye en el espacio una línea recta. Pero nuestro ojo dibuja en el cielo, no esta recta, sino su proyección en la bóveda celeste cóncava, es decir, una línea curva. He ahí por qué nos parece que la Luna está "incorrectamente colgada" en el cielo. El artista debe aprender estas particularidades y saber trasladarlas a la tela.

[Volver](#)

### Planeta doble

La Tierra y la Luna forman un planeta doble. Tienen derecho a esta denominación porque nuestro satélite se distingue de los satélites de los demás planetas por su magnitud y por su masa, notables con relación a su planeta central.

En el sistema solar existen satélites más grandes y más pesados en valor absoluto, pero, en comparación con su planeta central, lo son mucho menos que nuestra Luna con relación a la Tierra.

En efecto, el diámetro de nuestra Luna es mayor que un cuarto del terrestre, mientras que el diámetro del más grande de los satélites de otros planetas es sólo la décima parte del diámetro de su planeta. (Tritón, satélite de Neptuno.) Además, la masa de la Luna

constituye 1/81 de la masa de la Tierra, en tanto que el más pesado de los satélites que se encuentran en el sistema solar, el satélite III de Júpiter, tiene menos de una diezmilésima parte de la masa de su planeta central.

La tabla siguiente muestra la proporción de la masa de los grandes satélites con respecto a su planeta central.

Planeta	Satélite	Masa (en proporción a la masa del planeta)
Tierra	Luna	0.01230
Júpiter	Ganímedes	0.00008
Saturno	Titán	0.00021
Urano	Titania	0.00003
Neptuno	Tritón	0.00129

De la comparación resulta que nuestra Luna, por su masa, tiene la proporción más elevada con respecto a su planeta central.

Lo que en tercer lugar da al sistema Tierra-Luna derecho a pretender la denominación de planeta doble, es la gran proximidad de ambos cuerpos celestes. Muchos satélites de otros planetas giran a distancias mucho mayores: algunos satélites de Júpiter (por ejemplo, el noveno, figura 37) giran 65 veces más lejos.



Figura 37. El sistema Tierra-Luna comparado con el sistema de Júpiter. (Las dimensiones de los cuerpos celestes están indicadas sin guardar escala)

A esto se debe el hecho interesante de que la trayectoria descrita por la Luna alrededor del Sol sea muy poco distinta de la que sigue la Tierra. Esto puede parecer inverosímil, si se recuerda que la Luna se mueve alrededor de la Tierra a una distancia de casi 400 000 km. No olvidemos, sin embargo, que mientras la Luna da una vuelta alrededor de la Tierra, la Tierra misma ha tenido tiempo de trasladarse con ella aproximadamente 1/13 de su trayecto anual, es decir, 70.000.000 de kilómetros.

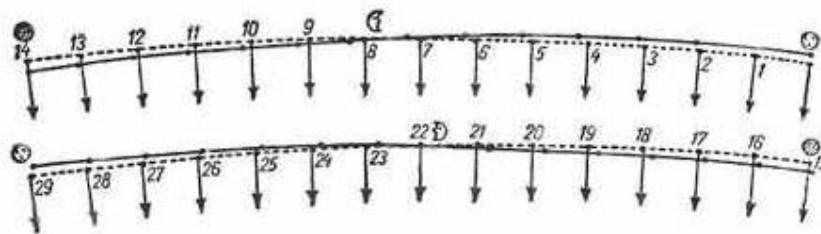


Figura 38. El recorrido mensual de la Luna (línea continua) y de la Tierra (punteada) alrededor del Sol

Imagínese la trayectoria circular de la Luna, 2.500.000 kilómetros, extendida a lo largo de una distancia 30 veces mayor. ¿Qué queda de su forma singular? Nada. He aquí por qué el camino de la Luna alrededor del Sol casi se confunde con la órbita de la Tierra, de la que

sólo diverge por 13 convexidades apenas observables. Se puede demostrar con un cálculo sencillo (que no hacemos aquí para no recargar la exposición) que esta trayectoria de la Luna tiene dirigida hacia el Sol su, concavidad. Se podría decir que, a grandes rasgos, se parece a un polígono de trece lados con ángulos ligeramente redondeados.

En la figura 38 se ve una representación precisa de las trayectorias de la Tierra y de la Luna a lo largo de un mes. La línea punteada es la trayectoria de la Tierra, y la línea continua, la de la Luna. Están tan cerca una de otra, que para representarlas separadas fue necesario hacer un dibujo a una escala muy grande: el diámetro de la órbita de la Tierra es en él igual a 1/2 m. Si se tomara un diámetro de 10 cm, la mayor separación en el dibujo entre ambas trayectorias sería entonces menor que el espesor de la línea que las representa. Observando este dibujo, uno se convence de que la Tierra y la Luna se mueven alrededor del Sol casi en la misma trayectoria y de que la denominación de "planeta doble" que les otorgaron los astrónomos es totalmente legítima.<sup>1</sup>

[Volver](#)

### Por qué la luna no cae sobre el sol

La pregunta puede parecer ingenua. ¿En virtud de qué habría de caer la Luna sobre el Sol? Pues si la Tierra la atrae más fuertemente que el lejano Sol, la obliga, naturalmente, a girar alrededor de ella.

Los lectores que piensan así se sorprenderán al saber que ocurre precisamente lo contrario: la Luna es atraída con más fuerza por el Sol que por la Tierra.

Que esto es así lo demuestra el cálculo. Comparemos las fuerzas de atracción que sobre la Luna ejercen el Sol y la Tierra. Ambas fuerzas dependen de dos factores: de la magnitud de la masa que atrae y de la distancia de esta masa a la Luna. La masa del Sol es 330 000 veces mayor que la masa de la Tierra, y con tantas veces más fuerza que la Tierra atraería a la Luna si la distancia de la Luna fuera para ambos la misma. Pero el Sol se encuentra aproximadamente 400 veces más lejos de la Luna que la Tierra. La fuerza de atracción disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia; por esto, la atracción del Sol debe disminuir en  $400^2$ , es decir, en 160 000 veces. Lo cual significa que la atracción del Sol es mayor que la terrestre en

$$\frac{330.000}{160.000}$$

es decir, en poco más de dos veces.

La Luna, pues, es atraída por el Sol con una fuerza dos veces mayor que por la Tierra. ¿Por qué entonces la Luna no se precipita sobre el Sol? ¿Por qué la Tierra obliga a la Luna a girar alrededor de ella y no predomina la acción del Sol?

La Luna no cae en el Sol por la misma razón por la cual no cae en él la Tierra. La Luna gira alrededor del Sol junto con la Tierra, y la acción gravitacional del Sol se consume toda en llevar constantemente a ambos cuerpos de una trayectoria recta a una órbita circular, es decir, en transformar el movimiento lineal recto en lineal curvo. Basta echar una mirada a la figura 38 para convencerse de lo dicho.

Quizás a algunos lectores les quede alguna duda, ¿Como sucede esto? La Tierra atrae a la Luna y el Sol atrae a la Luna con fuerza mayor, pero la Luna, en vez de caer en el Sol, gira alrededor de la Tierra. Esto sería efectivamente extraño si el Sol atrajera solamente a la

---

<sup>1</sup> Mirando atentamente el dibujo, se puede observar que el movimiento de la Luna representado en él no es exactamente uniforme. Así es en la realidad. La Luna se mueve alrededor de la Tierra por una elipse en uno de cuyos focos se encuentra la Tierra, y por esta razón, de acuerdo con la segunda ley de Kepler, en las partes próximas a la Tierra se mueve más rápidamente que en las partes alejadas. La excentricidad de la órbita de la Luna es bastante elevada: 0.055.

Luna; pero él atrae a la Luna junto con la Tierra, a todo el "planeta doble", y podemos decir que no se entromete en las relaciones internas de los miembros de esta pareja. Hablando con rigor, el Sol atrae al centro común de gravedad del sistema Tierra-Luna; este centro (llamado "baricentro") gira también alrededor del Sol bajo la influencia de la atracción solar. Se encuentra a una distancia de 2/3 de radio terrestre del centro de la Tierra, en dirección a la Luna. La Luna y el centro de la Tierra giran alrededor del baricentro completando una vuelta en el correr de un mes.

[Volver](#)

### El lado visible y el lado invisible de la luna

Entre los efectos proporcionados por el estereoscopio, ninguno es tan llamativo como el aspecto de la Luna. Con el estereoscopio uno ve con sus propios ojos que la Luna es realmente esférica, mientras que mirándola directamente parece plana como un plato. Pero muchos ni siquiera sospechan cuán difícil es obtener una fotografía estereoscópica de nuestro satélite. Para lograrla es necesario conocer muy bien las particularidades de los caprichosos movimientos del astro nocturno.

El problema consiste en que la Luna da vueltas alrededor de la Tierra de tal modo que la parte dirigida hacia nuestro planeta es siempre la misma. Mientras gira alrededor de la Tierra, la Luna gira al mismo tiempo alrededor de su eje, y ambos movimientos se completan en el mismo espacio de tiempo.

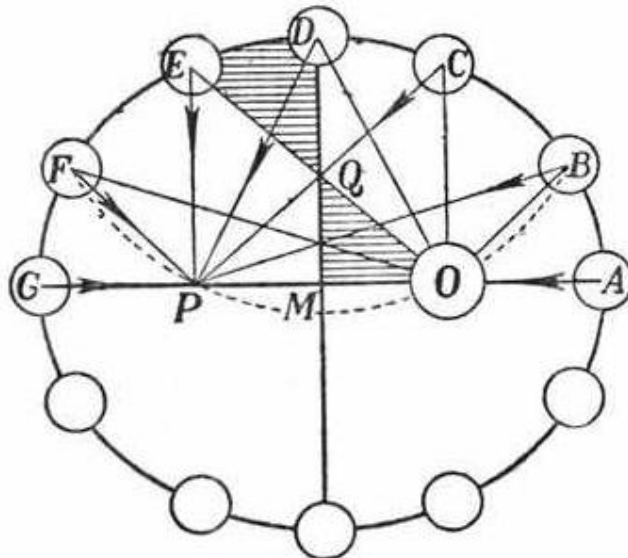


Figura 39. Como se mueve la Luna en su órbita alrededor de la Tierra (Detalles en el texto)

En la figura 39 se ve una elipse que representa la órbita de la Luna. El dibujo exagera intencionadamente el estiramiento de la elipse lunar; en realidad, la excentricidad de la órbita de la Luna es de 0.055 ó 1/18. Representar exactamente en un pequeño dibujo la órbita de la Luna de manera que a simple vista se distinga de un círculo, es imposible: dando al semieje mayor una magnitud incluso de 1 m, el semieje menor sería más corto que él solamente en 1.5 mm; la Tierra estaría del centro solamente 5.5 cm. Para que resulte más fácil entender la explicación que sigue, en el dibujo se ha representado una elipse más estirada.

Imagínese, pues, que la elipse de la figura 39 es la trayectoria de la Luna alrededor de la Tierra. La Tierra está situada en el punto O, en uno de los focos de la elipse. Las leyes de



Kepler no se refieren solamente al movimiento de los planetas alrededor del Sol, sino también al movimiento de los satélites alrededor de los planetas centrales, en particular al de revolución de la Luna. De acuerdo con la segunda ley de Kepler, la Luna, en un cuarto de mes, recorre un camino AE tal que la superficie OABCDE es igual a un cuarto de la superficie de la elipse, es decir, a la superficie MABCD (la igualdad de las superficies OAE y MAD de nuestro dibujo se confirma por la igualdad aproximada de las superficies MOQ y EQD). Así, en un cuarto de mes la Luna recorre el camino que va de A a E. La rotación de la Luna (como en general la rotación de los planetas, a diferencia de su revolución alrededor del Sol) se produce de manera uniforme: en un cuarto de mes gira exactamente  $90^\circ$ . Por esto, cuando la Luna se encuentra en E, el radio de la Luna dirigido hacia la Tierra en el punto A habrá descrito un arco de  $90^\circ$  y estará dirigido no hacia el punto M, sino hacia algún otro punto a la izquierda de M, no lejos del otro foco P de la órbita de la Luna. Si bien por la izquierda la Luna oculta entonces un poco su cara al observador terrestre, éste puede ver por el lado derecho una estrecha franja antes no visible de su otra mitad. En el punto F, la Luna muestra ya al observador terrestre una franja más estrecha de su lado habitualmente invisible, porque el ángulo OFP es menor que el ángulo OEP. En el punto G, en el "apogeo" de la órbita, la Luna ocupa la misma posición con relación a la Tierra que en el "perigeo" A. En sus movimientos posteriores, la Luna se vuelve respecto a la Tierra en sentido contrario, y muestra a nuestro planeta otra estrecha franja de su lado invisible; esta franja al principio se ensancha, luego se reduce, y, en el punto A, la Luna vuelve a ocupar la posición anterior. Vemos así que, a consecuencia de la forma elíptica de su órbita, nuestro satélite no tiene siempre dirigida hacia la Tierra exactamente la misma mitad. La Luna tiene invariablemente dirigida la misma cara, no hacia la Tierra, sino hacia el otro foco de su órbita. Para nosotros la Luna oscila alrededor de su posición media en forma semejante a una balanza, y de ahí la denominación astronómica de "libración", de la palabra latina "libra", que significa balanza, para este balanceo. La magnitud de la libración en cada punto se mide por el ángulo correspondiente; por ejemplo, en el punto E, la libración es igual al ángulo OEM. El valor máximo de la libración es de  $7^\circ 53'$ , es decir, casi  $8^\circ$ .

Es interesante observar cómo crece y disminuye el ángulo de libración con el desplazamiento de la Luna por su órbita. Pongamos en D la punta de un compás y tracemos un arco que pase por los focos O y P. Este arco corta la órbita en los puntos B y F. Los ángulos OBP y OFP, por ser inscritos, son iguales a la mitad del ángulo central ODP. De donde deducimos que, durante el movimiento de la Luna de A a D, la libración crece al principio rápidamente, en el punto B alcanza la mitad del máximo y, después, continúa creciendo lentamente; en el camino de D a F la libración disminuye, al principio lentamente, luego rápidamente. En la segunda mitad de la elipse, la libración cambia de magnitud con el mismo ritmo, pero en sentido inverso. (El valor de la libración en cada punto de la órbita es aproximadamente proporcional a la distancia de la Luna al eje mayor de la elipse.)

El balanceo de la Luna que acabamos de examinar se llama libración en longitud. Nuestro satélite está sujeto también a otra libración en latitud. El plano de la órbita de la Luna está inclinado sobre el plano del Ecuador de la Luna  $6\frac{1}{2}^\circ$ . Por esto vemos la Luna en unos casos un poco desde el Sur y en otros desde el Norte, y podemos observar un poco la mitad "invisible" de la Luna más allá de sus polos. Esta libración en latitud alcanza  $6\frac{1}{2}^\circ$ .

Expliquemos ahora cómo aprovecha el astrónomo el suave balanceo de la Luna alrededor de su posición media para obtener fotografías estereoscópicas.

El lector se da cuenta seguramente de que para esto es necesario elegir dos posiciones de la Luna tales que en una de ellas presente un giro con relación a la otra suficientemente grande.<sup>1</sup>

En los puntos A y B, B y C, C y D, etc., la Luna ocupa posiciones tan distintas con relación a la Tierra que son posibles las fotografías estereoscópicas. Pero aquí tenemos una nueva complicación: en estas posiciones la diferencia de edad de la Luna (de  $1\frac{1}{2}$  a 2 días) es demasiado grande, tanto que la franja de la superficie de la Luna próxima al círculo iluminado sale ya de la sombra. Esto es inadmisibles para las fotografías estereoscópicas (esa

franja brillaría como si fuera de plata). Surge un difícil problema: encontrar dos fases iguales de la Luna con una diferencia de libración (en longitud) tan pequeña, que el borde del círculo iluminado pase por los mismos puntos de la superficie lunar. Pero tampoco esto es suficiente; en ambas posiciones debe ser además igual la libración en latitud<sup>2</sup>.

Ya ve usted lo difícil que es obtener buenas estereofotografías de la Luna, y no se sorprenda al saber que a menudo una fotografía de un par estereoscópico se hace unos años después de la otra.

Nuestros lectores quizá no piensen hacer estereofotografías de la Luna. El procedimiento para obtenerlas está explicado aquí, naturalmente, no con una finalidad práctica, sino sólo para mostrar a propósito de él las particularidades del movimiento de la Luna que dan a los astrónomos la posibilidad de ver una franja no muy grande del lado de nuestro satélite normalmente invisible. Gracias a ambas libraciones de la Luna, vemos en total, no la mitad de su superficie, sino el 59% de ella. Completamente inaccesible a nuestra vista queda el 41%. Cómo está constituida esta parte de la superficie de la Luna, nadie lo sabe; a lo sumo puede suponerse que no es esencialmente distinta de la parte visible<sup>3</sup>.

Se han hecho ingeniosos ensayos, prolongando hacia atrás las cordilleras y las franjas iluminadas de la Luna que salen de la parte invisible a la parte visible, para bosquejar, con carácter de conjeturas, algunos detalles de la mitad que nos es inaccesible. Probar semejantes conjeturas, por ahora, es imposible. Decimos por ahora, y no sin fundamento, pues hace tiempo ya que se estudian procedimientos para volar alrededor de la Luna en algún aparato que sea capaz de superar la atracción de la Tierra y desplazarse en el espacio interplanetario (ver mi libro Viajes interplanetarios). De la realización de esta audaz empresa ya no estamos muy lejos. Por el momento se sabe una cosa: la existencia tantas veces planteada de atmósfera y agua en el lado invisible de la Luna carece totalmente de fundamento y contradice las leyes de la física; si no hay atmósfera y agua en un lado de la Luna, no puede haberlas tampoco en el otro lado. Sobre este problema aún volveremos.

[Volver](#)

### **La segunda Luna y la Luna de la Luna**

En la prensa aparecen de vez en cuando informaciones de que un observador u otro consiguió ver un segundo satélite de la Tierra, su segunda Luna. Aunque semejantes noticias nunca han tenido confirmación, es interesante, sin embargo, detenerse en este tema.

El problema de la existencia de un segundo satélite de la Tierra no es nuevo. Tiene tras sí una larga historia. Quien haya leído la novela de Julio Verne Alrededor de la Luna, recordará seguramente que en ella ya se menciona la segunda Luna. Es una Luna tan pequeña y su velocidad es tan grande, que los habitantes de la Tierra no pueden observarla. El astrónomo francés Petit, dice Julio Verne, sospechó su existencia y fijó su período de revolución alrededor de la Tierra en 3 horas 20 minutos. Su distancia a la superficie de la Tierra es igual a 8.140 km. Es interesante señalar que la revista inglesa Science, en un artículo sobre la astronomía de Julio Verne, considera esta referencia a la segunda Luna y al mismo Petit como una invención. En realidad, en ninguna enciclopedia se menciona a este astrónomo. Y, sin embargo, la información del novelista no es inventada. El director del observatorio de Tolosa, Petit, alrededor del año 50 del siglo pasado, sostuvo en efecto la existencia de una segunda Luna, meteorito con un período de revolución de 3 horas 30 minutos, que se movía no a 8.000, sino a 5.000 km de la superficie de la Tierra. Esta opinión, compartida entonces sólo por unos pocos astrónomos, fue después totalmente olvidada.

Teóricamente, en la admisión de la existencia de un segundo satélite de la Tierra muy pequeño no hay nada anticientífico. Pero un cuerpo celeste semejante debería observarse, y

<sup>2</sup> Para obtener fotografías estereoscópicas basta que la Luna presente un giro de 1°. (Más detalles de esto se pueden ver en mi Física recreativa.)

<sup>3</sup> Conviene recordar que este libro fue escrito mucho antes de que fueran lanzados los cohetes lunares soviéticos, uno de los cuales fotografió la cara desconocida de la Luna. (N. R.)

no sólo en los raros momentos en que pasara (de manera aparente) por el disco de la Luna o del Sol.

Incluso si girará tan cerca de la Tierra que debiera en cada vuelta sumergirse en la ancha sombra de nuestro planeta, también en este caso sería posible verlo en el cielo matutino y vespertino como una estrella brillante, por efecto de los rayos del Sol. El rápido movimiento y la frecuente aparición de esta estrella llamarían la atención de muchos observadores. En los momentos de eclipse total de Sol, la segunda Luna tampoco escaparía a la observación de los astrónomos.

Resumiendo: si la Tierra en realidad poseyera un segundo satélite, se le podría observar bastante a menudo. Sin embargo, observación fidedigna no ha habido ninguna.

Junto con el problema de la segunda Luna, se plantea también el problema de si nuestra Luna no tiene a su vez su pequeño satélite, la "Luna de la Luna".

Pero asegurarse directamente de la existencia de semejante satélite de la Luna es muy difícil. El astrónomo Malton dice sobre esto lo siguiente:

*"Cuando la Luna brilla al máximo, su luz o la luz del Sol no permiten distinguir un cuerpo muy pequeño en su vecindad. Sólo en los eclipses de Luna el satélite de ésta podría ser iluminado por el Sol, ya que entonces las partes cercanas del cielo estarían libres de la influencia de la luz difusa de la Luna. Así, pues, sólo durante los eclipses lunares sería posible esperar descubrir un cuerpo pequeño que girara alrededor de la Luna. Tales investigaciones ya se han efectuado, pero no han dado resultados positivos."*

[Volver](#)

### **Por que la luna no tiene atmósfera**

Este problema es de esos que se aclaran mejor si primeramente se les invierte. Antes de hablar de por qué la Luna no tiene a su alrededor una atmósfera, planteémonos esta pregunta: ¿por qué se mantiene la atmósfera alrededor de nuestro propio planeta?

Recordemos que el aire, como todo gas, está constituido por un caos de moléculas libres que se mueven impetuosamente en distintas direcciones. Su velocidad media, a 0°, es de cerca de ½ km por segundo (la velocidad inicial de una bala de fusil). ¿Por qué no se dispersan esas moléculas en el espacio? Por la misma razón por la cual tampoco se escapa al espacio una bala de fusil. Habiendo agotado la energía de su movimiento en vencer la fuerza de la gravedad, las moléculas caen de nuevo hacia la Tierra. Imagínese el lector una molécula que cerca de la superficie terrestre vuele verticalmente hacia arriba con una velocidad de ½ km por segundo. ¿Hasta qué altura puede llegar? Es fácil calcularlo; la velocidad  $v$ , la altura  $h$  del ascenso  $v$  la aceleración  $g$  de la fuerza de la gravedad, están relacionadas por la fórmula siguiente:

$$v^2 = 2gh$$

Sustituyamos  $v$  por su valor 500 m/s, y  $g$  por  $-10 \text{ m/s}^2$ ; tenemos

$$250\,000 = 20 h,$$

de donde

$$h = 12.500 \text{ m} = 12\frac{1}{2} \text{ km}.$$

Pero si las moléculas de aire no pueden volar más alto de 12½ km, ¿cómo puede haber moléculas de aire a una altura mayor?

El oxígeno que entra en la composición de nuestra atmósfera se forma cerca de la superficie terrestre (del gas carbónico, gracias a la actividad de las plantas). ¿Qué fuerza lo eleva y

mantiene a una altura de 500 y más kilómetros, donde ha sido comprobada en forma indudable la presencia de trazas de aire?

La física nos da aquí la misma respuesta que nos daría la estadística si le preguntáramos : "La duración media de la vida humana es de 40 años, ¿cómo, pues, hay personas de 80 años?" Todo se reduce a que el cálculo efectuado por nosotros se refiere a una molécula promedio y no a una molécula real. La molécula promedio posee una velocidad de  $\frac{1}{2}$  km por segundo, pero las moléculas reales se mueven unas más lentamente y otras más rápidamente que la molécula promedio. Es cierto que el porcentaje de moléculas cuya velocidad se aparta visiblemente de la promedio no es muy grande y que disminuye rápidamente con el crecimiento de la magnitud de esta desviación. De las moléculas contenidas en un volumen dado de oxígeno a  $0^\circ$ , sólo el 20% posee una velocidad de 400 a 500 m/s. Aproximadamente, otras tantas moléculas se mueven con la velocidad de 300 a 400 m/s, un 17% con una velocidad de 200 a 300 m/s, un 9% con la velocidad de 600 a 700 m/s, un 8% con la velocidad de 700 a 800 m/s y un 1 % con la velocidad de 1 300 a 1 400 m/s.

Una pequeña parte (menos de una millonésima) de las moléculas tiene una velocidad de 3.500 m/s, y esta velocidad es suficiente para que las moléculas puedan alcanzar una altura de 600 km.

En efecto,

$$3\ 500^2 = 20\ h$$

de donde

$$h = \frac{12.250.000}{20} = 612.500$$

es decir, más de 600 km.

Resulta así comprensible la presencia de trazas de oxígeno a cientos de kilómetros de altura de la superficie terrestre, pues, como vemos, es consecuencia de las propiedades físicas de los gases. Las moléculas de oxígeno, de nitrógeno, de vapor de agua, de gas carbónico, no poseen, sin embargo, velocidades que les permitan escapar definitivamente de la esfera terrestre. Para eso sería necesaria una velocidad no menor de 11 km por segundo, y semejantes velocidades, a temperaturas bajas, las poseen solamente algunas moléculas aisladas de los gases mencionados. He ahí por qué la Tierra mantiene tan firmemente su envoltura atmosférica. Se ha calculado que para perder la mitad de la provisión del más liviano de los gases de la atmósfera terrestre, el hidrógeno, debería pasar un número de años que se expresaría con 25 cifras. En millones de años no se manifiesta ningún cambio en la composición ni en la masa de la atmósfera terrestre.

Para explicar ahora por qué la Luna no puede mantener a su alrededor una atmósfera semejante, no hay mucho que decir. La fuerza de atracción de la Luna es seis veces más débil que la de la Tierra; de modo que la velocidad necesaria para superar en la Luna la fuerza gravitacional es también menor, e igual tan sólo a 2360 m/s. Y como la velocidad de las moléculas de oxígeno y de nitrógeno a temperaturas moderadas puede superar esta velocidad, es claro que la Luna debería perder continuamente su atmósfera, si en ella se formara. Cuando se volatilizaran las moléculas más rápidas, otras moléculas alcanzarían la velocidad crítica (como consecuencia de la ley de distribución de las velocidades entre las partículas de un gas), y así estarían escapando continuamente al espacio nuevas y nuevas partículas de la envoltura atmosférica. Al cabo de un período de tiempo suficiente, sumamente pequeño a la escala del universo, toda la atmósfera abandonará la superficie de un cuerpo celeste que tenga tan poca fuerza de atracción.

Se puede demostrar matemáticamente que si la velocidad media de las moléculas de la atmósfera de un planeta fuera incluso tres veces menor que la velocidad límite (es decir, si fuera para la Luna  $2360:3 = 790$  m/s), la mitad de la atmósfera debería dispersarse al cabo de unas pocas semanas. (La atmósfera de un cuerpo celeste sólo puede mantenerse

firmemente si la velocidad media de sus moléculas es cinco veces menor que la velocidad límite.)

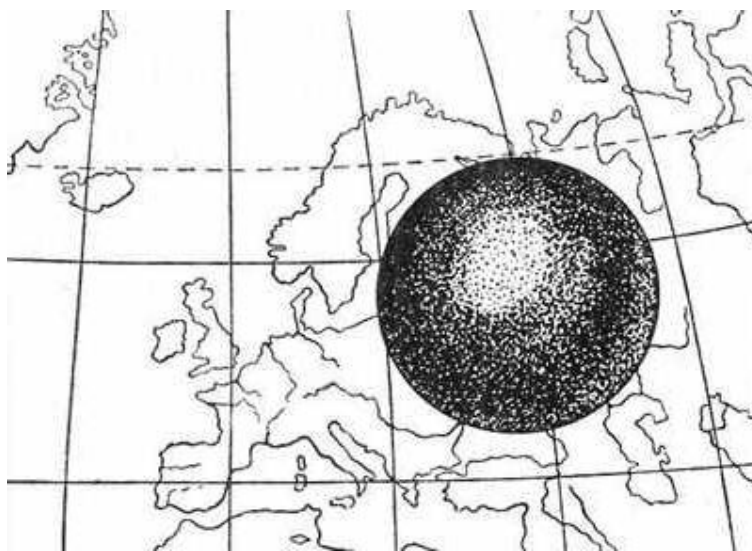
Se ha apuntado la idea, mejor dicho, la fantasía, de que cuando el hombre visite y conquiste la Luna, la rodeará de una atmósfera artificial y la hará de esta manera adecuada para habitarla. Después de lo dicho, el lector verá claramente lo irrealizable de semejante empresa. La ausencia de atmósfera de nuestro satélite no es casual, no es un capricho de la naturaleza, sino una consecuencia obligada de las leyes de la física.

Se comprende también que la causa por la cual no es posible la existencia de atmósfera en la Luna, determina igualmente la ausencia de ésta, en general, en todos los cuerpos celestes de débil fuerza de atracción en los asteroides y en la mayoría de los satélites de los planetas<sup>4</sup>.

[Volver](#)

### Las dimensiones del mundo lunar

Sobre esto, naturalmente, hablan con total exactitud los datos numéricos; magnitud del diámetro de la Luna (3.500 kilómetros), superficie, volumen.



*Figura 40. Las dimensiones de la Luna comparadas con el continente europeo. (No debe deducirse, sin embargo, que la superficie del globo lunar es menor que la superficie de Europa)*

Pero los números, insustituibles para los cálculos, no son capaces de darnos la idea concreta de las dimensiones que nuestra mente exige. Será útil, pues, hacer comparaciones concretas.

Comparemos el continente lunar (pues la Luna es un continente macizo) con los continentes del globo terrestre (figura 40).

Esto nos dirá mucho más que la afirmación abstracta de que la superficie total del globo lunar es 14 veces menor que la superficie de la Tierra. Por el número de kilómetros cuadrados la superficie de nuestro satélite es apenas algo menor que la superficie de América. Y la superficie de la parte de la Luna que está dirigida hacia la Tierra y es accesible a nuestra observación, resulta ser casi exactamente igual a la de América del Sur.

<sup>4</sup> En 1948 el astrónomo moscovita, Y. N. Lipski, demostró, al parecer, la presencia en la Luna de trazas de atmósfera. La masa total de la atmósfera de la Luna no puede exceder de una cienmilésima de la atmósfera terrestre. (N. R.)

Para hacer evidente las dimensiones de los "mares" de la Luna en comparación con los terrestres, en el mapa de la Luna (figura 41) están representados a la misma escala los contornos del Negro y del Caspio. Enseguida se echa de ver que los "mares" de la Luna no son muy grandes, a pesar de que ocupan una parte notable del disco.

El mar de la Serenidad (170.000 km<sup>2</sup>) por ejemplo, es aproximadamente dos veces y media menor que el mar Caspio.

En compensación, entre las montañas anulares de la Luna hay verdaderos gigantes, como no se encuentran en la Tierra. Por ejemplo, el valle circular de la montaña de Grimaldi engloba una superficie mayor que la del lago Baikal. Dentro de esta montaña cabría enteramente un estado no muy grande, por ejemplo, Bélgica o Suiza.



*Figura 41. Los mares de la Tierra comparados con los de la Luna. El mar Negro y el mar Caspio transportados a la Luna serían mayores que todos los mares de la Luna. (Los números indican: 1, mar de las Nubes; 2, mar de los Humores; 3, mar de los Vapores; 4, mar de la Serenidad.)*

[Volver](#)

### **Paisajes lunares**

Las fotografías de la superficie de la Luna se ven reproducidas tan frecuentemente en los libros, que el aspecto de las particularidades características del relieve lunar, las montañas y los cráteres o "circos" (figura 42), seguramente es conocido por todos nuestros lectores. Es posible que algunos hayan observado también las montañas de la Luna con un pequeño telescopio; para esto es suficiente un telescopio con un objetivo de 3 cm.

Pero ni las fotografías ni la observación con el telescopio dan una idea exacta de cómo aparecería la superficie lunar a un observador que estuviera en la Luna misma. Estando inmediatamente al lado de las montañas lunares, el observador las vería en una perspectiva distinta de la que le da el telescopio. Una cosa es observar un objeto desde gran altura y otra cosa, completamente distinta, tenerlo al lado. Mostremos con algunos ejemplos cómo se manifiesta esta diferencia.

El cráter de Eratóstenes se ve desde la Tierra en forma de una muralla anular con un pico dentro del valle.



Figura 42. Montañas anulares frecuentes en la Luna

En el telescopio el cráter aparece en relieve y escarpado, gracias a que las sombras lo hacen destacarse bien en la superficie lunar.



Figura 43. Perfil de un gran cráter lunar

Obsérvese, sin embargo, su perfil (figura 43) : se ve que, en comparación con el gigantesco diámetro del circo (60 km), la altura de la muralla y la del cono interior son muy pequeñas; la inclinación de las laderas disimula más aún su altura.

Imagínese ahora que está usted paseando dentro de este circo y recuerde que su diámetro es igual a la distancia existente entre el lago Ladoga y el golfo de Finlandia. Apenas si notaría la forma anular de la muralla; la misma convexidad del suelo le escondería a usted su parte inferior, ya que el horizonte lunar es dos veces más reducido que el de la Tierra (en correspondencia con el diámetro de la Luna, 4 veces menor). Sobre la Tierra, un hombre de estatura mediana, de pie, en un lugar llano, puede ver en torno suyo no más de 5 km. Esto surge de la fórmula de la distancia del horizonte<sup>5</sup>:

$$D = \sqrt{2Rh}$$

en la que D es la distancia en km, h la altura de los ojos en kilómetros y R el radio del planeta en km.

Sustituyendo estas letras por sus valores para la Tierra y para la Luna, resulta que, para un hombre de estatura mediana, la distancia del horizonte es

en la Tierra.....4.8 km  
 en la Luna.....2.5 km

<sup>5</sup> Sobre el cálculo de la distancia del horizonte, ver en mi Geometría recreativa el capítulo "Donde el cielo y la tierra se juntan".

La figura 44 muestra qué panorama se ofrecería a un observador dentro de un circo lunar grande (se representa el paisaje de un gran circo, el de Arquímedes).



*Figura 44. Panorama que vería un observador colocado en el centro de un gran circo lunar.*

¿No es cierto que esa vasta llanura con la cadena de colinas en el horizonte se parece poco a la imagen que uno se hace de un circo lunar?

Mirándolo desde el otro lado de la muralla, desde fuera del circo, el observador también vería algo distinto de lo que espera. La ladera exterior de una montaña anular (ver la figura 43) se eleva tan suavemente, que al viajero no le parecería una montaña y no podría convencerse de que la cadena de colinas que él ve es una montaña anular que encierra una depresión circular. Para ello sería necesario que atravesara la cresta; pero, como ya hemos dicho, una vez dentro nada sorprendente se ofrecería a la vista del alpinista lunar.

Además de esos gigantescos circos, en la Luna hay también un gran número de circos pequeños, los cuales se abarcan fácilmente con una mirada, incluso estando muy cerca de ellos. Pero su altura es muy pequeña; ante ellos el observador no experimentaría nada extraordinario. En cambio, las cordilleras montañosas de la Luna, que llevan las denominaciones de las montañas de la Tierra: Alpes, Cáucaso, Apeninos, etc., rivalizan por su altura con las terrestres y alcanzan de 7 a 8 km. En relación con la pequeña Luna, su altura es impresionante.

La ausencia de atmósfera en la Luna y la nitidez de las sombras que de ello se deriva dan lugar en la observación telescópica a una interesante ilusión: las más pequeñas desigualdades del suelo se exageran y aparecen con un relieve desmesurado. Pongamos medio guisante con la convexidad hacia arriba. No es, por cierto, muy alto. Sin embargo, obsérvese la larga sombra que arroja (figura 45).



*Figura 45. Medio guisante, arroja iluminado lateralmente, una sombra larga*

Con una iluminación lateral, en la Luna la sombra se hace 20 veces mayor que la altura del cuerpo que la arroja. Esto prestó a los astrónomos un gran servicio: gracias a la longitud de las sombras, es posible observar en la Luna, con el telescopio, objetos de una altura de 30 m. Pero la misma circunstancia nos hace exagerar las desigualdades del relieve lunar. La



montaña Pico, por ejemplo, aparece tan escarpada en el telescopio, que involuntariamente se la imagina uno en forma de una roca afilada y abrupta (figura 46).



*Figura 46. La montaña Pico aparece en el telescopio afilada y abrupta*

Así era representada antes. Pero observándola desde la superficie lunar, se vería en otra forma completamente distinta, tal cual se representa en la figura 47.



*Figura 47. A un observador situado en la superficie de la Luna, la montaña Pico le parecería de suaves pendientes*

En cambio, otras particularidades del relieve de la Luna son, a la inversa, subestimadas. Con el telescopio observamos en la superficie de la Luna grietas estrechas, apenas visibles, y nos parece que no pueden jugar un papel importante en el paisaje lunar. Pero transportados a la superficie de nuestro satélite, veríamos en tales sitios, a nuestros pies, un profundo precipicio negro que se extendería lejos; más allá del horizonte.

Otro ejemplo: sobre la Luna está la llamada Muralla recta, escalón vertical que corta una de sus llanuras. Mirando esta muralla en el mapa (figura 48), olvidamos que tiene 300 m de altura; situados en las cercanías, nos sentiríamos deprimidos por su grandiosidad.

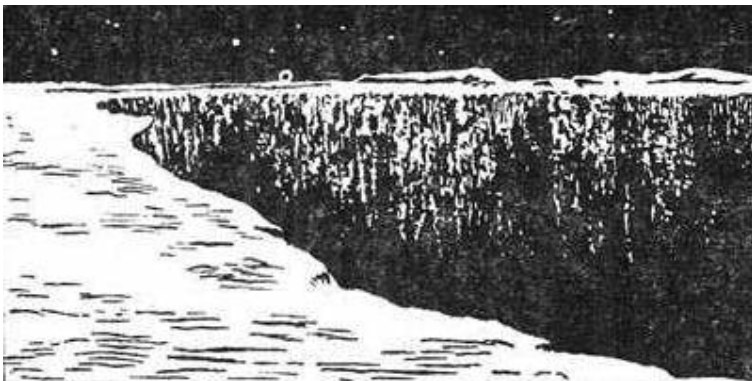


*Figura 48. La llamada "Muralla Recta" de la Luna vista con el telescopio*

En la figura 49 el artista intentó representar esta muralla vertical, vista desde abajo: su extremo se pierde allá lejos, en el horizonte, pues se extiende más de 100 km.



*Figura 49. Como vería la "Muralla Recta" un observador que se encontrara cerca de su base*



*Figura 50. Una "grieta" lunar observada de cerca*

Del mismo modo, las estrechas grietas que con los telescopios potentes se distinguen en la superficie de la Luna, vistas de cerca han de resultar como gigantescas hendiduras (figura 50).

[Volver](#)

## **El cielo de la luna**

### ***Un firmamento negro***

Si un habitante de la Tierra se encontrara en la Luna, llamarían ante todo su atención tres circunstancias extraordinarias.

Notaría en primer lugar el extraño color del cielo diurno en la Luna: en lugar de la cúpula azul habitual, vería extenderse un firmamento completamente negro sembrado de innumerables estrellas, claramente visibles y sin el más pequeño centelleo, y esto aun brillando el Sol. La causa de este fenómeno está en la ausencia de atmósfera en la Luna.

"Bóveda celeste de un cielo sereno y diáfano, dice Flammarion con su característico lenguaje animado, suave rubor de las auroras, majestuoso resplandor de los ocasos, encantadora belleza de los paisajes solitarios, brumosa perspectiva de los campos y praderas, y vosotras, aguas especulares de los lagos que reflejáis melancólicas el lejano cielo azulado encerrando toda su infinitud en vuestras profundidades, sabed que vuestra existencia y toda su belleza dependen sólo de ese ligero fluido extendido sobre la esfera terrestre. Sin él, ninguna de estas delicias, ninguna de estas suntuosas bellezas existiría.

"En lugar del cielo azulado nos rodearía un espacio negro insondable; sin los sublimes crepúsculos, se sucederían bruscamente, sin transiciones, los días y las noches; en vez de los suaves matices que vemos allí donde no llegan directamente deslumbrantes rayos de Febo, habría sólo una brillante claridad en los sitios iluminados por el astro refulgente y reinarían las tinieblas en todos los demás."

Es suficiente un discreto enrarecimiento de la atmósfera para que el color azulado del cielo se oscurezca visiblemente. El capitán del globo estratosférico soviético "Osoaviajim", trágicamente desaparecido en 1934, a la altura de 21 km veía sobre sí un cielo casi negro. El cuadro fantástico sobre la iluminación de la naturaleza descrito en el fragmento que antecede se realiza de manera plena en la Luna: un cielo negro, ausencia de auroras y ocasos, brillo deslumbrante de los lugares iluminados y oscuridad intensa y sin medios tonos en las sombras.

### ***La Tierra en el cielo de la Luna***

La segunda cosa notable que se vería en la Luna sería el disco gigante de la Tierra colgando en el cielo. Al viajero le parecería extraño que el globo terrestre que al partir hacia la Luna dejó aquí abajo, se encuentre inesperadamente allá arriba.

En el espacio no hay para ninguno de los mundos ni arriba ni abajo, y usted no debería sorprenderse si, dejando la Tierra abajo, la viera arriba cuando llegara a la Luna.

El disco de la Tierra que pende en el cielo de la Luna es inmenso: su diámetro es aproximadamente cuatro veces mayor que el diámetro del disco lunar que nosotros vemos en el cielo de la Tierra. Viste sería el tercer hecho sorprendente que espera al viajero lunar.

Si en las noches de Luna nuestros paisajes están suficientemente bien iluminados, las noches de la Luna con los rayos de la "Tierra llena" y con su disco 14 veces mayor que el de la Luna, deben ser extraordinariamente claras. El brillo de un astro depende no sólo de su diámetro, sino también de la capacidad de reflexión de su superficie. A este respecto la superficie de la Tierra supera 6 veces a la de la Luna<sup>6</sup>; por esto la luz de la "Tierra llena"

---

<sup>6</sup> El suelo de la Luna, por consiguiente, no es blanco, como a menudo se piensa, sino más bien oscuro. Esto no contradice el hecho de que brilla con luz blanca. "La luz solar incluso reflejada por un objeto negro se mantiene blanca. Si la Luna estuviera revestida de terciopelo negro embellecería igualmente el cielo como un disco plateado" -

debe iluminar a la Luna con luz 90 veces más fuerte que la luz con que la Luna llena ilumina a la Tierra. En las "noches de claro de Tierra" en la Luna sería posible leer impresos en pequeños caracteres. La iluminación del suelo de la Luna por la Tierra es tan brillante, que nos permite distinguir a una distancia de 400 000 km la parte nocturna o no iluminada del globo lunar en forma de un confuso centelleo dentro de una hoz estrecha; este centelleo es lo que se llama "luz cenicienta" de la Luna. Imagínese usted 90 Lunas llenas arrojando desde el cielo su luz, tenga en cuenta además la ausencia de atmósfera en nuestro satélite, que absorbería parte de la luz, y podrá formarse así una idea del cuadro fantástico que han de ofrecer los paisajes lunares inundados en medio de la noche por el brillo de la "Tierra llena".

¿Podría un observador lunar distinguir en el disco de la Tierra los contornos de los continentes y de los océanos? Está bastante difundida una equivocada opinión, según la cual, la Tierra, en el cielo de la Luna, constituye algo parecido a la esfera terrestre de una escuela. Así la representan los artistas cuando tienen que dibujar la Tierra en el espacio; con los contornos de los continentes, con gorros de nieve en las regiones polares y otros detalles semejantes.

Todo esto pertenece al terreno de la fantasía. En la esfera terrestre observada desde fuera no se pueden distinguir esos detalles. Sin hablar de las nubes, que habitualmente cubren la mitad de la superficie terrestre, la misma atmósfera dispersa fuertemente los rayos solares; por esta razón la Tierra debe aparecer tan brillante y tan inescrutable a la vista como Venus. El astrónomo de Pulkovo, G. A. Tijov, tras haber estudiado este problema, escribió:

*"Si miráramos a la Tierra desde el espacio, veríamos un disco de color blanco intenso en el cielo y apenas distinguiríamos algunos detalles de su superficie. Una inmensa parte de la luz que el Sol envía a la Tierra es dispersada en el espacio por la atmósfera y sus componentes antes de alcanzar la superficie de la Tierra. Y la luz que refleja la superficie misma se debilita fuertemente otra a vez a consecuencia de una nueva dispersión en la atmósfera."*

Así, pues, mientras que la Luna nos muestra en forma precisa todos los detalles de su superficie, la Tierra esconde su faz a la Luna y a todo el universo bajo el velo brillante de su atmósfera.

Pero no sólo por esto se distingue el astro nocturno lunar del terrestre. En nuestro cielo, la Luna sale y se pone, recorre su camino junto con la bóveda estrellada. En el cielo de la Luna, la Tierra no realiza este movimiento. Allí la Tierra no sale ni se pone, ni toma parte en el armonioso y extraordinariamente lento cortejo de las estrellas. Pende en el cielo casi inmóvil, ocupando para cada punto de la Luna una posición definida, mientras las estrellas se deslizan lentamente detrás de ella. Esto es consecuencia de la particularidad ya examinada del movimiento de la Luna, según la cual, nuestro satélite dirige hacia la Tierra siempre la misma parte de su superficie. Para un observador lunar, la Tierra está colgada casi inmóvil de la cúpula del cielo. Si la Tierra está en el cenit de algún cráter lunar, no abandona nunca su posición Genital. Si desde algún punto es visible en el horizonte, eternamente se queda en el horizonte para este lugar. Solamente la libración de la Luna, sobre la cual hemos hablado, interrumpe algo esta inmovilidad. El cielo estrellado realiza detrás del disco de la Tierra su lenta rotación, en  $27 \frac{1}{3}$  de nuestros días. El Sol da una vuelta al cielo en  $29 \frac{1}{2}$  días; los planetas ejecutan movimientos semejantes y sólo la Tierra está casi inmóvil en el cielo negro.

Pero aunque permanece en un mismo sitio, la Tierra gira rápidamente alrededor de su eje en 24 horas y, si su atmósfera fuera transparente, nuestro planeta podría servir de cómodo reloj celeste a los futuros pasajeros de los navíos interplanetarios. Aparte esto, la Tierra

---

escribe Tyndall en su libro sobre la luz. La capacidad del suelo lunar, de dispersar los rayos del Sol que lo iluminan es, por término medio, igual a la capacidad de dispersión de las rocas volcánicas oscuras.

tiene las mismas fases que la Luna muestra en nuestro cielo. Es decir, que nuestro mundo no siempre brilla en el cielo de la Luna como un disco entero; aparece también en forma de semicírculo, en forma de hoz más o menos estrecha, en forma de círculo incompleto, según la parte de la mitad de la Tierra iluminada por el Sol que está dirigida hacia la Luna. Dibujando las posiciones respectivas del Sol, la Tierra y la Luna, se convencerá fácilmente de que la Tierra y la Luna deberán mostrar, una a otra, fases opuestas.



*Figura 51. "Tierra nueva" en la Luna. El disco negro de la Tierra está rodeado de un borde brillante debido al fulgor de la atmósfera terrestre*

Cuando nosotros observamos la Luna nueva, el observador lunar debe ver el disco entero de la Tierra, "Tierra llena"; a la inversa, cuando nosotros tenemos Luna llena, en la Luna hay "Tierra nueva" (figura 51); cuando vemos la hoz afilada y estrecha del cuarto creciente, desde la Luna se podría admirar a la Tierra en cuarto menguante, y a nuestro astro le faltaría, para que el disco fuera completo, una hoz similar a la que en ese momento nos enseña la Luna. Las fases de la Tierra no tienen contornos tan precisos como las de la Luna la atmósfera terrestre hace borrosos los límites de la luz y da lugar a esa lenta transición del día a la noche, y viceversa, que nosotros observamos en la Tierra en forma de crepúsculo.



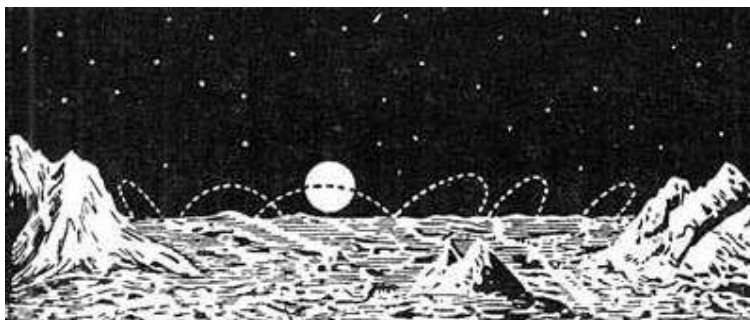
*Figura 52. La "Tierra creciente" en el cielo la Luna. El círculo blanco que está debajo de la Tierra, es el Sol*

Otra diferencia entre las fases de la Luna y las de la Tierra es la siguiente. En la Tierra nunca vemos a la Luna en el momento mismo de aparecer la Luna nueva. A pesar de que habitualmente se encuentra en ese momento más alta o más baja que el Sol (a veces  $5^\circ$ , es decir, 10 diámetros lunares) de modo que un estrecho borde de la esfera lunar iluminado por el Sol podría verse, la Luna permanece, sin embargo, inaccesible a nuestra vista, pues el brillo del Sol ahoga el discreto brillo del hilo de plata de la Luna nueva. No observamos la Luna nueva habitualmente hasta que no tiene la edad de dos días, cuando ya se ha separado a suficiente distancia del Sol, y sólo en casos muy raros (en primavera) a la edad de un solo día. Esto no sucedería para quien observara la "Tierra nueva" desde la Luna; allá no hay atmósfera que disperse los rayos del Sol y cree alrededor del astro diurno una aureola brillante. Las estrellas y los planetas no se pierden allá en los rayos del Sol y pueden distinguirse bien en el cielo en su vecindad inmediata.

Por esto, cuando la Tierra no se halle en línea recta frente al Sol (es decir, no en el momento de un eclipse), sino un poco más alta o más baja que él, será siempre visible en el cielo negro sembrado de estrellas de nuestro satélite, en forma de una hoz estrecha, con los cuernos dirigidos en dirección opuesta al Sol (figura 52). A medida que la Tierra se desplaza hacia la izquierda del Sol, la hoz parecerá girar hacia la izquierda.

Fenómenos correspondientes a los aquí descritos pueden verse observando la Luna con un pequeño antejo: en la Luna llena, el disco del astro nocturno no se ve en forma de círculo completo; como los centros de la Luna y del Sol no se encuentran en línea recta con los ojos del observador, en el disco de la Luna falta una hoz delgada que, como una franja oscura, se desliza hacia la izquierda cerca del borde del disco iluminado a medida que la Luna se mueve hacia la derecha.

Pero la Tierra y la Luna siempre muestran una a otra fases opuestas, - y por esto, en el momento descrito, el observador lunar debería ver una estrecha hoz correspondiente a la "Tierra nueva".



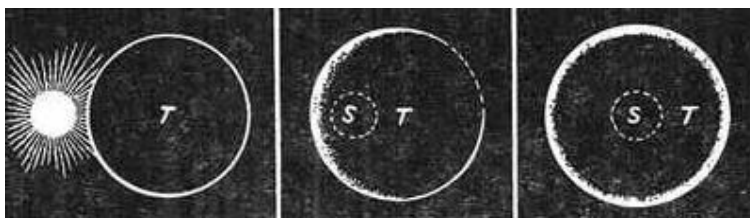
*Figura 53. Lentos movimientos de la Tierra cerca del horizonte lunar a consecuencia de la libración. La línea punteada es la trayectoria del centro del disco terrestre*

Hemos apuntado ya, al pasar, que la libración de la Luna debe hacerse sentir en el hecho de que la Tierra no está totalmente inmóvil en el cielo de la Luna: nuestro planeta oscila, alrededor de una posición media,  $14^\circ$  en dirección Norte-Sur y  $16^\circ$  en dirección Oeste-Este. Por la misma razón, en los puntos de la Luna desde los cuales la Tierra es visible en el horizonte mismo, nuestro planeta debe parecer que se pone, y poco después sale nuevamente, describiendo extrañas curvas (figura 53). Estas originales salidas y puestas de la Tierra en un lugar del horizonte sin dar la vuelta alrededor del cielo pueden durar muchos días terrestres.

### **Los eclipses en la Luna**

El cuadro recién esbozado del cielo lunar se completa con la descripción de esos espectaculares fenómenos celestes llamados eclipses. En la Luna hay dos clases de eclipses:

"de Sol" y "de Tierra". Los primeros son parecidos a los eclipses solares conocidos por nosotros, pero resultan extraordinariamente llamativos. Se producen en la Luna cuando en la Tierra ocurren eclipses de Luna, ya que entonces la Tierra se sitúa en la línea que une los centros del Sol y de la Luna. Nuestro satélite se sumerge en ese momento dentro de la sombra arrojada por la esfera terrestre. Quien haya visto la Luna en tales eclipses sabe que nuestro satélite no se ve privado totalmente de luz, no desaparece de la vista; es generalmente visible por los rayos rojo cereza que penetran dentro del cono de sombra de la Tierra. Si en ese momento nos trasladáramos a la superficie de la Luna y observáramos desde allí la Tierra, comprenderíamos claramente la causa de la iluminación rojiza; en el cielo de la Luna el globo terrestre, situado delante del Sol brillante, aunque mucho menor, aparece como un disco negro rodeado por el borde purpúreo de su atmósfera. Este borde precisamente es el que ilumina con luz rojiza a la Luna sumergida en la sombra (figura 54).



*Figura 54. Curso de un eclipse solar en la Luna: el Sol S está lentamente detrás del disco terrestre T, que pende inmóvil en el cielo de la luna*

Un eclipse de Sol no dura en la Luna sólo unos minutos, como en la Tierra, sino más de 4 horas; tanto como un eclipse de Luna para nosotros, pues en realidad no es más que nuestro eclipse lunar observado, no desde la Tierra, sino desde la Luna.

En cuanto a los eclipses "de Tierra", son tan pequeños que apenas si merecen la denominación de eclipses. Se producen en los momentos en que en la Tierra se ven los eclipses de Sol. En el enorme disco de la Tierra el observador lunar vería entonces un pequeño círculo negro móvil, que cubre los lugares favorecidos de la superficie de la Tierra desde los cuales se puede admirar el eclipse de Sol.

Es de señalar que eclipses de Sol como los que vemos desde la Tierra, no se pueden observar, en general, en ningún otro lugar del sistema planetario. Nosotros disfrutamos de estos espectáculos excepcionales por una circunstancia casual: la Luna que oculta al Sol está exactamente tantas veces más cerca de nosotros que del Sol como veces el diámetro lunar es menor que el solar, coincidencia que no se repite en ningún otro planeta.

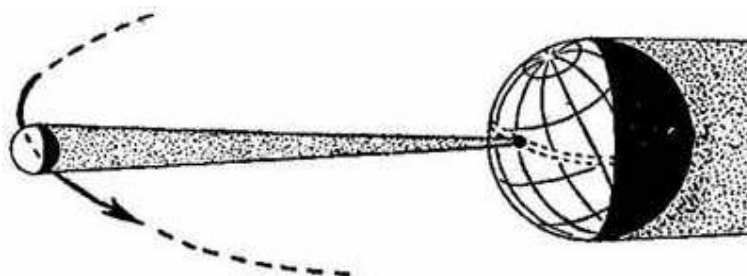
[Volver](#)

### **Para qué observan los astrónomos los eclipses**

Gracias a la casualidad que acabamos de mencionar, la longitud del cono de sombra que permanentemente lleva consigo nuestro satélite alcanza a veces la superficie de la Tierra (figura 55). A decir verdad, la longitud media del cono de sombra de la Luna es menor que la distancia media de la Luna a la Tierra, y si nosotros tuviéramos en cuenta solamente las magnitudes medias llegaríamos a la conclusión de que nunca habría eclipses de Sol totales. Se producen en realidad porque la Luna se mueve alrededor de la Tierra siguiendo una elipse, lo que hace que en algunas partes de su órbita se encuentre 42 200 km más cerca de la superficie de la Tierra que en otras; pues la distancia de la Luna varía de 356.900 a 399.100 km.

Conforme se desliza por la superficie de la Tierra, el extremo de la sombra de la Luna dibuja en ella la "zona de visibilidad del eclipse solar". Esta zona no tiene más de 300 km de ancho y, por lo tanto, el número de localidades desde las que se puede admirar el espectáculo del eclipse de Sol siempre es bastante limitado. Si se agrega a esto que la duración del eclipse

solar total se cuenta por minutos (no más de 8), se comprende que tal eclipse sea un espectáculo extraordinariamente raro. Para cada punto del globo terrestre sucede una vez cada dos o tres siglos.



*Figura 55. El extremo del cono de sombra de la Luna se desliza por la superficie de la Tierra; en los lugares cubiertos por esa sombra, el eclipse solar es visible*

Por esta razón, los hombres de ciencia se lanzan literalmente a la caza de los eclipses solares, y organizan expediciones especiales a los lugares, algunas veces muy alejados, desde donde este fenómeno puede ser observado. El eclipse de Sol de 1936 (19 de junio) fue visible como eclipse total solamente en los límites de la Unión Soviética, y 'para poderlo observar durante dos minutos, vinieron a nuestro país setenta hombres de ciencia extranjeros de diez países distintos. Los esfuerzos de cuatro expediciones resultaron vanos debido al tiempo nublado. El esfuerzo desplegado por los astrónomos soviéticos para la observación de este eclipse fue extraordinario. Se enviaron cerca de 30 expediciones soviéticas a la zona de eclipse total.

En el año 1941, a pesar de la guerra, el gobierno soviético organizó una serie de expediciones que se distribuyeron a lo largo de la zona de eclipse total, desde el lago Ladoga hasta Alma-Ata. Y en 1947 una expedición soviética se dirigió al Brasil para la observación del eclipse total del 20 de mayo. Particularmente intenso fue el trabajo que en la Unión Soviética se realizó para la observación de los eclipses solares totales del 25 de febrero de 1952 y del 30 de junio de 1954.

Los eclipses de Luna, aunque se producen una vez y media más raramente que los de Sol, se observan sin embargo mucho más a menudo. Esta paradoja astronómica se explica muy fácilmente.

El eclipse de Sol sólo puede ser observado en nuestro planeta en la zona limitada en que el Sol queda ocultado por la Luna; en los límites de esta estrecha zona, el eclipse es para algunos puntos total y para otros parcial (es decir, el Sol se oculta sólo parcialmente). El momento del comienzo del eclipse solar también es diferente para los distintos puntos de la zona, no por la diferencia que existe en el cómputo del tiempo, sino porque la sombra de la Luna se desplaza sobre la superficie de la Tierra y va cubriendo sucesivamente, a horas distintas, los diferentes puntos en que el eclipse es visible.

De manera completamente distinta transcurre el eclipse de Luna. Se observa al mismo tiempo en toda la mitad del globo terrestre en que la Luna es visible en ese momento, es decir, en que está sobre el horizonte. Las fases consecutivas del eclipse lunar se producen para todos los puntos de la superficie de la Tierra en el mismo momento; la diferencia está condicionada sólo por las diferencias en el cómputo de las horas.

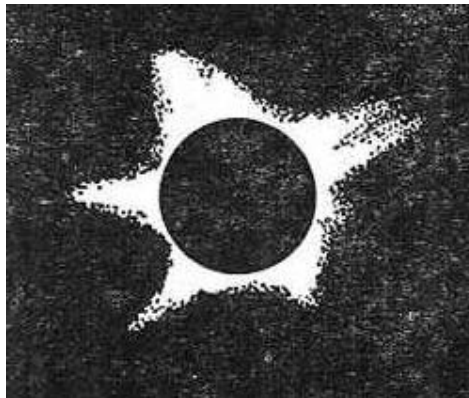
De ahí que los astrónomos no tengan que "lanzarse a la caza" de los eclipses de Luna; se les aparecen en su propia casa. Pero para cazar un eclipse de Sol es necesario hacer algunas veces enormes viajes. Los astrónomos equipan expediciones a las islas del trópico, muy lejos, al Este o al Oeste, Para poder observar sólo unos minutos la ocultación del disco solar por el disco negro de la Luna.



¿Tiene sentido preparar expediciones tan costosas para realizar tan breves observaciones? ¿No sería posible realizar esas mismas observaciones sin esperar a la ocultación casual del Sol por la Luna? ¿Por qué los astrónomos no simulan artificialmente eclipses de Sol, ocultando en el telescopio su imagen con círculos que les permitan observar esa periferia solar que tanto les interesa durante los eclipses?

Este eclipse solar artificial no permitiría alcanzar los resultados que se observan durante la ocultación real del Sol por la Luna. Porque los rayos del Sol, antes de llegar a nuestros ojos, pasan a través de la atmósfera terrestre y las partículas de aire los dispersan. A esto se debe que el cielo, durante el día se nos aparezca como una cúpula celeste clara y no negra y sembrada de estrellas, como lo veríamos, incluso de día, en ausencia de atmósfera. Ocultando al Sol con una pantalla y dejando en el fondo el océano aéreo, aunque protegeríamos nuestra vista de los rayos directos del astro diurno, la atmósfera continuaría como antes sobre nosotros, sumergida en la luz solar, y seguiría dispersando los rayos e imposibilitando la visión de las estrellas. Esto no sucede si la pantalla eclipsante se encuentra fuera de los límites de la atmósfera. La Luna es una pantalla de esta clase, por hallarse lejos de nosotros, mil veces más lejos que el límite de la atmósfera. Los rayos del Sol se detienen en esa pantalla antes de penetrar en la atmósfera terrestre y, en consecuencia, la dispersión de la luz en la zona de eclipse no se produce. En realidad, no es del todo así; en la zona de sombra penetran siempre algunos rayos dispersos por los territorios iluminados próximos, y ésta es la razón de que el cielo, en un eclipse total de Sol, nunca esté tan negro como en una noche cerrada. En esas circunstancias sólo son visibles las estrellas más brillantes.

**¿Qué problemas se plantean los astrónomos en la observación del eclipse solar total?** Señalemos los más importantes. El primero es la observación de la llamada "inversión" de las líneas espectrales en la envoltura exterior del Sol. Las líneas del espectro solar normalmente oscuras en la cinta clara del espectro, se vuelven claras sobre un fondo oscuro, durante algunos segundos, tan pronto se produce la total ocultación del Sol por el disco de la Luna: el espectro de absorción se transforma en un espectro de emisión.



*Figura 56. Durante los eclipses totales de Sol, alrededor del disco negro de la Luna aparece la "corona solar".*

Es el llamado "espectro relámpago". Aunque este fenómeno, que proporciona valiosos datos para juzgar la naturaleza de la envoltura superficial del Sol, puede observarse en las condiciones señaladas no sólo en el momento de un eclipse, se manifiesta durante éste en forma tan nítida, que los astrónomos hacen todo lo posible para no perder semejante oportunidad.

El segundo problema es la investigación de la corona solar. La corona es el más importante

de los fenómenos observables en un eclipse total de Sol: alrededor del círculo completamente negro de la Luna ribeteada con los salientes ígneos (protuberancias) de la superficie exterior del Sol, brilla una aureola perlada de diversos tamaños y formas en los distintos eclipses (figura 56).

El largo de los rayos de esta aureola es con frecuencia varias veces mayor que el diámetro solar, y su brillo, normalmente, sólo la mitad del brillo de la Luna llena.

Durante el eclipse de 1936 la corona solar apareció excepcionalmente brillante, más brillante que la Luna llena, lo cual sucede muy raras veces. Los rayos de la corona, largos, un poco borrosos, se extendían a tres y más diámetros solares; en conjunto, la corona tenía la forma de una estrella pentagonal cuyo centro ocupaba el disco oscuro de la Luna.

La naturaleza de la corona solar no ha sido bien aclarada hasta la fecha. Durante los eclipses, los astrónomos fotografían la corona, miden su brillo, estudian su espectro. Todo esto ayuda a la investigación de su estructura física.

El tercer problema, planteado en los últimos decenios, se refiere a la comprobación de una de las consecuencias de la teoría de la relatividad generalizada. De acuerdo con la teoría de la relatividad, los rayos de las estrellas que pasan cerca del Sol experimentan la influencia de su gigantesca atracción y sufren una desviación, que debe manifestarse en un desplazamiento aparente de las estrellas cercanas al disco solar (figura 57). La prueba de esta consecuencia es posible solamente durante un eclipse total de Sol.

Las medidas efectuadas en los eclipses de 1919, 1922, 1926 y 1936 no dieron, en rigor, resultados decisivos, y el problema de la confirmación experimental de la consecuencia indicada de la teoría de la relatividad sigue todavía planteado<sup>7</sup>.

Éstos son los principales objetivos por los que los astrónomos abandonan sus observatorios y se dirigen a lugares alejados, a veces inhóspitos, para observar los eclipses solares. En cuanto al espectáculo del eclipse total de Sol, en nuestra literatura hay una estupenda descripción de este raro fenómeno natural (V. G. Korolenko, El eclipse. La descripción se refiere al eclipse de agosto de 1887; la observación se efectuó a orillas del Volga, en la ciudad de Yuriévets.) Damos a continuación un extracto del relato de Korolenko, con algunas omisiones sin importancia:

*"El Sol se sumerge en un instante en una amplia mancha nebulosa y se muestra más allá de las nubes visiblemente reducido . . .*

*"Ahora se puede mirar directamente, y ayuda a ello el fino vapor que por todas partes humea en el aire y suaviza el brillo cegador.*

*"Silencio. En alguna parte se oye una respiración pesada, nerviosa . . .*

*"Pasa media hora. El día brilla por doquier igual que antes; algunas nubecillas cubren y descubren el Sol, que boga ahora por el cielo en forma de hoz.*

*"Entre los jóvenes reina una animación despreocupada, con una mezcla de curiosidad.*

*"Los ancianos suspiran; las ancianas, como histéricas, se quejan a gritos, y algunas incluso gimen y lanzan alaridos como si les dolieran las muelas.*

*"El día comienza a palidecer en forma ostensible. Los rostros toman un tinte de miedo; las sombras de las figuras humanas yacen en tierra pálidas, sin brillo. Un*

---

<sup>7</sup> El hecho mismo de la desviación se confirma, pero no se ha podido establecer un acuerdo cuantitativo total con la teoría. Las observaciones del profesor A. A. Mijailov condujeron a la necesidad de revisar en algunas partes la teoría misma de este fenómeno. (N. R.)

*barco que se desliza por la corriente pasa como una aparición. Sus contornos se hacen vagos, sus colores se vuelven menos definidos. La cantidad de luz, al parecer, disminuye; pero como las sombras densas del atardecer están ausentes y no hay juego de luces reflejadas por las capas inferiores de la atmósfera, este crepúsculo resulta extraño y desacostumbrado. El paisaje parece desvanecerse; la hierba pierde su verdor y las montañas toman un aspecto irreal.*

*"Sin embargo, aún se ve un estrecho borde brillante de Sol en forma de hoz, y se tiene la impresión de que el día, aunque muy apagado, continúa. Me parece que los relatos sobre la oscuridad que reina durante los eclipses son exagerados. '¿Es posible -me dije- que esta ínfima chispa de Sol que aún queda encendida, como una última vela olvidada, sea capaz de iluminar tanto este mundo inmenso?... ¿Acaso cuando ella se extinga va a caer bruscamente la noche?*

*"Pero he aquí que la chispa desapareció. De pronto, como si se desprendiera con esfuerzo de un apretado abrazo, brilló como una gota de oro y se extinguió. Y entonces se esparcieron sobre la Tierra densas tinieblas. Capté el momento en que la oscuridad completa cayó sobre el crepúsculo. Apareció por el Sur y, como un velo gigantesco, pasó rápidamente, extendiéndose sobre las montañas, sobre los ríos, sobre las praderas, abarcando todo el espacio celeste; nos envolvió por todas partes y en un instante se cerró por el Norte. Yo estaba entonces abajo, en un banco de arena de la orilla, y observaba la muchedumbre. Reinaba un silencio sepulcral... Los hombres formaban una masa oscura... Pero ésta no era una noche como las demás. Había tan poca luz, que las miradas buscaban involuntariamente el brillo plateado de la Luna que invade la oscuridad azul de una noche normal. Pero por ninguna parte se veían rayos luminosos. Era como si una ceniza liviana, imperceptible para la vista, se desparramara desde lo alto sobre la Tierra, o como si una red de malla muy fina pendiera en el aire. Allá arriba, en las capas superiores de la atmósfera, se adivina un espacio luminoso que penetra en la oscuridad y funde las sombras, a las que priva de forma y densidad. Y por encima de toda una naturaleza asombrada por el milagroso panorama corren nubes que parecen entregarse a una lucha cautivante... Un cuerpo enemigo, redondo y oscuro como una araña, se agarró al Sol ardiente, y ambos corren juntos más allá de las nubes. Un cierto resplandor, que sale en forma de reflejos cambiantes de detrás del escudo de sombras, da movimiento y vida al espectáculo, y las nubes refuerzan aún más la ilusión con su silenciosa e inquieta carrera."*

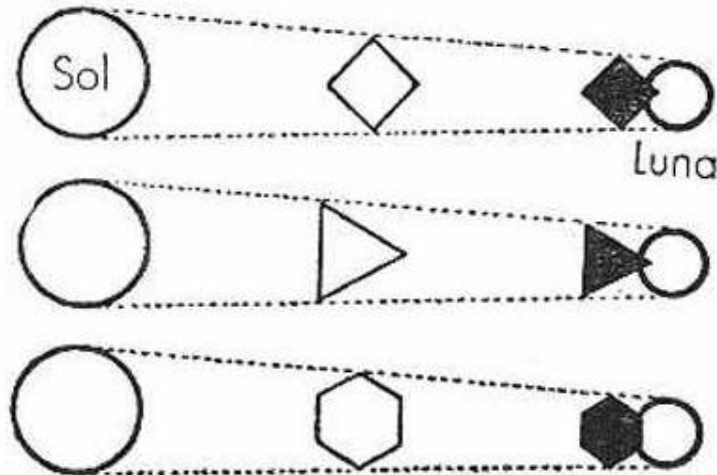
Los eclipses de Luna no poseen para los astrónomos contemporáneos tanto interés como los eclipses de Sol. Nuestros antepasados veían en los eclipses de Luna un medio cómodo para convencerse de la forma esférica de la Tierra. Recordemos el papel que jugó esta prueba en el viaje de circunnavegación de Magallanes.

Cuando después de largos y agotadores días de viaje por las desiertas aguas del océano Pacífico los marineros cayeron en la desesperación, convencidos de que se alejaban cada vez más de la tierra firme por un mar que no tenía fin, sólo Magallanes no perdió el coraje.

"Aunque la Iglesia siempre sostuvo, basándose en las Sagradas Escrituras, que la Tierra es una planicie rodeada por agua -relata uno de los compañeros del gran navegante-, Magallanes extrajo fuerzas del siguiente razonamiento: en los eclipses de Luna la sombra arrojada por la Tierra es circular, y si tal es la sombra, tal debe ser el objeto que la arroja..."

En los libros antiguos de astronomía encontramos también dibujos que explican la relación entre la forma de la sombra de la Luna y la forma de la Tierra (figura 58).

Ahora ya no necesitamos demostraciones semejantes. En cambio, los eclipses de Luna nos dan la posibilidad de conocer naturaleza de las capas superiores de la atmósfera terrestre, por el brillo y el color de la Luna.



*Figura 58. Dibujo antiguo que ilustra la idea de que por la forma de la sombra de la Tierra en el disco de la Luna se puede juzgar la forma del nuestro.*

Como es sabido, la Luna no desaparece totalmente en la sombra de la Tierra y continúa siendo visible por los rayos del Sol refractados dentro del cono de sombra. La intensidad de la iluminación de la Luna en ese momento y sus matices tienen para los astrónomos un gran interés, y se hallan, según ha podido comprobarse, en sorprendente relación con el número de las manchas solares. Además, en los últimos tiempos se aprovechan los eclipses de Luna para medir la velocidad de enfriamiento de su superficie cuando se ve privada del calor del Sol. Más adelante volveremos sobre esto.

[Volver](#)

### **Por qué los eclipses se repiten cada 18 años**

Mucho antes de nuestra era los observadores babilónicos del cielo notaron que los eclipses de Sol y de Luna se repiten en serie cada 18 años y 10 días. Este período fue llamado por ellos "saros". Sirviéndose del saros los antiguos predecían la aparición de los eclipses, pero no sabían a qué se debía una periodicidad tan regular ni por qué tiene tal duración y no otra. La causa de la periodicidad de los eclipses se encontró mucho más tarde, como resultado del estudio cuidadoso de los movimientos de la Luna. ¿Cuánto tiempo dura una revolución de la Luna por su órbita? La respuesta a esta pregunta puede ser distinta, según el momento que se tome como término de una vuelta de la Luna alrededor de la Tierra. Los astrónomos distinguen cinco clases de meses, de los cuales nos interesan ahora sólo dos:

1. El llamado mes "sinódico", es decir, el intervalo de tiempo en que la Luna realiza una vuelta completa alrededor de su órbita si se sigue este movimiento desde el Sol. Este es el período de tiempo que transcurre entre dos fases iguales de la Luna, por ejemplo, de una Luna nueva a otra Luna nueva. Es igual a 29.5306 días.

2. El llamado mes "draconítico", que es el espacio de tiempo al cabo del cual la Luna vuelve al mismo "nodo" de su órbita (los nodos son las intersecciones de la órbita de la Luna con el plano de la órbita de la Tierra). La duración de este mes es de 27.212 días.

Los eclipses, como es fácil comprender, se producen sólo cuando la Luna, en fase de Luna nueva o de Luna llena, se encuentra en uno de los nodos: su centro se encuentra entonces en línea recta con los centros de la Tierra y del Sol. Es evidente que si hoy se produce un eclipse, deberá producirse nuevamente al cabo de un espacio de tiempo en el cual se cumpla un número entero de meses sinódicos y draconíticos, pues entonces se repetirán las condiciones en las cuales se produce un eclipse.

¿Cómo encontrar semejante espacio de tiempo? Para esto es necesario resolver la ecuación

$$29.5306 x = 27.2122 y$$

donde x e y son números enteros. Planteándola en forma de proporción,

$$\frac{x}{y} = \frac{272.122}{295.306}$$

Se ve que la solución más sencilla de esta situación es la siguiente

$$x = 272\ 122, y = 295\ 306.$$

Resulta así un período enorme de decenas de milenios, sin valor práctico. Los antiguos astrónomos se conformaron con una solución aproximada. El medio más cómodo para hallar esa aproximación lo dan las fracciones continuas.

Transformemos el quebrado

$$\frac{295.306}{272.122}$$

en fracción continua. Esto se hace del modo siguiente. Extrayendo el número entero, tenemos

$$\frac{295.306}{272.122} = 1 + \frac{23.184}{272.122}$$

En el último quebrado dividimos el numerador y el denominador por el numerador

$$\frac{295.306}{272.122} = 1 + \frac{1}{11 \frac{17098}{23182}}$$

El numerador y el denominador del quebrado 17098 / 23182 los dividimos por el numerador y así procederemos en adelante.

Obtenemos como resultado final

$$\frac{295.306}{272.122} = 1 + \frac{1}{11 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \frac{1}{4 + \frac{1}{17 + 1}}}}}}}$$

De esta fracción, tomando los primeros términos y despreciando los restantes, obtenemos las siguientes aproximaciones consecutivas

$$12 / 11, 13 / 12, 38 / 35, 51 / 47, 242 / 225, 1019 / 959, \text{ etc.}$$

El quinto quebrado de esta serie da ya suficiente precisión. Si nos detenemos en él, es decir, si se toman los valores  $x = 223$  e  $y = 242$ , el período de repetición de los eclipses que se obtiene es igual a 223 días sinódicos o a 242 draconíticos. Esto constituye  $\sqrt[3]{6585}$  días, es decir, 18 años 11,3 días (o 10,3 días)<sup>8</sup>.

Tal es el origen del saros. Sabiendo de donde procede, podemos dejar de lado el cálculo y predecir por medio de él, con bastante precisión, los eclipses. Vemos que, tomando el saros igual a 18 años 10 días, despreciamos 0.3 días. Esto debe tenerse en cuenta, pues el eclipse predicho con este período simplificado caerá a una hora del día diferente a la de la oportunidad anterior (aproximadamente 8 horas más tarde), y sólo utilizando un período exactamente igual al triple del saros, el eclipse se repetirá casi en el mismo momento del día. Aparte esto, el saros no tiene en cuenta los cambios de distancia de la Luna a la Tierra y de la Tierra al Sol, cambios que tienen su periodicidad; de estas distancias depende que el eclipse de Sol sea o no total. El saros, pues, nos da solamente la posibilidad de predecir qué día determinado ha de ocurrir un eclipse, pero sobre si será total, parcial o anular, o si podrá ser observado en los mismos lugares que la vez anterior, nada permite afirmar.

Finalmente, sucede también que un eclipse parcial de Sol que es insignificante, 18 años después disminuye hasta cero, es decir, deja totalmente de observarse, y, a la inversa, a veces se hace visible un pequeño eclipse solar parcial que antes no era observable.

En nuestros días los astrónomos no utilizan el saros. Los movimientos caprichosos del satélite de la Tierra están tan bien estudiados, que el eclipse se predice con una exactitud de segundos. Si la predicción de un eclipse no se cumpliera, los hombres de ciencia contemporáneos estarían dispuestos a admitir cualquier cosa antes que la falibilidad de sus cálculos.

Esto fue muy bien señalado por Julio Verne, quien, en su novela *El país de las pieles*, nos hace el relato de un astrónomo que se dirigió al polo para la observación de un eclipse de Sol que, a pesar de haber sido previsto, no se produjo. ¿Qué conclusión sacó de esto el astrónomo? A sus acompañantes les dio la explicación de que la superficie helada en que se encontraban no era un continente, sino un campo de hielo flotante que había sido transportado por las corrientes marinas fuera de la zona del eclipse. Esta afirmación resultó ser exacta. He ahí un ejemplo de fe profunda en la ciencia.

[Volver](#)

### ¿Es posible?

<sup>8</sup> Según que entren en este período 4 ó 5 años bisiestos.

Testigos oculares refieren que durante un eclipse de Luna han podido observar sobre el horizonte, en un lado del cielo, el disco del Sol y, al mismo tiempo, en el otro lado, el disco de la Luna oscurecido.

Este fenómeno fue observado también en 1936, en el eclipse parcial de Luna del 4 de julio. Uno de mis lectores me escribió lo siguiente:

*"El 4 de julio, ya tarde, a las 20 horas y 31 minutos, salió la Luna, y a las 20 horas y 45 minutos se puso el Sol; en el momento de la salida de la Luna ocurrió el eclipse lunar, aunque la Luna y el Sol eran visibles al mismo tiempo sobre el horizonte. Esto me asombró mucho, porque los rayos de luz se propagan en línea recta."*

El espectáculo es en realidad enigmático: aunque, a pesar de la afirmación de la muchacha de Chejov, a través de un vidrio ahumado no se puede "ver la línea que une los centros del Sol y de la Luna", trazarla mentalmente al lado de la Tierra es absolutamente posible en esta disposición. ¿Puede producirse un eclipse si la Tierra no intercepta a la Luna y al Sol? ¿Puede creerse este testimonio de un testigo ocular?

En realidad, en una observación semejante no hay nada de inverosímil. Que el Sol y la Luna en eclipse sean visibles en el cielo al mismo tiempo es un hecho que depende de la curvatura de los rayos de luz en la atmósfera terrestre. Gracias a esta curvatura, llamada "refracción atmosférica", cada astro nos parece estar algo más alto que su verdadera posición (figura 15). Cuando vemos al Sol o a la Luna cerca del horizonte, geoméricamente se encuentran por debajo de él. Así, pues, no hay nada de imposible en que los discos del Sol y de la Luna en eclipse sean visibles sobre el horizonte al mismo tiempo.

"Habitualmente escribe con motivo de esto Flammarionse citan los eclipses de 1666, 1668 y 1750, en los que esta rara particularidad apareció en su forma más visible. Sin embargo, no hay necesidad de remontarse tan lejos. El 15 de febrero de 1877, la Luna salió en París a las 5 horas y 29 minutos y el Sol se puso a las 5 horas y 39 minutos, cuando ya comenzaba un eclipse total. El 4 de diciembre de 1880 hubo un eclipse total de Luna en París; ese día la Luna salió a las 4 horas y el Sol se puso a las 4 horas y 2 minutos, y esto ocurrió casi en la mitad del eclipse, que se prolongó desde las 3 horas y 3 minutos hasta las 4 horas y 35 minutos. Si este hecho no se observa mucho más a menudo, es simplemente por falta de observadores. Para ver la Luna en eclipse total antes de la puesta del Sol o después de su salida, se necesita simplemente elegir en la Tierra un lugar tal que la Luna se encuentre sobre el horizonte hacia la mitad del eclipse."

[Volver](#)

## Lo que no todos saben acerca de los eclipses

### Preguntas

1. ¿Cuánto pueden durar los eclipses de Sol? ¿Y cuánto los eclipses de Luna?
2. ¿Cuántos eclipses pueden producirse a lo largo de un año?
3. ¿Hay años sin eclipses de Sol? ¿Y sin eclipses de Luna?
4. ¿Desde qué lado avanza sobre el Sol el disco negro de la Luna durante el eclipse, desde la derecha o desde la izquierda?
5. ¿Por qué borde empieza el eclipse de Luna, por el derecho o por el izquierdo?
6. ¿Por qué las manchas de luz en la sombra del follaje tiene durante el eclipse de Sol forma de hoz? (figura 59).
7. ¿Qué diferencia hay entre la forma de la hoz del Sol durante un eclipse y la forma ordinaria de la hoz de la Luna?
8. ¿Por qué se mira el eclipse solar a través de un vidrio ahumado?

**Respuestas**

1. La mayor duración de la fase total de un eclipse de Sol es de  $7\frac{1}{2}$  minutos (en el Ecuador, en las latitudes altas es menor). Todas las fases del eclipse pueden abarcar hasta  $4\frac{1}{2}$  horas (en el Ecuador).

La duración de todas las fases del eclipse de Luna alcanza hasta 4 horas; el tiempo de la ocultación total de la Luna no dura más de 1 hora y 50 minutos.

2. El número total de eclipses de Sol y de Luna a lo largo de un año no puede ser mayor de 7 ni menor de 2 (en el año 1935 se contaron 7 eclipses: 5 solares y 2 lunares).

3. No hay ningún año sin eclipses de Sol; anualmente se producen por lo menos 2 eclipses solares. Los años sin eclipses de Luna son bastante frecuentes; aproximadamente, uno cada 5 años.

4. En el hemisferio Norte de la Tierra el disco de la Luna se desplaza sobre el Sol de derecha a izquierda. El primer contacto de la Luna con el Sol debe esperarse por el lado derecho. En el hemisferio Sur, por el lado izquierdo (figura 60).

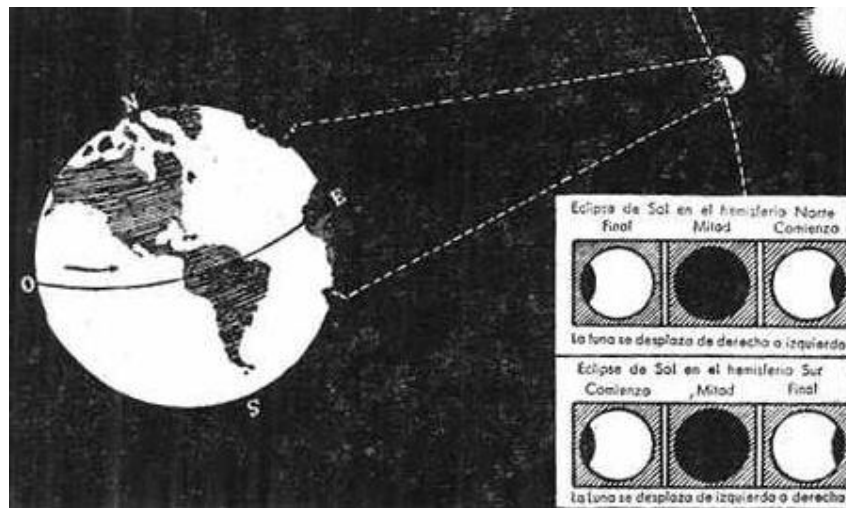


Figura 60. Por qué para un observador en el hemisferio Norte de la Tierra, el disco de la Luna se desplaza durante el eclipse sobre el Sol desde la derecha y para un observador en el hemisferio Sur, desde la izquierda

5. En el hemisferio Norte la Luna entra en la sombra de la Tierra por su borde izquierdo; en el hemisferio Sur, por el derecho.

6. Las manchas de luz en la sombra del follaje no son otra cosa que imágenes del Sol. Durante el eclipse el gol tiene forma de hoz, y esa misma forma tienen que tener sus imágenes en la sombra del follaje (figura 59).





Figura 59. Las manchas de luz en la sombra del follaje de los árboles durante la fase parcial de un eclipse tienen forma de hoz

7. La hoz de la Luna está limitada exteriormente por un semicírculo e interiormente por una semielipse. La hoz del Sol está limitada por dos arcos de círculo de igual radio. ("Los enigmas de las fases de la Luna".)
8. El Sol, aunque esté parcialmente oculto por la Luna, no se puede mirar sin proteger adecuadamente los ojos.

Los rayos solares afectan a la parte más sensible de la retina y disminuyen sensiblemente la agudeza visual durante cierto tiempo, y a veces, para toda la vida.

Ya a comienzos del siglo XIII un escritor de Novgorod observaba: "A causa de este mismo hecho, en el Gran Novgorod algunos hombres casi perdieron la vista." Es fácil evitar la quemadura, sin embargo, proveyéndose de un vidrio densamente ahumado. Se debe ahumar con una vela, de manera que el disco del Sol aparezca a través del vidrio como un círculo claramente dibujado, sin rayos y sin aureola. Resulta más cómodo si se cubre el vidrio ahumado con otro vidrio limpio y se encola ambos por los bordes con un papel. Como no se puede prever cuáles serán las condiciones de visibilidad del Sol durante el eclipse, conviene preparar varios vidrios con distintas densidades de ahumado.

Se pueden utilizar también vidrios coloreados, colocando uno sobre otro dos vidrios de distintos colores (preferentemente "complementarios"). Los lentes oscuros de sol habituales son insuficientes para este fin. Finalmente, son también muy adecuados para la observación del Sol los negativos fotográficos que tengan partes oscuras con la densidad necesaria.<sup>9</sup>

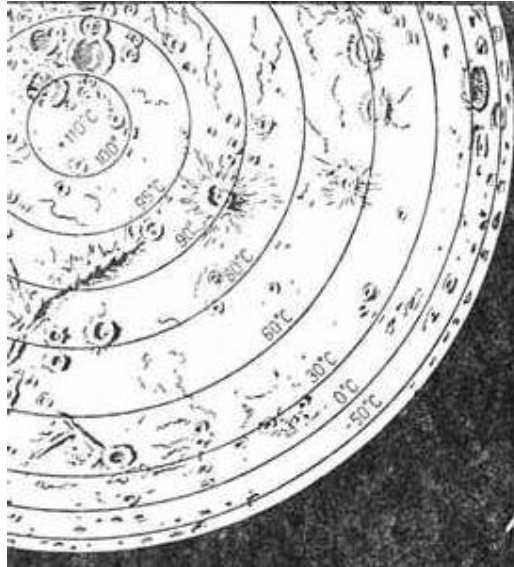
[Volver](#)

### ¿Cuál es el clima de la luna?

Hablando con propiedad, en la Luna no existe clima, si se toma esta palabra en el sentido corriente. ¿Cuál puede ser el clima donde faltan totalmente la atmósfera, las nubes, el vapor de agua, las precipitaciones, el viento? De lo único de que puede hablarse es de la temperatura de la superficie lunar.

<sup>9</sup> A quien desee conocer más detalladamente cómo se desarrolla un eclipse total de Sol y qué observaciones llevan a cabo los astrónomos durante él, se le recomienda el libro Eclipses solares y su observación, escrito por un grupo de especialistas bajo la dirección general del profesor A. A. Mijailov. El libro está dedicado a los aficionados a la astronomía, a los profesores y a los estudiantes de las clases superiores. En forma más popular está escrito el libro de V. T. Ter-Oranezov, Eclipses solares, Editorial Técnica del Estado, 1954 (Biblioteca Científica Popular).

Pues bien, ¿en qué medida está caliente el suelo de la Luna? Los astrónomos disponen actualmente de un aparato que les da la posibilidad de medir la temperatura no sólo de los astros lejanos, sino de algunas de sus partes separadamente. La construcción del aparato está basada en el efecto termoeléctrico en un conductor formado por dos metales diferentes se genera una corriente eléctrica cuando uno de los metales está más caliente que el otro; la intensidad de la corriente originada depende de la diferencia de las temperaturas y permite medir la cantidad de calor recibido.



*Figura 61. En la Luna, la temperatura llega a ser en el centro del disco visible, de +110 °C y desciende rápidamente hacia los bordes hasta -50 °C, y aún más*

La sensibilidad del aparato es sorprendente. De dimensiones microscópicas (la parte fundamental del aparato no es mayor de 0.2 mm y pesa 0.1 mg), puede detectar incluso la acción calórica de estrellas de 13ª magnitud que elevan la temperatura en diezmillonésimas de grado. Estas estrellas no son visibles sin telescopio; brillan 600 veces más débilmente que las estrellas que se encuentran en el límite de la visibilidad a simple vista.

Detectar una cantidad tan sumamente pequeña de calor es lo mismo que captar el calor de una vela desde una distancia de varios kilómetros.

Disponiendo de este casi maravilloso instrumento de medición, los astrónomos lo aplicaron en distintos puntos de la imagen telescópica de la Luna, midieron el calor recibido y apreciaron así la temperatura de sus distintas partes (con una precisión de hasta 10 °). He aquí los resultados (figura 61) : En el centro del disco de la Luna llena la temperatura es mayor de 100 ° C; si se situara agua en dicha parte de la Luna, herviría aun a presión normal. "En la Luna no tendríamos necesidad de preparar la comida en el reverbero -escribe un astrónomo-; el papel de éste podría desempeñarlo cualquier roca cercana." A partir del centro del disco la temperatura desciende regularmente en todos los sentidos, pero a 2700 km del punto central todavía no es menor de 80°C. Después; la caída de la temperatura se hace más rápida, y cerca del borde del disco iluminado reina un frío de -50°C. Aún más fría es la parte oscura de la Luna, la que se halla en dirección contraria al Sol, donde el frío alcanza a -160 ° C.

Ya hemos dicho que durante los eclipses, cuando la esfera de la Luna se sumerge en la sombra de la Tierra, la superficie lunar que se ve privada de la luz del Sol, se enfría rápidamente. Se ha medido la magnitud de este enfriamiento; en un caso, el descenso de la

temperatura durante el eclipse resultó ser de  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-117\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es decir, de casi  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en un período de tiempo de, aproximadamente,  $1\frac{1}{2}$  a 2 horas. En la Tierra, en cambio, en condiciones similares, es decir, durante un eclipse solar, se registra un descenso de temperatura de  $2^{\circ}$ , a lo sumo de  $3^{\circ}$ . Esta diferencia debe atribuirse a la influencia de la atmósfera terrestre, que es relativamente transparente para los rayos visibles del Sol pero que retiene los rayos "caloríficos" invisibles que el suelo caliente irradia.

El hecho de que la superficie de la Luna pierda tan rápidamente el calor acumulado muestra, al mismo tiempo, la baja capacidad calórica y la mala conductividad térmica del suelo de la Luna, de lo cual se desprende que, durante el calentamiento, nuestro satélite sólo puede acumular una pequeña reserva de calor.

[Volver](#)



**Capítulo Tercero****LOS PLANETAS***Contenido*

- [Planetas a la luz del Día](#)
- [Los símbolos de los planetas](#)
- [Algo que no se puede dibujar](#)
- [Por qué Mercurio no tiene atmósfera](#)
- [Las fases de Venus](#)
- [Las oposiciones](#)
- [¿Planeta o Sol pequeño?](#)
- [La desaparición de los anillos de Saturno](#)
- [Anagramas astronómicos](#)
- [Un planeta situado más allá de Neptuno](#)
- [Los planetas enanos](#)
- [Nuestros vecinos más próximos](#)
- [Los acompañantes de Júpiter](#)
- [Los cielos ajenos](#)

\* \* \*

**Planetas a la luz del Día**

¿Es posible ver de día, a la luz del Sol, los planetas? Con el telescopio, desde luego: los astrónomos efectúan frecuentemente observaciones diurnas de los planetas, que pueden ver incluso con telescopios de potencia mediana, si bien es cierto que no en forma tan clara y provechosa como de noche. Con un telescopio que tenga un objetivo de 10 cm de diámetro es posible no sólo ver durante el día a Júpiter, sino de distinguir sus franjas características. La observación de Mercurio es precisamente más cómoda de día, cuando el planeta se encuentra alto sobre el horizonte; después de la puesta del Sol, Mercurio permanece visible en el cielo, pero tan bajo, que la atmósfera terrestre perturba grandemente la imagen telescópica.

En condiciones favorables algunos planetas se pueden ver de día, a simple vista. En particular, es frecuente poder observar en el cielo diurno a Venus, el más brillante de los planetas, aunque, desde luego, en la época de su mayor brillo. Es bien conocido el relato de Arago sobre Napoleón I, quien, una vez, durante un desfile por las calles de París, se ofendió porque la multitud, sorprendida por la aparición de Venus al mediodía, prestó más atención a este planeta que a su imperial persona.

Desde las calles de las grandes ciudades, durante las horas del día, Venus es con frecuencia más visible aún que desde los lugares abiertos: las casas altas ocultan el Sol y protegen así

los ojos del deslumbramiento de sus rayos directos. La visibilidad casual de Venus durante el día fue señalada también por escritores rusos. Así, un escritor de Novgorod dice que en el año 1331, de día, "se vio en los cielos una señal, una estrella que brillaba encima de la iglesia". Esta estrella (según las investigaciones de D. C. Sviatski y N. A. Biliev) era Venus. Las épocas más favorables para ver a Venus de día se repiten cada 8 años. Los observadores atentos del cielo seguramente han tenido oportunidad de ver de día, a simple vista, no sólo a Venus, sino también a Júpiter, e incluso a Mercurio.

Es conveniente detenerse ahora en el problema del brillo comparativo de los planetas. Entre los no especializados surge a veces la duda: ¿Cuál de los planetas alcanza mayor brillo Venus, Júpiter o Marte? Naturalmente, si brillaran al mismo tiempo y se les pusiera uno al lado del otro, semejante problema no surgiría. Pero cuando se les ve en el cielo en distintos momentos, no es fácil decidir cuál de ellos es más brillante. He aquí cómo se distribuyen los planetas por orden de brillo:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Venus} \\ \text{Marte} \\ \text{Júpiter} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Varias veces más} \\ \text{brillante que} \\ \text{Sirio} \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \text{Mercurio} \\ \text{Saturno} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Más débiles que Sirio} \\ \text{pero más brillantes que} \\ \text{estrellas de primera magnitud} \end{array} \right.$$

Ya volveremos sobre este tema en el capítulo siguiente, cuando abordemos el estudio del valor numérico del brillo de los cuerpos celestes.

[Volver](#)

### Los símbolos de los planetas

Para designar al Sol, la Luna y los planetas, los astrónomos contemporáneos utilizan signos de origen muy antiguo (figura 62).

La forma de estos signos exige una explicación, salvo el signo de la Luna, naturalmente, que se comprende por sí mismo. El signo de Mercurio es la imagen simplificada del cetro del dios mitológico Mercurio, dueño protector de este planeta. Como signo de Venus sirve la imagen de un espejo de mano, emblema de la feminidad y de la belleza inherentes a la diosa Venus. Como símbolo de Marte, que era el dios de la guerra, se usa una lanza cubierta con un escudo, atributos del guerrero. El signo de Júpiter no es otra cosa que la inicial de la denominación griega de Júpiter (Zeus), una Z manuscrita. El signo de Saturno, según lo interpretó Flammarion, es la representación deformada de la "guadaña del tiempo", atributo tradicional del dios del destino. Los signos enumerados hasta ahora se utilizan desde el siglo IX. El signo de Urano, ya se comprende, tiene un origen posterior: este planeta fue descubierto a fines del siglo XVIII. Su signo es un círculo con la letra H, que nos recuerda el nombre de Herschel, descubridor de Urano. El signo de Neptuno (descubierto en 1846) es un tributo a la mitología, el tridente del dios de los mares. El signo para el último planeta, Plutón, se comprende por sí mismo.

A estos símbolos planetarios es necesario añadir el signo del planeta en que vivimos, y también, el signo del astro central de nuestro sistema, el Sol. Este último signo, el más antiguo, era utilizado ya por los egipcios hace varios milenios.

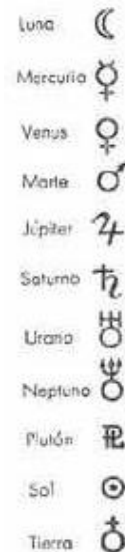


Figura 62. Signos convencionales para el Sol, la Luna y los planetas

A muchas personas les parecerá seguramente extraño que los astrónomos occidentales empleen los mismos signos de los planetas para indicar los días de la semana, a saber:

el domingo con el signo del	Sol
el lunes con el signo de la	Luna
el martes con el signo de	Marte
el miércoles con el signo de	Mercurio
el jueves con el signo de	Júpiter
el viernes con el signo de	Venus
el sábado con el signo de	Saturno

Esta coincidencia inesperada resulta muy natural si se confrontan los nombres de los planetas con los de los días de la semana, no en ruso, sino en latín o en español, lenguas en que esos nombres han conservado su relación con las denominaciones de los planetas (lunes, día de la Luna; martes, día de Marte, etc.).

Pero no vamos a detenernos en este tema tan interesante, que pertenece más a la filología y a la historia de la cultura que a la astronomía.

Los símbolos de los planetas eran utilizados por los antiguos alquimistas para designar los metales, como sigue:

el signo del Sol	para el oro
el signo de la Luna	la plata
el signo de Mercurio	el mercurio
el signo de Venus	el cobre
el signo de Marte	el hierro
el signo de Júpiter	el estaño
el signo de Saturno	el plomo

Esta relación se explica teniendo en cuenta las ideas de los alquimistas, que relacionaban cada metal con uno de los antiguos dioses mitológicos.

Finalmente, un eco del respeto medieval por los símbolos de los planetas es la utilización por los botánicos y por los zoólogos contemporáneos de los símbolos de Marte y de Venus para distinguir el macho y la hembra en los ejemplares de una misma especie. Los botánicos usan también el símbolo astronómico del Sol para señalar las plantas anuales; para las bienales utilizan el mismo signo, pero algo cambiado (con dos puntos en el círculo); para las yerbas vivaces, el signo de Júpiter; para los arbustos y los árboles, el signo de Saturno.

[Volver](#)

### **Algo que no se puede dibujar**

Entre las cosas que de ningún modo se pueden representar en el papel, se encuentra el plano exacto de nuestro sistema planetario, lo que con la denominación de plano del sistema planetario encontramos en los libros de astronomía es un dibujo de las trayectorias de los planetas, pero no, en modo alguno, del sistema solar; los planetas mismos, en esos dibujos, no se pueden representar sin una grosera alteración de las escalas. Los planetas, en relación con las distancias que los separan, son tan sumamente pequeños, que es incluso difícil hacerse una idea exacta de esta relación. Facilitaremos el trabajo de nuestra imaginación si hacemos un modelo reducido del sistema planetario. Entonces resultará claro por qué es imposible trasladar el sistema planetario al papel. A lo más que podemos llegar en el dibujo es a mostrar las dimensiones relativas de los planetas y del Sol (figura 63). Tomemos para la Tierra una dimensión bien modesta, la de una cabeza de alfiler, es decir, una esferita de aproximadamente 1 mm de diámetro. Hablando con más precisión, vamos a utilizar una escala aproximada de 15000 km por 1 mm ó 1: 15 000 000 000.

La Luna, en forma de  $\frac{1}{4}$  de mm de diámetro, será necesario colocarla a 3 cm de la cabecita del alfiler. El Sol, con el tamaño de una pelota de croquet (10 cm), deberá distar 10 m de la Tierra.

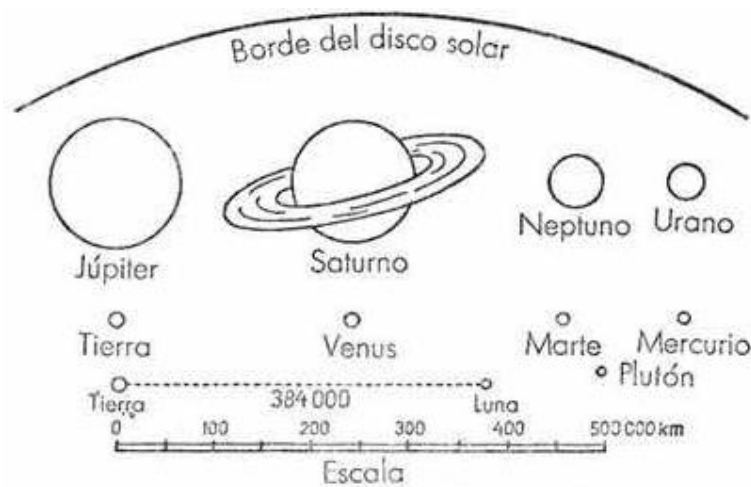


Figura 63. Dimensiones relativas de los planetas y del Sol. El diámetro del disco del Sol, a esta escala, es igual a 19 cm

Colocada la pelota en un ángulo de una habitación bien espaciosa y la cabecita del alfiler en el otro, tendrán ustedes un modelo de lo que relativamente son la Tierra y el Sol en el espacio sideral. Se ve claramente que, en realidad, es mucho mayor el vacío que la materia. Es cierto que entre el Sol y la Tierra hay dos planetas, Mercurio y Venus, pero uno y otro contribuyen poco a rellenar el vacío. En nuestra habitación, pues, habría que colocar aún dos granitos: uno de 4 de mm de diámetro (Mercurio), a una distancia de 4 m de la pelota del Sol, y el segundo, como una cabecita de alfiler (Venus), a 7 m. Pero habrá también más granitos del otro lado de la Tierra. A 16 m de la pelota del Sol gira Marte, un granito de mm de diámetro. Cada 15 años, ambos granitos, la Tierra y Marte, se aproximan hasta una distancia de 4 m; entonces se encuentran a la menor distancia ambos mundos.

Marte tiene dos satélites; pero representarlos en nuestro modelo es imposible, pues en la escala elegida debería tener las dimensiones de una bacteria! Un tamaño igualmente muy pequeño tendrían también en el modelo los asteroides, diminutos planetas conocidos ya en número de más de 1500 que giran entre Marte y Júpiter. Su distancia media al Sol en nuestro modelo sería de 28 m. Los más grandes de ellos tendrían en el (modelo) el espesor de un cabello ( $\frac{1}{20}$  mm) y los más pequeños, las dimensiones de una bacteria.

El gigante Júpiter estaría representado con una esferita del tamaño de una avellana (1 cm) que quedarla a 52 m de la pelota del Sol. Alrededor de él, a las distancias de 3, 4, 7 y 12 cm, girarían los más grandes de sus 12 satélites. Las dimensiones de estas grandes lunas serían de cerca de 1 mm; las restantes resultarían en el modelo del tamaño de bacterias. El más alejado de sus satélites, el IX, debería situarse a 2 m de la avellana de Júpiter, lo que equivale a decir que todo el sistema de Júpiter tiene, en nuestro modelo, 4 m de diámetro. Esto es mucho en comparación con el sistema Tierra-Luna (6 cm de diámetro), pero es bastante modesto si se compara con el diámetro de la órbita de Júpiter (104 m) en nuestro modelo.

Ahora se ve claramente cuán poco resultado darían los intentos de hacer un plano del sistema planetario en un solo dibujo. Esta imposibilidad resulta más convincente aún si proseguimos el modelo. El planeta Saturno debería situarse a 100 m de la pelota del Sol, en forma de una avellana de 8 mm de diámetro. El anillo de Saturno tendría un ancho de 4 mm

y un espesor de 1/250 mm, y se encontraría a 1 mm de la superficie de la avellana. Los 9 satélites quedarían distribuidos alrededor del planeta en una extensión de 21 m, en forma de granitos de 1/10 mm de diámetro, y aun de menos.

El vacío que separa los planetas aumenta progresivamente cuando nos aproximamos a los confines del sistema. En nuestro modelo, Urano estaría separado 196 m del Sol; sería un guisante de 3 mm de diámetro, con 5 particulitas-satélites distribuidas a una distancia de 4 cm del grano central.

A 300 m de la pelota central giraría lentamente en su órbita un planeta que hasta hace poco era considerado como el último en nuestro sistema: Neptuno, un guisante con dos satélites (Tritón y Nereida) situados a 5 y 70 cm de él.

Más lejos aún gira un planeta no muy grande, Plutón, cuya distancia al Sol en nuestro modelo sería de 400 m y cuyo diámetro habría de ser, aproximadamente, la mitad del de la Tierra.

Pero ni siquiera la órbita de este último planeta se podría contar como límite de nuestro sistema solar. Además de los planetas, pertenecen a él los cometas, muchos de los cuales se mueven en trayectorias cerradas alrededor del Sol. Entre estas "estrella con cabellera" (significado original de la palabra cometa) hay una serie cuyo período de revolución alcanza hasta 800 años. Son los cometas que aparecieron el año 372 antes de nuestra era y los años 1106, 1668, 1680, 1843, 1880, 1882 (dos cometas) y 1897.

La trayectoria de cada uno de ellos se representaría en el modelo con una elipse alargada, cuyo extremo más próximo (perihelio) se encontraría, a lo sumo, a 12 mm del Sol y cuyo extremo alejado (afelio) a 1700 m, cuatro veces más lejos que Plutón. Si en las dimensiones del sistema solar consideramos los cometas, nuestro modelo crecería hasta 3½ km de diámetro y ocuparía una superficie de 9 km, para una magnitud de la Tierra, no se olvide, igual a una cabecita de alfiler.

En estos 9 km<sup>2</sup> haríamos este inventario:

- 1 pelota de croquet
- 2 avellanas
- 2 guisantes
- 2 cabecitas de alfiler
- 3 granitos pequeñísimos.

La materia de los cometas, cualquiera que sea su número, no entra en el cálculo, pues su masa es tan pequeña que con razón fueron llamados la "nada visible".

Así, pues, nuestro sistema planetario no se puede representar en un dibujo a una escala verdadera.

[Volver](#)

### **Por qué Mercurio no tiene atmósfera**

¿Qué vinculación puede haber entre la presencia de atmósfera en un planeta y la duración de su rotación alrededor de su eje? Aparentemente, se diría que ninguna. Y, sin embargo, el ejemplo del planeta más próximo al Sol, Mercurio, puede convencernos de que en algunos casos esta relación existe.

Por la intensidad que alcanza la gravedad en su superficie, Mercurio podría retener una atmósfera de una composición similar a la de la Tierra, aunque quizás no tan densa.

La velocidad necesaria para superar totalmente la fuerza de la gravitación de Mercurio es igual, en su superficie, a 4900 m/s, y esta velocidad, a temperaturas no muy elevadas, no es alcanzada ni por las moléculas más veloces de nuestra atmósfera<sup>1</sup>

Sin embargo, Mercurio está desprovisto de atmósfera. La causa de que así sea estriba en que Mercurio se mueve alrededor del Sol de modo semejante a como se mueve la luna

<sup>1</sup> Ver el capítulo II, "Por qué la Luna no tiene atmósfera".



alrededor de la Tierra, es decir, presentando siempre la misma cara al astro central. El tiempo de una revolución por su órbita (88 días) es el mismo tiempo de una rotación alrededor de su eje. Por esto, en un lado, en el que está siempre dirigido hacia el Sol, Mercurio tiene un día permanente y un verano eterno; y en el otro lado, en el vuelto en dirección contraria al Sol, dominan, una noche ininterrumpida y un invierno sin pausa. Es fácil imaginarse el calor que tiene que reinar en la parte diurna del planeta. El Sol está allí 21 veces más cerca que en la Tierra y la fuerza abrasadora de los rayos deberá crecer en  $2.5 \times 25$ , es decir, en 6.25 veces. En el lado nocturno, por el contrario, adonde, en el transcurso de millones de años no llegó ni un rayo de Sol, tiene que reinar un frío cercano al del espacio sideral<sup>2</sup> (alrededor de  $-264^\circ \text{C}$ ), ya que el calor del lado diurno no puede pasar a través del espesor del planeta. En el límite entre los lados diurno y nocturno, hay una franja de un ancho de  $23^\circ$ , en la que, a consecuencia de la libración<sup>3</sup> el Sol aparece de cuando en cuando.

En condiciones climáticas tan fuera de lo común, ¿qué sería de la atmósfera del planeta?

Evidentemente, en la mitad nocturna, bajo la influencia del intenso frío reinante, la atmósfera se condensaría en el estado líquido, y luego se solidificaría. A consecuencia del pronunciado descenso de la presión atmosférica, hacia esa parte se dirigiría la envoltura gaseosa del lado diurno del planeta que, a su vez, también se solidificaría.

En resumen, toda la atmósfera debería juntarse en forma sólida en el lado nocturno del planeta, en la parte donde el Sol nunca penetra. De este modo, la ausencia de atmósfera en Mercurio aparece como una consecuencia inevitable de las leyes físicas.

Con estos mismos razonamientos, según los cuales es imposible la existencia de atmósfera en Mercurio, debemos descifrar el enigma planteado más de una vez de si hay atmósfera en el lado no visible de la Luna. Se puede afirmar con seguridad que si no hay atmósfera en un lado de la Luna, no puede haberla tampoco en el lado opuesto. En este punto, la novela fantástica de Wells, Los primitivos habitantes de la Luna, se aparta de la verdad. El novelista supone que en la Luna hay aire, el cual, al cabo de la noche, de 14 días de duración, llega a condensarse y solidificarse, y luego, con la aparición del nuevo día, pasa al estado gaseoso y da lugar a una atmósfera. Sin embargo, nada semejante puede suceder.

*"Si, escribía en relación con esto el profesor O. D. Jvolson, en el lado oscuro de la Luna el aire se solidifica, entonces casi todo el aire debe irse del lado iluminado al oscuro y solidificarse allí también. Bajo la influencia de los rayos solares, el aire cálido debe transformarse en gas, el cual inmediatamente se dirigirá al lado oscuro, donde se solidificará... Debe producirse una permanente destilación de aire, y nunca y en ningún lado puede alcanzar una fluidez importante."*

Si para Mercurio y la Luna se puede considerar demostrada la ausencia de atmósfera, en cambio, para Venus, el segundo de los planetas de nuestro sistema a partir del Sol, la presencia de atmósfera es segura, sin que quepa duda alguna.

Se ha determinado incluso que en la atmósfera de Venus, más precisamente, en su estratosfera, hay gran cantidad de gas carbónico, muchas veces más que en la atmósfera terrestre.

[Volver](#)

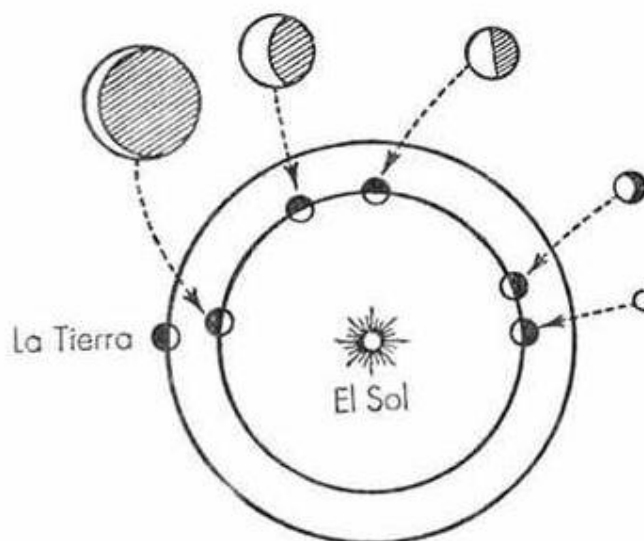
<sup>2</sup> Con la denominación convencional de "temperatura del espacio sideral" los físicos designan la temperatura que marcaría en el espacio un termómetro ennegrecido, protegido contra los rayos del Sol. Esta temperatura es un poco más alta que el cero absoluto ( $-273^\circ$ ) a consecuencia de la acción de calentamiento de la irradiación estelar. Ver el libro de Y. I. Perelman ¿Sabe usted física?

<sup>3</sup> Sobre la libración, ver la sección "El lado visible y el lado invisible de la Luna", Capítulo Segundo. Para la libración de Mercurio en latitud, tiene valor la misma regla aproximada que rige para la Luna: Mercurio dirige constantemente la misma cara, no hacia el Sol, sino hacia el otro foco de su elipse, bastante alargada

### Las fases de Venus

El famoso matemático Gauss cuenta que una vez invitó a su madre a contemplar con un telescopio a Venus, que brillaba intensamente en el cielo de la tarde. El matemático pensaba dar una sorpresa a su madre, pues en el telescopio Venus se veía en forma de hoz. Sin embargo, él fue el único sorprendido. Mirando a través del ocular, la madre no mostró ninguna sorpresa a causa de la forma del planeta y sólo dijo que le extrañaba ver la hoz dirigida hacia el lado opuesto en el campo del telescopio... Gauss nunca había sospechado que su madre pudiera distinguir las fases de Venus, incluso a simple vista. Tal agudeza visual se encuentra muy raramente; por esto, hasta la invención de los catalejos, nadie sospechaba la existencia en Venus de fases semejantes a las de la Luna.

Una particularidad de las fases de Venus es que el diámetro del planeta en las distintas fases es desigual: la delgada hoz tiene un diámetro mucho mayor que el disco entero (figura 64) .



*Figura 64. Las fases de Venus vistas en el telescopio. En las diferentes fases, Venus tiene distintos diámetros aparentes como consecuencia del cambio de su distancia a la Tierra.*

La causa de ello es el alejamiento mayor o menor de nosotros de este planeta en sus distintas fases. La distancia media de Venus al Sol es de 108 millones de km, y la de la Tierra es de 150 millones de km. Es fácil comprender que la distancia más corta entre ambos planetas será igual a la diferencia (150-108), es decir, 42 millones de km, y que la más grande será igual a la suma (150 + 108), es decir, a 258 millones de km. Por consiguiente, el alejamiento de Venus de nosotros cambia dentro de estos límites. En su posición más próxima a la Tierra, Venus dirige hacia nosotros su lado no iluminado, y por esto la más grande de sus fases nos es totalmente invisible. Al salir de esta posición de "Venus nuevo", el planeta toma un aspecto falciforme, el de una hoz cuyo diámetro es tanto menor cuanto más ancha es la hoz. Venus no alcanza su mayor brillo cuando es visible como un disco entero, ni tampoco cuando su diámetro es máximo, sino en una fase intermedia. El disco entero de Venus es visible con un ángulo visual de 10"; la hoz mayor, con un ángulo de 64". El planeta alcanza su mayor brillo treinta días después de "Venus nuevo", cuando su diámetro angular es de 40" y el ancho angular de la hoz de 10". Entonces brilla 13 veces más intensamente que Sirio, la más brillante de todas las estrellas del cielo.

[Volver](#)

### Las oposiciones

Son muchos los que saben que la época de mayor brillo de Marte y de su mayor aproximación a la Tierra se repite aproximadamente cada quince años<sup>4</sup>.

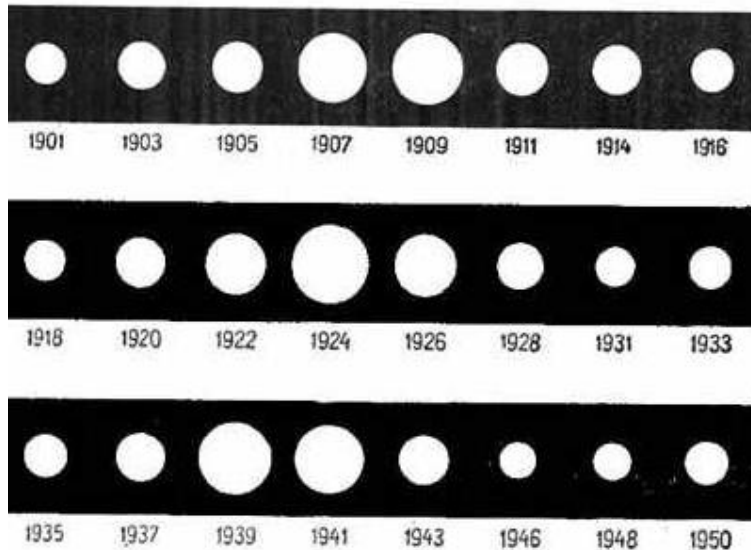


Figura 65. Cambios del diámetro aparente de Marte en el siglo XX.  
En 1909 1924 y 1939 hubo "oposiciones".

También es muy conocida la denominación astronómica de esta época: "oposición de Marte". Los años en que se produjeron las últimas "oposiciones" del planeta rojo fueron 1924, 1939 (figura 65) y 1956. Pero pocos saben por qué este hecho se repite cada 15 años. Sin embargo, la explicación matemática de este fenómeno es muy sencilla.

La Tierra completa una vuelta alrededor de su órbita en 365 días y Marte en 687 días. Si ambos planetas se encuentran una vez a la menor distancia, deben encontrarse nuevamente después de un espacio de tiempo que incluya un número entero de años, tanto terrestres como marcianos.

En otras palabras, es necesario resolver en números enteros las ecuaciones

$$365\frac{1}{4} x = 687 y$$

o

$$x = 1.88 y$$

de donde

$$x / y = 1.88 = 47 / 25$$

Transformando la última fracción en continua; tenemos

$$\frac{47}{25} = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{7 + \frac{1}{3}}}$$

Tomando los tres primeros términos, tenemos la aproximación

<sup>4</sup> A veces diecisiete años. (N. de la E.)

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{7}} = \frac{15}{8}$$

y deducimos que 15 años terrestres son iguales a 8 años marcianos, es decir, que las épocas de mayor aproximación de Marte deben repetirse cada 15 años. (Hemos simplificado un poco el problema, tomando como relación de ambos períodos de revolución 1.88 en lugar del valor más exacto, 1.8809.)

Por el mismo procedimiento se puede calcular también el período en que se repite la mayor aproximación de Júpiter. El año jovial es igual a 11.86 años terrestres (más exactamente 11.8622). Transformemos este número racional en una fracción continua:

$$11.86 = 11 \frac{43}{50} = 11 + \frac{1}{1 + \frac{1}{6 + \frac{1}{7}}}$$

Los tres primeros términos dan una aproximación de 83/7: Esto significa que la oposición de Júpiter se repite cada 83 años terrestres (o cada 7 años de Júpiter). En esos años Júpiter alcanza también su mayor brillo aparente. La última oposición de Júpiter se produjo a fines del año 1927. La siguiente caerá en el año 2010. La distancia de Júpiter a la Tierra en ese momento es igual a 587 millones de km. Esta es la menor distancia a que se puede encontrar de nosotros el más grande de los planetas del sistema solar.

[Volver](#)

### ¿Planeta o Sol pequeño?

Esta pregunta se puede plantear respecto a Júpiter, el más grande de los planetas de nuestro sistema. Este gigante; del cual podrían hacerse 1300 esferas del mismo volumen que la Tierra, con su colosal fuerza de gravitación mantiene girando en torno suyo un enjambre de satélites. Los astrónomos han descubierto en Júpiter 12 lunas: las cuatro mayores, que ya fueron descubiertas por Galileo hace tres siglos, se designan con los números romanos I, II, III, IV. Los satélites III y IV, por sus dimensiones, no desmerecen frente a un planeta verdadero como Mercurio. En la tabla siguiente se dan los diámetros de estos satélites, comparados con los diámetros de Mercurio y de Marte; al mismo tiempo se indican los diámetros de los dos primeros satélites de Júpiter y, también, el de nuestra Luna

<u>Cuerpo</u>	<u>Diámetro</u>
Marte	<u>(km)</u>
IV satélite de Júpiter	6600
III satélite de Júpiter	5150
Mercurio	5150
La Luna	4700
I satélite de Júpiter	3700
II satélite de Júpiter	3480
	3220

La figura 66 nos da una ilustración de esa misma tabla. El círculo mayor es Júpiter; cada uno de los circulitos alineados en su diámetro representa a la Tierra; a la derecha está la Luna. Los circulitos del lado izquierdo de Júpiter son sus cuatro satélites mayores. A la derecha de la Luna están Marte y Mercurio. Al examinar este grabado debe tenerse en cuenta que no se

trata de un diagrama, sino de un simple dibujo: las relaciones entre las superficies de los círculos no dan una idea exacta de las relaciones entre los volúmenes de las esferas. Los volúmenes de las esferas se relacionan entre sí como los cubos de sus diámetros.

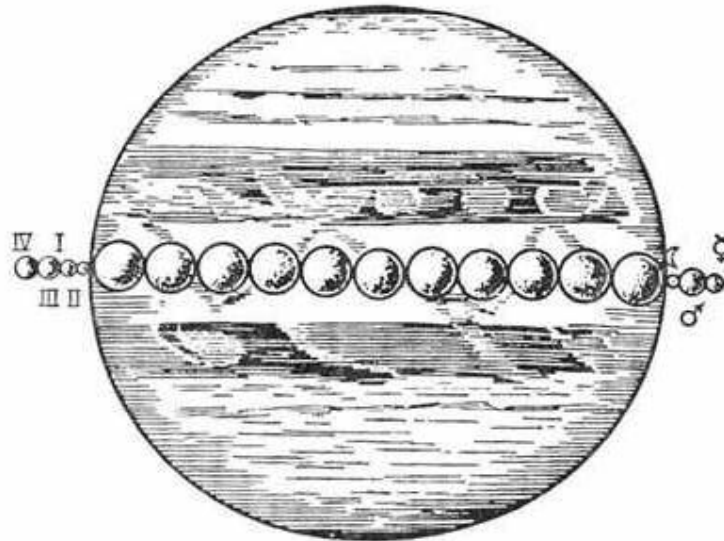


Figura 66. Las dimensiones de Júpiter y de sus satélites (a la izquierda) en comparación con las de la Tierra (a lo largo del diámetro) y las de la Luna, Marte y Mercurio (a la derecha).

Si el diámetro de Júpiter es 11 veces mayor que el diámetro de la Tierra, su volumen es  $11^3$  veces mayor, es decir, 1300 veces mayor.

De acuerdo con esto, debe corregirse la impresión visual de la figura 66, y entonces podrían ser debidamente apreciadas las gigantescas dimensiones de Júpiter.

En lo que se refiere a la potencia de Júpiter como centro de gravitación, resulta imponente, si se consideran las distancias a que giran alrededor de este planeta gigante sus lunas. He aquí una tabla de estas distancias

<b><u>Distancias</u></b>	<b><u>Kilómetros</u></b>	<b><u>Comparación</u></b>
De la Tierra a la Luna	380.000	1
Del III satélite a Júpiter	1.070.000	3
Del IV satélite de Júpiter	1.900.000	5
Del IX satélite de Júpiter	24.000.000	63

Se ve que el sistema de Júpiter tiene unas dimensiones 63 veces mayores que el sistema Tierra-Luna; tan extendida familia de satélites no la posee ningún otro planeta.

No sin fundamento, pues, se compara a Júpiter con un Sol pequeño. Su masa es 3 veces mayor que la masa de todos los planetas restantes tomados en conjunto, y si de golpe desapareciera el Sol, su lugar podría ser ocupado por Júpiter, que mantendría a todos los planetas girando a su alrededor, si bien lentamente, como nuevo cuerpo central del sistema. Hay también rasgos de semejanza entre Júpiter y el Sol en cuanto a la estructura física. La densidad media de su materia es de 1.35 con relación al agua, próxima a la densidad del Sol (1.4). Sin embargo, el fuerte aplastamiento de Júpiter hace suponer que posee un núcleo denso, rodeado de una gruesa capa de hielo y de una gigantesca atmósfera.

No hace mucho tiempo, la comparación entre Júpiter y el Sol fue llevada más lejos; se supuso que este planeta no está cubierto por una corteza sólida y que apenas si acaba de

salir del estado de incandescencia. La idea que en la actualidad se tiene de Júpiter es precisamente la contraria: la medida directa de su temperatura mostró que es extremadamente baja: ¡140 centígrados por debajo de cero! Es cierto que se trata de la temperatura de las capas de nubes que nadan en la atmósfera de Júpiter.

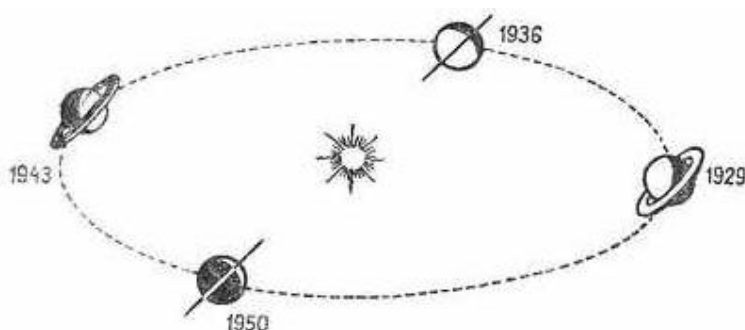
La baja temperatura de Júpiter hace difícil la explicación de sus particularidades físicas: las tormentas de su atmósfera, las franjas, las manchas, etc. Los astrónomos se encuentran ante una verdadera madeja de enigmas.

No hace mucho, en la atmósfera de Júpiter (y también en la de su vecino Saturno) fue descubierta la presencia indudable de una gran cantidad de amoníaco y metano<sup>5</sup>.

[Volver](#)

### La desaparición de los anillos de Saturno

En el año 1921 se propagó un rumor sensacional: ¡Saturno había perdido sus anillos! Y no sólo esto: los fragmentos del anillo destruido volaban por el espacio sideral en dirección al Sol y en su camino caerían sobre la Tierra. Se indicaba incluso el día en que debía producirse el encuentro catastrófico...



*Figura 67. Posiciones que ocupan los anillos de Saturno con relación al Sol durante una revolución de este planeta por su órbita (29 años).*

Esta historia puede servir de ejemplo característico de como se propagan las noticias falsas. El origen de este rumor sensacional es muy simple: en el año mencionado el triple anillo de Saturno dejó de ser visible durante un corto tiempo, "desapareció", según la expresión del calendario astronómico; se interpretó esta expresión literalmente, como una desaparición física, es decir, como una ruptura del anillo, y se adornó posteriormente el suceso con detalles que llegaban incluso a la catástrofe universal, hablándose de la caída de los fragmentos del anillo en el Sol y de su inevitable encuentro con la Tierra.

¡A qué alboroto dio lugar la inocente información del calendario astronómico que anunciaba la desaparición óptica de los anillos de Saturno! Pero ¿cuál era la causa de esta desaparición? Los anillos de Saturno son muy delgados, su espesor mide sólo dos o tres decenas de kilómetros; en comparación con su ancho, tienen la delgadez de una hoja de papel. Por esto, cuando los anillos se colocan de perfil al Sol, sus superficies superiores e inferiores no son iluminadas, y los anillos se hacen invisibles. También resultan invisibles cuando se colocan de perfil al observador terrestre.

Los anillos de Saturno presentan una inclinación de  $27^\circ$  respecto al plano de la órbita de la Tierra, pero a lo largo de una revolución (29 años) por su órbita, en dos puntos diametralmente opuestos, el planeta coloca los anillos de perfil al Sol y al observador

<sup>5</sup> Aún más significativo es el contenido en metano de la atmósfera de los planetas más alejados, de Urano y, particularmente, de Neptuno. En el año 1944 fue descubierta una atmósfera de metano en Titán, el más grande de los satélites de Saturno. (N. R.)

terrestre (figura 67), y, en otros dos puntos situados a 90° de los primeros, los anillos, por el contrario, muestran al Sol y a la Tierra su mayor ancho, "se abren", al decir de los astrónomos.

[Volver](#)

### **Anagramas astronómicos**

La desaparición de los anillos de Saturno dejó en su día perplejo a Galileo, al que faltó muy poco para descubrir este rasgo particularmente notable del planeta, pero que no pudo llegar a hacerlo debido a la incomprensible desaparición de los anillos.

Esta historia es muy interesante. En aquel tiempo era muy frecuente tratar de reservarse el derecho de primacía en cualquier descubrimiento sirviéndose de un original artificio. Cuando llegaba a descubrir algo que aún necesitaba de confirmación posterior, el hombre de ciencia, por temor a que otro se adelantara, recurría a la ayuda de anagramas (trasposiciones de letras): comunicaba sucintamente la esencia de su descubrimiento en forma de anagrama, cuyo verdadero sentido era conocido sólo por él mismo. Esto daba al hombre de ciencia la posibilidad, si no tenía tiempo de confirmar su descubrimiento, de poder demostrar su prioridad en el caso de que apareciera otro pretendiente. Cuando finalmente se convencía de la legitimidad del hallazgo original, descubría el secreto del anagrama.

Observando con su imperfecto telescopio que Saturno tenía cerca algún cuerpo agregado, Galileo se apresuró a "patentar" este descubrimiento e hizo públicos el siguiente juego de letras

### **Smaismrmielmepoetaleumibuvnenugttaviras**

Adivinar lo que se esconde tras estas letras es totalmente imposible. Naturalmente, se pueden ensayar todos los cambios de lugar de estas 39 letras y de este modo descifrar la frase que proponía Galileo; pero eso exigiría realizar un trabajo enorme. Quien conozca la teoría combinatoria puede calcular el número total de las distintas permutaciones (con repetición) posibles<sup>6</sup>. Son

$$\frac{39!}{3! \times 5! \times 4! \times 4! \times 2! \times 2! \times 5! \times 3! \times 3! \times 2! \times 2!}$$

Este número está formado aproximadamente por 35 cifras (recordemos que el número de segundos de un año está formado sólo por 8 cifras!). Se ve claramente lo bien que Galileo se aseguró el secreto de su hallazgo.

Un contemporáneo del sabio italiano, Kepler<sup>7</sup>, con paciencia incomparable, dedicó muchos esfuerzos a descubrir el sentido oculto de la comunicación de Galileo, y creyó haberlo logrado cuando con las letras publicadas, despreciando dos, formó esta frase en latín

### **Salve, umbistineum geminatum Martia proles (Os saludo, hijos gemelos de Marte)**

<sup>6</sup> Quizá no lo hizo público, sino que lo envió por carta a Kepler, detalle interesante por lo que sigue. (Nota de la Editorial soviética.)

<sup>7</sup> Es evidente que Kepler utilizó para esto la suposición de una progresión en el número de los satélites de los planetas; pensando que la Tierra tenía un satélite y que Júpiter tenía 4, creyó natural la existencia de dos satélites en el planeta intermedio, Marte. Un razonamiento similar llevó también a otros pensadores a sospechar la presencia de dos satélites en Marte. En la fantasía astronómica Micromegas, de Voltaire (1750), encontramos una alusión a esto, pues el viajero imaginario, al acercarse a Marte, vio "dos lunas tributarias de este planeta hasta entonces escondidas a la mirada de nuestros astrónomos". En los Viajes de Gulliver, escritos años antes por Swift (1720), se tiene algo parecido: los astrónomos de Lupata "descubrieron dos satélites que giran alrededor de Marte". Estos interesantes hallazgos tuvieron plena confirmación solamente en 1877, cuando Hall descubrió la existencia de los dos satélites de Marte con ayuda de un potente telescopio.

Kepler quedó convencido de que Galileo había descubierto los dos satélites de Marte cuya existencia él mismo sospechaba) (en realidad, fueron descubiertos dos siglos y medio después). Sin embargo, el ingenioso Kepler esta vez no llegó a la verdad. Cuando Galileo descubrió finalmente el secreto de su comunicación resultó que la frase, despreciando dos letras, era la siguiente

**Altissimum planetam tergeminum observavi  
(Observé triple el más alto de los planetas)**

Por la escasa potencia de su telescopio, Galileo no podía explicarse el verdadero significado de esta "triple" aparición de Saturno, y cuando pasados algunos años estos agregados laterales del planeta desaparecieron completamente, Galileo creyó que se había equivocado y que Saturno no tenía ningún cuerpo agregado.

La gloria de descubrir los anillos de Saturno le cupo medio siglo después a Huygens. A semejanza de Galileo, no publicó inmediatamente su descubrimiento, sino que ocultó su hallazgo en escritura cifrada:

**Aaaaaaaccccddeeeeghiiiiiiiiimnnnnnnnnnnnooooppqrrstttuuuu**

Pasados tres años, convencido de la validez de su descubrimiento, Huygens aclaró el sentido de su comunicación

**Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato.**

*(Rodeado por un anillo delgado, aplastado, que no lo toca en ninguna parte, inclinado sobre la elíptica).*

[Volver](#)

**Un planeta situado más allá de Neptuno**

En la primera edición de este libro (1929) escribí que el último planeta conocido del sistema solar era Neptuno, que se encuentra 30 veces más lejos del Sol que la Tierra. Ahora no puedo repetir esto, pues en 1930 se agregó a nuestro sistema solar un nuevo miembro, el noveno planeta mayor, que gira alrededor del Sol más allá de Neptuno.

Este descubrimiento no fue totalmente inesperado. Hacía tiempo que los astrónomos se inclinaban a pensar en la existencia de un planeta desconocido más allá de Neptuno. Hace poco más de cien años se consideraba a Urano como el último planeta del sistema solar. Algunas irregularidades en su movimiento llevaron a sospechar la existencia de un planeta más lejano aún, cuya atracción alteraba la trayectoria calculada de Urano.

A la investigación matemática del problema por el matemático inglés Adams y por el astrónomo francés Le Verrier siguió un brillante descubrimiento; el planeta sospechado fue visto en el telescopio. Un mundo descubierto por el cálculo, "en el extremo de la pluma", se manifestó a la vista humana.

Así fue descubierto Neptuno. Posteriormente se vio que la influencia de Neptuno no explicaba completamente todas las irregularidades del movimiento de Urano. Entonces surgió la idea de la existencia de otra planeta transneptuniano. Era necesario hallarlo, y los matemáticos empezaron a trabajar en este problema. Fueron propuestas varias soluciones que situaban al noveno planeta a diferentes distancias del Sol y que atribuían distintas masas al cuerpo celeste buscado.

En el año 1930 (más exactamente, a fines de 1929), el telescopio sacó por fin de las tinieblas en los confines del sistema solar un nuevo miembro de la familia planetaria, al que se le dio el nombre de Plutón. Este descubrimiento fue hecho por el joven astrónomo Tombaugh.



Plutón gira en una trayectoria muy próxima a una de las órbitas que le fueron asignadas previamente. Sin embargo de acuerdo con los especialistas, no, se puede ver en esto un éxito del cálculo; la coincidencia de las órbitas en este caso no es más que una feliz casualidad.

¿Qué sabemos de este mundo recién descubierto? Hasta ahora, poco. Se encuentra tan alejado de nosotros y es iluminado tan débilmente por el Sol, que aun con los más potentes instrumentos resulta difícil medir su diámetro: Éste resultó ser igual a 5900 km, o sea, a 0.47 diámetros terrestres.

Plutón se mueve alrededor del Sol por una órbita bastante alargada (de excentricidad 0.25), notablemente inclinada ( $17^\circ$ ) respecto al plano de la órbita terrestre, a una distancia del Sol 40 veces mayor que la Tierra. Cerca de 250 años emplea el planeta en recorrer este enorme camino.

En el cielo de Plutón el Sol brilla 1600 veces más débilmente que en la Tierra. Sé ve como un pequeño disco de 45 segundos de ángulo, es decir, del mismo tamaño, aproximadamente, que nosotras vemos a Júpiter. Es interesante, sin embargo, establecer quién brilla más, si el Sol en Plutón o la Luna llena en la Tierra.

Resulta que el lejano Plutón no está tan desprovisto de luz solar como podría pensarse. La Luna llena brilla en la Tierra 440000 veces más débilmente que el Sol. En el cielo mismo de Plutón, el astro diurno es 1600 veces más débil que en la Tierra. Esto quiere decir que el brillo de la luz solar en Plutón es igual a

$$440000 / 1600 = 275$$

es decir, 275 veces más 1600 intensa que la luz de la Luna llena en la Tierra. Si el cielo en Plutón resultara ser tan claro como en la Tierra (esto es verosímil, ya que Plutón al parecer está desprovisto de atmósfera), la iluminación diurna de este planeta sería igual a la iluminación de 275 Lunas llenas, y, al mismo tiempo, 30 veces más clara que la más clara de las noches blancas de Leningrado. Llamar a Plutón el rey de la noche eterna es, por lo tanto, erróneo.

[Volver](#)

### Los planetas enanos

Los nueve planetas mayores de que hasta ahora hemos hablado no constituyen toda la población planetaria de nuestro sistema solar. Sólo son sus más notables representantes desde el punto de vista de las dimensiones. Aparte esto, alrededor del Sol giran a diversas distancias numerosos planetas de tamaño mucho menor. Estos enanos del mundo de los planetas se llaman asteroides (literalmente, "parecidos a estrellas"), o también, "planetas menores". El más notable de ellos, Gires, tiene un diámetro de 770 km; es de volumen mucho menor que la Luna, aproximadamente, un número de veces igual al que la Luna misma es menor que la Tierra.

Ceres, el primero de los planetas menores, fue descubierto en la primera noche del siglo pasado (el 1° de enero del año 1801). Durante el siglo XIX fueron descubiertos más de 400 asteroides. Todos los planetas menores giran alrededor del Sol, entre las órbitas de Marte y Júpiter. Por esta razón, hasta no hace mucho tiempo se daba por cierto que los asteroides estaban concentrados, en forma de anillo, en el ancho espacio existente entre las órbitas de los dos planetas mencionados.

En el siglo XX, y en particular en los últimos años, se ampliaron los límites de la franja de asteroides. Ya Eros, descubierto a fines del siglo pasado (en el año 1898), apareció fuera de dichos límites, puesto que una parte importante de su órbita se encuentra dentro de la órbita de Marte. En 1920 los astrónomos dieron con el asteroide Hidalgo, cuyo camino cruza la órbita de Júpiter y llega cerca de la órbita de Saturno. El asteroide Hidalgo es notable por otro motivo: entre todos los planetas conocidos, posee una de las órbitas más

extraordinariamente alargadas (su excentricidad es igual a 0.66), y muy inclinada respecto al plano de la órbita terrestre, con la que forma un ángulo de  $43^\circ$ .

Observemos de paso que el nombre dado a este planeta lo fue en honor de Hidalgo y Costilla, glorioso héroe de las luchas de Méjico por su independencia, muerto en el año 1811.

Todavía se ensanchó más la zona de los planetas menores en el año 1936, cuando fue descubierto un asteroide con una excentricidad de 0.78. El nuevo miembro de nuestro sistema solar recibió la denominación de Adonis. Una particularidad de este nuevo planeta menor es que, en el punto más alejado de su camino, se separa del Sol casi a la distancia de Júpiter y, en su punto más próximo, pasa cerca de la órbita de Mercurio.

Finalmente, en 1949 fue descubierto el planeta menor Ícaro, que tiene una órbita excepcional. Su excentricidad es igual a 0.83; su máximo alejamiento del Sol es dos veces mayor que el radio de la órbita terrestre, y el mínimo, alrededor de un quinto de la distancia de la Tierra al Sol. Ninguno de los planetas conocidos se acerca tanto al Sol como Ícaro.

El sistema de registro de los planetas recién descubiertos no está desprovisto de interés general, puesto que puede ser aplicado con éxito para fines no astronómicos. Primeramente se escribe el año del descubrimiento del planeta, y después la letra que señala la mitad del mes de la fecha de su descubrimiento (el año está dividido en 24 medios meses, que se indican con las sucesivas letras del alfabeto).

Como en el transcurso de medio mes se descubren frecuentemente varios planetas menores, se señalan con una segunda letra, por orden alfabético. Si las segundas letras no bastan, se les agregan números al lado. Por ejemplo 1932 EA<sub>1</sub>, es el asteroide núm. 25, descubierto en el año 1932, en la primera mitad de marzo. Tras el cálculo de la órbita del planeta recién descubierto, éste recibe un número de orden y después un nombre.

De la totalidad de los planetas menores, hasta ahora seguramente sólo una, pequeña parte es accesible a los instrumentos astronómicos; los restantes escapan a las redes de los cazadores. De acuerdo con los cálculos, el número de asteroides existentes en el sistema solar debe ser del orden de 40 a 50000.

Hasta el momento el número de planetas enanos descubiertos por los astrónomos pasa de mil quinientos; de ellos, más de cien fueron descubiertos por los astrónomos del observatorio de Simeiz (en Crimea, a orillas del mar Negro), principalmente por el esfuerzo del entusiasta cazador de asteroides G. N. Neuymin. El lector no se sorprenderá si encuentra en la lista de los planetas menores nombres tales como "Vladilen" (en honor de Vladimir Ilich Lenin), y también "Morosov" y "Figner" (en honor de los célebres revolucionarios rusos), "Simeiz" y otros. Por el número de los asteroides descubiertos, Simeiz ocupa uno de los principales puestos entre los observatorios del mundo; por el estudio de los problemas teóricos relativos a los asteroides, la astronomía soviética también ocupa un puesto de importancia en la ciencia mundial.

El Instituto de Astronomía Teórica de la Academia de Ciencias de la URSS (en Leningrado) predice desde hace muchos años las posiciones de gran número de planetas menores y rectifica la teoría de sus movimientos. El Instituto publica anualmente las posiciones prefijadas (las llamadas "efemérides") y las envía a todos los observatorios del mundo. Las dimensiones de los planetas menores varían en extremo. Los grandes, como Ceres o Palas (490 km de diámetro), son pocos. Unos 70 asteroides poseen un diámetro mayor de 100 km. La mayor parte de los planetas menores conocidos tienen un diámetro de 20 a 40 km. Pero hay muchos del todo "minúsculos" (entre comillas, porque en labios del astrónomo esta palabra tiene un valor relativo). Aunque falta mucho aún para descubrir todos los miembros del anillo de asteroides, hay sin embargo razones para afirmar que la masa total de los asteroides, de los descubiertos y los no descubiertos, constituye cerca de 4/100 de la masa del globo terrestre. Se supone que hasta ahora se ha descubierto no más del 5% del número de asteroides que pueden ser captados por los telescopios contemporáneos.

"Pudiera pensarse -escribe nuestro mejor conocedor de estos pequeños planetas, G. N. Neuymin, que las propiedades físicas de todos los asteroides son aproximadamente las

mismas. En realidad, nos encontramos con una variedad sorprendente. Así, por ejemplo, la capacidad de reflexión determinada para los cuatro primeros asteroides indica que Ceres y Palas reflejan la luz como las rocas montañosas oscuras de la Tierra, Juno como las rocas claras y Vesta en forma semejante a las nubes blancas. Esto es tanto más enigmático cuanto que los asteroides, por su pequeñez, no pueden mantener a su alrededor una atmósfera. Sin duda están desprovistos de ella, y toda la diferencia en la capacidad de reflexión debe atribuirse a los materiales mismos de que está constituida la superficie del planeta."

Algunos planetas menores presentan fluctuaciones de brillo que son testimonio de su movimiento de rotación y de su forma irregular.

[Volver](#)

### **Nuestros vecinos más próximos**

El asteroide Adonis mencionado anteriormente se distingue de los demás por su órbita, que no sólo es extraordinariamente grande, sino alargada como la de un cometa. Es notable también porque pasa muy cerca de la Tierra. En el año de su descubrimiento, Adonis pasó a una distancia de 1½ millones de km de la Tierra. Es cierto que la Luna está más cerca de nosotros; pero la Luna, aunque es mucho mayor que los asteroides, no tiene el rango de éstos, no es un planeta independiente, sino el satélite de un planeta. Otro asteroide, Apolo, tiene también derecho a integrar la lista de los planetas más próximos a la Tierra. Este asteroide pasó, el año en que fue descubierto, a una distancia de sólo 3 millones de km de la Tierra. Esta distancia debe considerarse (en la escala planetaria) como muy corta, puesto que Marte no se aproxima a la Tierra a menos de 55 millones de kilómetros y Venus nunca pasa a menos de 40 millones de kilómetros de nosotros.

Es interesante notar que este asteroide se acerca a Venus todavía mucho más: a sólo 200 000 km, la mitad de la distancia de la Luna a la Tierra! Mayor acercamiento de los planetas en nuestro sistema no lo conocemos.

Este asteroide vecino nuestro es también notable por ser, uno de los más pequeños planetas catalogados por los astrónomos. Su diámetro no es mayor de 2 km, y aun quizá menor.

En 1937 fue descubierto el asteroide Hermes, que en ocasiones puede acercarse a la Tierra a una distancia del mismo orden que la que nos separa de la Luna (500 000 km). Su diámetro no excede de 1 km. Conviene observar en este ejemplo el valor que tiene en el lenguaje astronómico la palabra "pequeño". Un asteroide minúsculo como éste, con un volumen de sólo 0.52 km<sup>3</sup>, es decir, de 520.000.000 m<sup>3</sup>, si fuera de granito, pesaría aproximadamente 1.500.000.000 toneladas.

Con este material podrían hacerse 300 monumentos como la pirámide de Cheops. Ya ven ustedes cómo ha de entenderse la palabra "pequeño" cuando es utilizada por los astrónomos.

[Volver](#)

### **Los acompañantes de Júpiter**

Entre los 1600 asteroides conocidos hasta ahora se destaca por sus notables movimientos un grupo formado por quince planetas menores que recibieron denominaciones de héroes de la guerra de Troya: Aquiles, Patroclo, Héctor, Néstor, Príamo, Agamenón, etc. Cada "troyano" gira alrededor del Sol de tal modo, que el asteroide, Júpiter y el Sol, en cualquier momento, ocupan los vértices de un triángulo equilátero. Los "troyanos" se pueden considerar como acompañantes particulares de Júpiter, al que escoltan manteniéndose a gran distancia: algunos se encuentran 60° delante de Júpiter; otros van detrás, igual número de grados, y todos completan una vuelta alrededor del Sol en el mismo tiempo.

El equilibrio de ese triángulo planetario es interesante. Si un asteroide saliera de su posición, la fuerza de gravitación lo haría volver a su sitio.

Mucho antes del descubrimiento de los "troyanos", la posibilidad de semejante equilibrio móvil de tres cuerpos sometidos a la gravitación fue predicha por el matemático, francés

Lagrange, en virtud de investigaciones teóricas por él realizadas. Lagrange estudió este caso como un problema matemático interesante, y pensó que quizás en algún lugar del espacio se daba realmente una relación semejante. La búsqueda cuidadosa de los asteroides condujo al descubrimiento, dentro de los límites del sistema planetaria mismo, de un ejemplo real del caso previsto teóricamente por Lagrange. Esto pone claramente de manifiesto la importancia que tiene para el desarrollo de la astronomía el estudio cuidadoso de los numerosos cuerpos celestes comprendidos en la denominación de planetas menores.

[Volver](#)

### Los cielos ajenos

Ya hemos efectuado un vuelo imaginario a la superficie de la Luna y echado desde allá una mirada a nuestra Tierra y a otros astros.

Visitemos ahora mentalmente los planetas del sistema solar y admiremos desde allí el espectáculo del cielo.

Empecemos por Venus. Si la atmósfera fuera allí suficientemente transparente, veríamos el disco del Sol con doble superficie de como lo vemos en nuestro cielo (figura 68).

En correspondencia con esto, el Sol derrama sobre Venus doble cantidad de calor y de luz que sobre la Tierra. En el cielo nocturno de Venus nos sorprendería una estrella de brillo extraordinario. Es la Tierra, que brilla allí con luz mucho más intensa que Venus para nosotros, aunque las dimensiones de ambos planetas son casi las mismas. Es fácil comprender por qué esto es así.

Venus gira alrededor del Sol más cerca que la Tierra. Por esta razón, en la época de su mayor aproximación a la Tierra no podemos verlo, pues dirige hacia nosotros su parte no iluminada. Tiene que alejarse un poco a un lado para hacerse visible, y entonces su luz nos llega solamente en forma de una hoz fina que constituye una parte pequeña del disco de Venus.

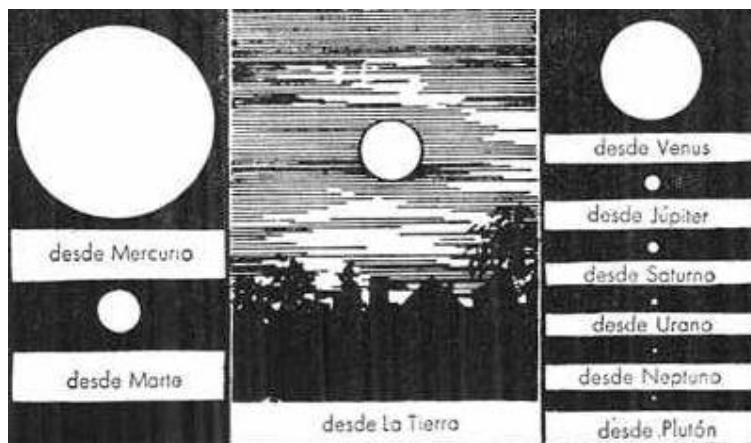


Figura 68. Dimensiones aparentes del Sol desde la Tierra y desde otros planetas.

Nuestra Tierra, en el cielo de Venus, en la época de su mayor aproximación a éste, brilla como un disco entero, igual que para nosotros Marte cuando se halla en oposición. En resumen, la Tierra, en el cielo de Venus, encontrándose en su fase plena, brillará seis veces más intensamente que Venus para nosotros en la época de su mayor brillo, siempre que el cielo de nuestro vecino sea completamente claro. Sin embargo, sería erróneo pensar que el brillo de la Tierra, regando copiosamente la mitad nocturna de Venus, puede ser causa de su "luz cenicienta". La iluminación de Venus por la Tierra es de igual intensidad que la iluminación producida por una bujía normal a una distancia de 35 m. Esto, evidentemente, no es suficiente para producir el fenómeno de la "luz cenicienta".

En el cielo de Venus, a la luz de la Tierra se le añade frecuentemente la luz de nuestra Luna, la cual brilla allí cuatro veces más que Sirio. Es dudoso que haya en todo el sistema solar un cuerpo más brillante que el astro doble Tierra-Luna que embellece el cielo de Venus. Un observador situado en Venus vería, una buena parte del tiempo, la Tierra y la Luna separadas, y con el telescopio distinguiría además detalles de la superficie lunar.

Otro planeta que brilla mucho en el cielo de Venus es Mercurio, que viene a ser su lucero matutino y vespertino. A propósito de esto, digamos que también desde la Tierra Mercurio se ve como una estrella brillante ante la cual resulta pálida la luz de Sirio. Este planeta brilla en Venus casi tres veces más intensamente que en la Tierra. En compensación, Marte brilla con luz  $2\frac{1}{2}$  veces más débil, casi más apagado que para nosotros Júpiter.

En lo que se refiere a las estrellas fijas, el contorno de las constelaciones es exactamente el mismo en el cielo de todos los planetas del sistema solar. Desde Mercurio, desde Júpiter, desde Saturno, desde Neptuno, desde Plutón, veríamos los mismos dibujos formados por las estrellas. Tan grande es el alejamiento de las estrellas en comparación con las distancias planetarias.

Salgamos de Venus hacia el pequeño Mercurio; entramos en un extraño mundo desprovisto de atmósfera que no conoce la sucesión de los días y las noches. El Sol pende allí inmóvil en el cielo, como un disco gigantesco, seis veces mayor (en superficie) que en la Tierra (figura 68). Nuestro planeta, en el cielo de Mercurio, brilla aproximadamente con doble intensidad que Venus en nuestro cielo. El mismo Venus brilla allí con desusado fulgor. Ninguna otra estrella o planeta en ninguna parte de nuestro sistema brilla tan deslumbrante como Venus en el cielo negro y sin nubes de Mercurio.

Dirijámonos a Marte. El Sol parecería desde allí un disco tres veces más pequeño en superficie que desde la Tierra (figura 68). Nuestro propio planeta brilla en el cielo de Marte como lucero matutino y vespertino, igual que Venus para nosotros, pero más pálido que éste, aproximadamente como nosotros vemos a Júpiter. La Tierra nunca se vería desde allí en su fase llena. Los marcianos no podrían ver en un momento dado más de las  $\frac{3}{4}$  partes de su disco. Desde Marte, nuestra Luna sería visible a simple vista como una estrella casi tan brillante como Sirio. Con el telescopio se verían las fases de la Tierra y las de la Luna. Mucha mayor atención despertaría en el cielo marciano Fobos, el satélite próximo a Marte. A pesar de sus ínfimas dimensiones (10 km de diámetro), se encuentra tan cerca de Marte que, en el período de "Fobos lleno", brilla 25 veces más claro que Venus para nosotros. El segundo satélite, Deimos, es mucho menos brillante, pero también eclipsa la luz de la Tierra en el cielo de Marte. A pesar de sus pequeñas dimensiones, Fobos está tan cerca de Marte que desde éste sus fases se verían muy bien. Un hombre de buena agudeza visual seguramente observaría también las fases de Deimos (Deimos sería visible desde Marte según un ángulo de  $1'$ , y Fobos, según un ángulo de cerca de  $6'$ ).

Antes de dirigirnos más lejos, detengámonos algo en la superficie del satélite más próximo a Marte. Veríamos desde allí un espectáculo absolutamente excepcional: en el cielo brillaría, cambiando rápidamente sus fases, un disco gigante, algunos miles de veces más brillante que nuestra Luna. Es el planeta Marte. Su disco ocupa en el cielo  $41^\circ$ , es decir, es 80 veces mayor que la Luna para nosotros. Sólo en el satélite más próximo a Júpiter se podría observar un espectáculo celeste semejante.

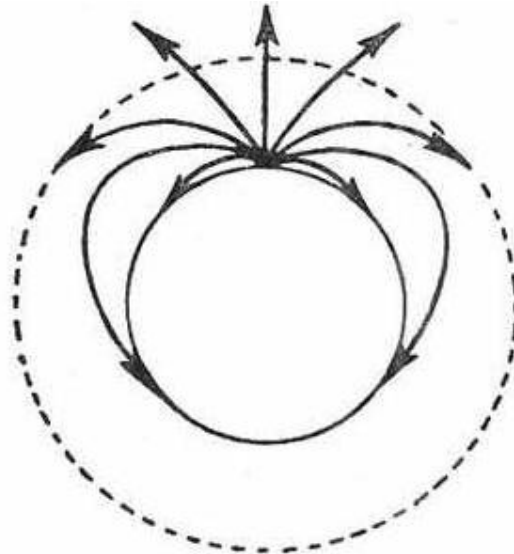
Trasladémonos ahora a la superficie del planeta gigante que acabamos de mencionar. Si el cielo de Júpiter fuera claro, el Sol se vería en él como un disco de superficie 25 veces menor que en nuestro cielo (figura 68), y otras tantas veces menos brillaría allí. Al breve día de 5 horas le sigue rápidamente la noche. Puestos a buscar sobre el fondo de estrellas los planetas conocidos, los encontraríamos, pero ¡qué cambiados!

Mercurio se perdería totalmente en los rayos del Sol; Venus y la Tierra podrían observarse con el telescopio sólo en los crepúsculos, pues se pondrían al mismo tiempo que el Sol<sup>8</sup>; y

---

<sup>8</sup> La Tierra brilla en el cielo de Júpiter como una estrella de octava magnitud.

Marte sería apenas visible. En compensación, Saturno rivalizaría ventajosamente en brillo con Sirio.



*Figura 69. Posible curvatura de los rayos luminosos en la atmósfera de Júpiter. (Sobre las consecuencias de este fenómeno, ver el texto).*

En el cielo de Júpiter ocupan un lugar importante sus lunas; los satélites I y II son aproximadamente tan brillantes como la Tierra en el cielo de Venus, el III es tres veces más brillante que la Tierra vista desde Venus, y los IV y V, varias veces más brillantes que Sirio. En cuanto a sus dimensiones, los diámetros aparentes de los cuatro primeros satélites serían mayores que el diámetro aparente del Sol. Los tres primeros satélites se sumergen en cada revolución en la sombra de Júpiter, de modo que en las fases de plenitud del disco nunca serían visibles. En este planeta también se producen eclipses totales de Sol, pero la zona de visibilidad de esos eclipses ocupa sólo una estrecha franja en la superficie de Júpiter. La atmósfera de Júpiter quizás no sea tan transparente como la de la Tierra, pues es demasiado alta y densa. La gran densidad de la atmósfera puede dar lugar en Júpiter a fenómenos ópticos muy originales debidos a la refracción de la luz. En la Tierra, la refracción de los rayos luminosos por la atmósfera es muy poco, importante y ocasiona solamente una elevación (óptica) de los astros en el cielo.

Pero por la mayor altura y densidad de su atmósfera, en Júpiter son posibles fenómenos ópticos mucho más notables. Los rayos que salen muy inclinados de un punto de su superficie (figura 69) no abandonan la atmósfera y se encorvan hacia la superficie del planeta como las ondas de radio en la atmósfera terrestre. Un observador que se encontrara en este punto podría ver algo inusitado. Le parecería que está en el fondo de una taza gigantesca. Dentro de la taza estaría distribuida casi toda la superficie del gigantesco planeta, cuyos contornos cerca de los bordes estarían muy apretados. Y sobre la taza se extendería el cielo, no el medio cielo que nosotros vemos, sino casi todo el cielo, aunque desdibujado y confuso en los bordes de la taza. El astro diurno nunca abandonaría este extraño cielo y el Sol de medianoche podría ser visto desde cualquier punto del planeta. Que realmente se den en Júpiter estas condiciones excepcionales, es cosa que hasta ahora, naturalmente, nadie puede afirmar con certeza.

Un espectáculo igualmente inusitado resultaría el mismo Júpiter visto desde sus satélites más próximos (figura 70).

Por ejemplo, desde el V satélite (el más cercano) el disco gigante del planeta tendría un diámetro casi noventa veces mayor que nuestra Luna<sup>9</sup> y brillaría sólo seis o siete veces más débilmente que el Sol. Cuando se columpiara sobre el horizonte con su borde inferior, su borde superior aparecería en la mitad de la bóveda celeste, y al sumergirse en el horizonte, el disco ocuparía la octava parte de éste. Sobre este disco, que giraría rápidamente, aparecerían de tiempo en tiempo circulitos oscuros, las sombras de las lunas de Júpiter, que no pueden, como es natural, oscurecer en forma notable al planeta gigante.



*Figura 70. Júpiter observado desde su tercer satélite.*

Trasladados al siguiente planeta, a Saturno, estudiemos sólo en qué forma se presentarían, a un observador situado en él, los famosos anillos de este planeta. Resulta, ante todo, que los anillos no serían visibles desde todos los puntos de la superficie de Saturno. Desde los polos hasta los paralelos  $64^\circ$  serían totalmente invisibles. En el límite de estos casquetes polares podría verse apenas el borde exterior del anillo externo (figura 71). A partir del paralelo  $64^\circ$  y hasta el paralelo  $50^\circ$ , las condiciones de visibilidad de los anillos aumentarían; siempre sería visible su mayor parte, y en el paralelo  $50^\circ$ , el observador podría ya admirar toda la extensión de los anillos, los cuales se presentarían allí en su ángulo mayor:  $12^\circ$ . Más cerca del ecuador del planeta, los anillos se reducirían para el observador, aunque se elevarían más en el horizonte. En el ecuador mismo de Saturno, podrían verse en forma de una franja muy estrecha que cruza la bóveda celeste de Oeste a Este y pasa por el cenit.

Lo dicho no da todavía una idea completa de las condiciones de visibilidad de los anillos. Es necesario recordar que sólo uno de los lados de los anillos está iluminado; el otro queda en la sombra. La parte iluminada es visible sólo desde la mitad de Saturno a la cual está dirigida.

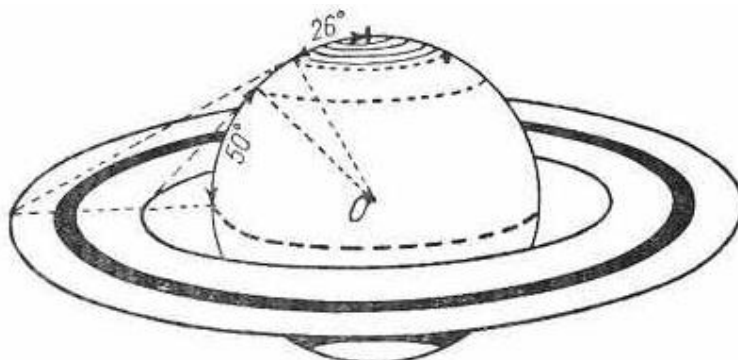
Así, pues, durante una mitad del largo año de Saturno sería posible ver los anillos sólo desde una mitad del planeta (el resto del año serían visibles desde la otra mitad), principalmente de día. En las breves horas en que los anillos fueran visibles de noche, se eclipsarían parcialmente en la sombra del planeta.

Finalmente, todavía queda un detalle interesante: la zona ecuatorial, durante varios años terrestres, queda oscurecida por los anillos.

El cuadro más fantástico del cielo, sin duda alguna, es el que descubriría un observador desde uno de los satélites más próximos a Saturno. Este planeta, con sus anillos, particularmente en las fases no llenas en que Saturno fuera visible en forma de hoz, constituiría un espectáculo como no se podría contemplar desde ningún otro punto de

<sup>9</sup> El diámetro angular de Júpiter observado desde este satélite es mayor de  $44^\circ$ .

nuestro sistema planetario. En el cielo se dibujaría una hoz gigante cruzada por las franjas estrechas de los anillos, que se observarían de perfil y, alrededor de ellos, aparecería un grupo de satélites de Saturno, también en forma de hoz pero de mucho más reducidas dimensiones.



*Figura 71. La visibilidad de los anillos de Saturno para distintos puntos de la superficie de este planeta. En las regiones polares, hasta el grado 64, los anillos son absolutamente invisibles.*

La siguiente lista indica, en orden decreciente, los brillos comparativos de distintos astros vistos desde diversos planetas.

- |                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Venus desde Mercurio          | 8. Mercurio desde Venus            |
| 2. La Tierra desde Venus         | 9. La Tierra desde Marte           |
| 3. La Tierra desde Mercurio      | <b>10. Júpiter desde la Tierra</b> |
| <b>4. Venus desde la Tierra.</b> | 11. Júpiter desde Venus            |
| 5. Venus desde Marte.            | 12. Júpiter desde Mercurio         |
| 6. Júpiter desde Marte.          | 13. Saturno desde Júpiter          |
| <b>7. Marte desde la Tierra</b>  |                                    |

Hemos destacado los números 4, 7 y 10, los planetas vistos desde la Tierra, porque, como su brillo nos es conocido, pueden servirnos como punto de comparación para apreciar la visibilidad de los astros en otros planetas.

La lista nos dice claramente que nuestro propio planeta, la Tierra, ocupa, en cuanto a brillo, uno de los primeros lugares en el cielo de los planetas más próximos al Sol; incluso en el cielo de Mercurio brilla con luz más viva que Venus y Júpiter para nosotros.

En la sección "La magnitud estelar de los planetas" (capítulo IV), volveremos a hablar con mayor precisión sobre la valoración del brillo de la Tierra y demás planetas.

Damos, finalmente, una serie de datos numéricos relativos al sistema solar que pueden servir como información para el lector<sup>10</sup>.

En las tablas de la página siguiente se dan datos sobre los planetas del sistema solar.

En la figura 72 se da una idea de cómo se ven los planetas con un telescopio no muy grande, de 100 aumentos. A la derecha, para comparación, se muestra la Luna tal cual se ve con un aumento similar (es necesario mantener el dibujo a la distancia de visión distinta, es decir, a 25 cm de los ojos).

<sup>10</sup> A quien desee completar sus conocimientos sobre el sistema solar, puedo recomendarle el detallado Curso de Astronomía General, del profesor S. N. Blazhko, Editorial Técnica del Estado, 1947



	<b>Sol</b>	<b>Luna</b>
Diámetro km	1.390.600	3.473
volumen (Tierra = 1)	1.301.200	0.0203
masa (Tierra = 1)	333.434	0.0123
densidad (agua = 1)	1.41	3.34.
Distancia media de la Tierra, km		384.400

Arriba, a la izquierda, está representado Mercurio, con el aumento indicado, en su mayor y en su menor alejamiento de nosotros. Debajo de él, Venus, y después, Marte, el sistema de Júpiter y Saturno con sus satélites mayores. (Para detalles sobre las dimensiones aparentes de los planetas, ver mi libro Física recreativa, libro 2, capítulo IX.)



*Mercurio en la posición más cercana (invisible) y en la más alejado*

*Venus en la posición más cercana (invisible), la mayor hoz visible y en la posición más alejada*

*Marte en la posición más cercana y en la más alejada*

*Júpiter con los 4 satélites mayores*

*Saturno con el satélite mayor*



Figura 72. Cómo se ven la Luna y los planetas con un telescopio de 100 aumentos. El dibujo debe situarse a 25 cm de los ojos; los discos de los planetas y la Luna (página de la derecha) aparecerán entonces como se ven en un telescopio del aumento indicado

EL SISTEMA PLANETARIO EN CIFRAS  
Dimensiones, Masa, Densidad, Satélites

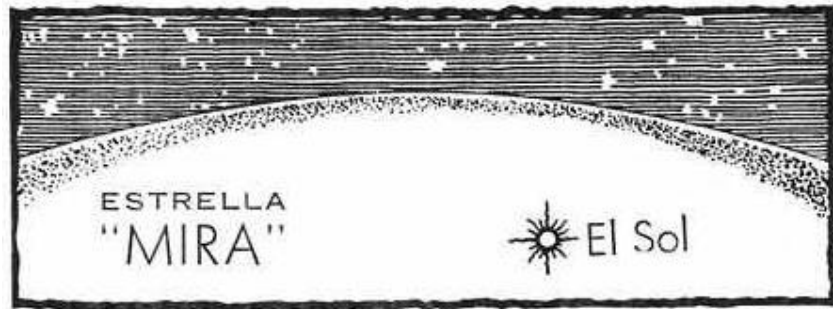
Nombre del planeta	Distancia media				Volumen (Tierra=1)	Masa (Tierra=1)	Densidad		No. de satélites
	Para la órbita, en segundos	Verdadero		Tierra=1			Tierra=1	Agua=1	
		en km	Tierra=1						
Mercurio	13 — 4.7	4700	0.37	0.05	0.054	1.00	5.5	—	
Venus	64 — 10	12400	0.97	0.90	0.814	0.92	5.1	—	
La Tierra	—	12757	1.00	1.00	1.000	1.00	5.52	1	
Marte	25 — 3.5	6600	0.52	0.14	0.107	0.74	4.1	2	
Júpiter	50 — 30.5	142000	11.2	1 295	318.4	0.24	1.35	12	
Saturno	20.5 — 15	120000	9.5	745	95.2	0.13	0.71	9	
Urano	4.2 — 3.4	51000	4.0	63	14.6	0.23	1.30	5	
Neptuno	2.4 — 2.2	55000	4.3	78	17.3	0.22	1.20	2	
Plutón	0.2 ?	5900	0.47	0.1	?	?	?	?	

Distancia, Revolución, Rotación, Gravedad  
(Continuación de la página anterior)

Nombre del planeta	Distancia media		Eccentricidad de la órbita	Duración de la revolución alrededor del Sol en años terrestres	Velocidad media orbital en km/s	Período de rotación alrededor del eje	Inclinación del ecuador respecto al plano de la órbita	Inercialidad de la gravedad (Tierra=1)
	en unidades astronómicas	en millas de km						
Mercurio	0.387	57.9	0.21	0.24	47.8	88 días	?	0.26
Venus	0.723	108.1	0.007	0.62	35	30 días?	?	0.90
La Tierra	1.000	149.5	0.017	1.00	29.76	23h 56min	23° 27'	1.00
Marte	1.524	227.8	0.093	1.88	24	24h 37min	25° 10'	0.37
Júpiter	5.203	777.8	0.048	11.86	13	9h 55min	3° 1'	2.64
Saturno	9.539	1 426.1	0.056	29.46	9.6	10h 14min	26° 45'	1.13
Urano	19.191	2 869.1	0.047	84.02	6.8	10h 48min	96° 0'	0.84
Neptuno	30.071	4 495.7	0.009	164.8	5.4	15h 48min	29° 36'	1.14
Plutón	39.458	5 899.1	0.25	247.7	4.7	?	?	?

[Volver](#)

## Capítulo Cuarto



## LAS ESTRELLAS

### Contenido

[Por qué las estrellas parecen "estrelladas"](#)

[Por qué las estrellas titilan y los planetas brillan serenos](#)

[¿Son visibles las estrellas durante el día?](#)

[Qué es la magnitud estelar](#)

[Álgebra estelar](#)

[El ojo y el telescopio](#)

[Las magnitudes estelares del Sol y de la Luna](#)

[El brillo verdadero de las estrellas y del Sol](#)

[La más brillante de las estrellas conocidas](#)

[La magnitud estelar de los planetas en el cielo terrestre y en los cielos ajenos](#)

[Por qué el telescopio no agranda las estrellas](#)

[Cómo fueron medidos los diámetros de las estrellas](#)

[Los gigantes del mundo estelar](#)

[Un cálculo sorprendente](#)

[La materia más pesada](#)

[Por qué las estrellas se llaman fijas](#)

[Unidades de medida de las distancias interestelares](#)

[El sistema de las estrellas más próximas](#)

[La escala del universo](#)

\* \* \*

### Por qué las estrellas parecen "estrelladas"

Mirando las estrellas a simple vista, las vemos rodeadas de rayos de luz. La causa de este aspecto radiante de las estrellas está en nuestros ojos, en la insuficiente transparencia del cristalino, que no tiene una estructura homogénea como un buen cristal, sino filamentosa. He aquí lo que decía sobre esto Helmholtz (en el tratado *Los progresos de la teoría de la visión*)

"Las imágenes de los puntos luminosos percibidas por los ojos presentan rayos irregulares. La causa de esto se encuentra en el cristalino, cuyas fibras están dispuestas radialmente en seis direcciones. Los rayos de luz que nos parece salen de los puntos luminosos, por ejemplo, de las estrellas, de fuegos lejanos, no son más que una manifestación de la estructura radiada del cristalino. Una prueba de lo general que es esta deficiencia de los ojos la tenemos en que a una figura radial casi todo el mundo la llama 'estrellada'".

Hay un procedimiento para poner remedio a esta deficiencia de nuestro cristalino y ver las estrellas desprovistas de rayos sin tener que recurrir a la ayuda del telescopio. Este procedimiento fue indicado hace 400 años por Leonardo da Vinci.

*"Mira, escribía él, las estrellas sin rayos luminosos. Esto se puede conseguir observándolas a través de una pequeña abertura hecha con la punta de una aguja fina y colocada lo más cerca posible del ojo. Verás las estrellas tan pequeñas, que ninguna otra cosa puede parecer menor."*

Esto no contradice lo dicho por Helmholtz sobre el origen de los "rayos de las estrellas". Por el contrario, la experiencia descrita confirma su teoría; mirando a través de una abertura muy pequeña, en el ojo solamente penetra un fino hacesillo luminoso que pasa a través de la parte central del cristalino y que por esto no sufre la influencia de su estructura radial<sup>1</sup>. Si nuestro ojo estuviera construido en forma más perfecta, no veríamos en el cielo "estrellas" sino puntos brillantes.

[Volver](#)

### **Por qué las estrellas titilan y los planetas brillan serenos**

Distinguir a simple vista las estrellas fijas de las "errantes", es decir, de los planetas<sup>2</sup>, es muy fácil, incluso no conociendo el mapa del cielo. Los planetas brillan con luz serena; las estrellas titilan ininterrumpidamente como si se encendieran y vacilaran, cambian su brillo, y las estrellas que brillan a escasa altura sobre el horizonte cambian además incesantemente de color.

*"Esta luz, dice Flammarion, ya brillante, ya débil, con fulgores intermitentes, ora blanca, ora verde, ora roja, como los chispeantes reflejos de un límpido diamante, anima la inmensidad del cielo y nos incita a ver las estrellas como ojos que miran hacia la Tierra."*

Particularmente brillantes y hermosas titilan las estrellas en las noches de helada y en la época de primavera, y también, después de las lluvias, cuando el cielo se queda rápidamente sin nubes<sup>3</sup>. Las estrellas cercanas al horizonte titilan más que las que brillan altas en el cielo; las estrellas blancas más que las amarillentas y las rojizas. Como el aspecto radiante, la titilación no es una propiedad inherente a las estrellas mismas; se origina en la atmósfera terrestre, a través de la cual los rayos provenientes de las estrellas deben pasar antes de alcanzar el globo del ojo. Si nos eleváramos por encima de la envoltura gaseosa variable a través de la cual miramos el espacio, no observaríamos la titilación de las estrellas: allá arriba brillan serenas, con luz fija.

La causa de la titilación es la misma que hace oscilar los objetos alejados cuando, en el verano, el Sol calienta fuertemente el suelo.

La luz de las estrellas tiene que pasar entonces a través, no de un medio homogéneo, sino de capas gaseosas de diferentes temperaturas, de diferente densidad, que es lo mismo que decir de distinto índice de refracción. Es como si en la atmósfera estuvieran esparcidos innumerables prismas ópticos, lentes convexas y cóncavas, que cambian incesantemente de posición. Los rayos de luz sufren en ellos innumerables desviaciones de la línea recta, ya

<sup>1</sup> Al hablar de los "rayos de las estrellas" no consideramos el rayo que parece extenderse hasta nosotros desde una estrella cuando la miramos con los ojos entornados; este fenómeno se debe a la difracción de la luz en las pestañas.

<sup>2</sup> El significado original de la palabra griega "planeta" es "errante".

<sup>3</sup> En verano la titilación intensa constituye una señal de la proximidad de la lluvia, e indica también la proximidad de un ciclón. Antes de la lluvia, las estrellas tienen más bien coloración azul; antes de un período de sequía, coloración verde. (Janevsky, Fenómenos luminosos en la atmósfera.)

concentrándose, ya dispersándose, lo cual da lugar a los cambios rápidos en el brillo de las estrellas. Y como la refracción se acompaña de la dispersión de los colores, junto con la fluctuación del brillo se observan también los cambios de color.

*"Existen, escribe el astrónomo de Pulka, G. A. Tijov, después de estudiar el fenómeno de la titilación, procedimientos que permiten contar el número de cambios de coloración que en determinado tiempo se producen en las estrellas que titilan. Resulta que estos cambios son extraordinariamente rápidos, y que su número oscila en muchos casos desde algunas decenas hasta cien y más por segundo. Se puede verificar esto por un sencillo procedimiento. Tomen un binocular y miren por él una estrella brillante, dando al extremo del objetivo un rápido movimiento circular. Entonces, en lugar de una estrella, se ve un anillo formado por muchas estrellas separadas y de variados colores. Con una menor titilación o con un movimiento muy rápido del binocular, el anillo estará formado por arcos de distintos colores, de longitudes grandes y pequeñas."*

Queda por explicar por qué los planetas, a diferencia de las estrellas, no titilan, sino que brillan serenos, con luz fija. Los planetas están mucho más cerca de nosotros que las estrellas; por eso se les ve, no como puntos, sino como circulitos luminosos, como discos, aunque de medidas angulares tan pequeñas a consecuencia de su brillo deslumbrante, que estas dimensiones angulares son casi imperceptibles.

Cada punto separado de uno de esos circulitos titila; pero los cambios de brillo y de color de los puntos separados se realizan independientemente unos de otros, en distintos momentos, y así, se compensan; la disminución del brillo de un punto coincide con el aumento del brillo de otro y, por lo tanto, la intensidad total de la luz del planeta no varía. De lo cual resulta el brillo constante, sin titilación, de los planetas. Es tanto como decir que no se ve titilar a los planetas porque titilan en muchos puntos a la vez, pero a distintos tiempos.

[Volver](#)

### **¿Son visibles las estrellas durante el día?**

Durante el día se encuentran sobre nuestras cabezas las mismas constelaciones que medio año atrás eran visibles de noche y que, seis meses más tarde, nuevamente embellecerán el cielo nocturno.

La atmósfera iluminada de la Tierra nos impide verlas, ya que las partículas de aire dispersan los rayos solares en mayor cantidad que la luz que nos envían las estrellas<sup>4</sup>.

Un sencillo experimento puede hacernos ver claramente esta desaparición de las estrellas a la luz del día. En la pared lateral de un cajoncito de cartón se hacen agujeritos dispuestos en forma semejante a alguna constelación y se pega por fuera una hoja de papel blanco. El cajón se coloca en una pieza oscura y se ilumina interiormente. En la pared agujereada aparecen entonces nítidamente los agujeritos iluminados desde el interior, que son como las estrellas en el cielo nocturno. Pero, sin dejar de iluminar interiormente, basta encender en la pieza una lámpara suficientemente luminosa para que las estrellas artificiales de la hoja de papel desaparezcan del todo esto mismo viene a hacer la "luz del día" que apaga las estrellas.

A menudo se oye hablar de que, desde el fondo de una mina profunda, de un pozo, de una chimenea alta, etc., se pueden distinguir las estrellas durante el día. Esta extendida

---

<sup>4</sup> Observando el cielo desde una montaña alta, es decir, teniendo debajo la parte más densa y polvorienta de la atmósfera, las estrellas más brillantes se pueden ver también durante las horas del día. Así, desde la cumbre del Ararat (5 km de altura), se distinguen bien las estrellas de primera magnitud a las dos de la tarde; el cielo es allí azul oscuro. (De modo entraño, sin embargo, el capitán del estratóstato "Osoaviajim", encontrándose a una altura de 21 km, señaló que ninguna estrella era visible, aunque el cielo era allí "negro violáceo" según los apuntes de Fedoseenko y Vasenko.)

afirmación, apoyada en la autoridad de personas de renombre, fue hace poco tiempo sometida a comprobación, pero no resultó confirmada.

En realidad, ninguno de los autores que escribió sobre esto, desde Aristóteles en la antigüedad hasta John Herschel en el siglo XIX, observó por sí mismo las estrellas en semejantes condiciones. Todos confiaron en el testimonio de terceras personas. Sin embargo, cuán poco se puede esperar del testimonio de estos testigos presenciales lo indica el interesante ejemplo siguiente. En un diario americano apareció un artículo relativo a la visibilidad diurna de las estrellas desde el fondo de los pozos, a la que consideraba una fantasía. Esta opinión fue enérgicamente refutada en una carta de un granjero, que afirmaba que él mismo había visto de día a Capela y a Algol desde el fondo de un silo de 20 metros de altura. El estudio demostró, sin embargo, que a la latitud en que se encontraba la granja del observador ninguna de las dos estrellas mencionadas se halla en el cenit en la época del año indicada, y, por consiguiente, no podía ser vista desde el fondo del silo.

Teóricamente carece de fundamento que un pozo o una mina puedan ayudar a ver las estrellas durante el día. Como ya hemos dicho, las estrellas no son visibles de día porque están inmersas en la luz del Sol. Esta condición no cambia para los ojos en el fondo de un pozo. En él se elimina solamente la luz lateral; pero los rayos difundidos por las partículas de las capas de aire que están encima de la boca del pozo impedirán, como antes, la visibilidad de las estrellas.

Sin embargo, como las paredes del pozo protegen la vista contra los rayos brillantes del Sol, esto puede facilitar la observación de los relucientes planetas, pero no la de las estrellas.

Con el telescopio las estrellas son visibles de día, mas de ningún modo, como algunos piensan, porque miran "desde el fondo del tubo", sino porque la refracción de los rayos en los cristales o su reflexión en los espejos debilita mucho el brillo de la parte examinada del cielo, mientras que el brillo de las estrellas mismas (que se presenta en forma de punto) es por el contrario aumentado. En un telescopio con un objetivo de unos 7 cm de diámetro, se pueden ver de día estrellas de primera y aun de segunda magnitud. Pero en un pozo, una mina o una chimenea no tiene aplicación lo dicho.

Otra cosa sucede con los planetas más brillantes: Venus, Júpiter y Marte en oposición. Éstos brillan mucho más que las estrellas, y por esta razón, en condiciones favorables, pueden ser vistos también en el cielo diurno (ver sobre esto la sección "Planetas a la luz del día")

[Volver](#)

### **Qué es la magnitud estelar**

De la existencia de estrellas de primera, de segunda y de otras magnitudes tienen noticias incluso las personas más alejadas de la astronomía; es ése un conocimiento muy difundido. Pero sobre la existencia de estrellas más brillantes que las de primera magnitud, estrellas de magnitud cero, e incluso de magnitud negativa, posiblemente casi nunca oyeron hablar; hasta les parece incomprendible que entre las estrellas de magnitud negativa se encuentren los astros más brillantes del cielo y que nuestro Sol sea una estrella de "-27ª magnitud".

Algunos verán en esto, quizás, incluso una tergiversación del concepto de número negativo. Y, sin embargo, tenemos aquí precisamente un ejemplo muy claro de aplicación lógica de la teoría de los números negativos.

Detengámonos detalladamente en la clasificación de las estrellas por sus magnitudes. Quizás sea necesario recordar que con la palabra "magnitud" se entiende en este caso no una medida geométrica de las estrellas, sino su brillo aparente. Ya en la antigüedad fueron distinguidas en el cielo las estrellas más brillantes, las que se encienden en el cielo del atardecer antes que las demás, y señaladas como estrellas de primera magnitud. Tras ellas seguían las estrellas de segunda, de tercera, etc., hasta las estrellas de sexta magnitud, apenas perceptibles a simple vista. Esta clasificación subjetiva de las estrellas por su brillo no podía satisfacer a los astrónomos de los nuevos tiempos. Fueron elaborados fundamentos más firmes para la clasificación de las estrellas por su brillo. Se basan en lo siguiente. Se

halló que las estrellas más luminosas, por término medio, pues no todas tienen igual brillo, son exactamente 100 veces más brillantes que las estrellas más débiles a simple vista. La escala de brillo de las estrellas fue confeccionada de modo que la relación entre el brillo de las estrellas de dos magnitudes inmediatas sea constante. Llamando  $n$  a esta "relación entre las intensidades luminosas", tenemos:

- Las estrellas de 2ª magnitud son  $n$  veces más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 3ª magnitud son  $n$  veces más débiles que las estrellas de 2ª magnitud.
- Las estrellas de 4ª magnitud son  $n$  veces más débiles que las estrellas de 3ª magnitud etc.

Si se compara el brillo de las estrellas de las demás magnitudes con el brillo de las estrellas de primera magnitud, tenemos:

- Las estrellas de 3ª magnitud son  $n^2$  más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 4ª magnitud son  $n^3$  más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 5ª magnitud son  $n^4$  más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 6ª magnitud son  $n^5$  más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.

De las observaciones resultó que  $n^5 = 100$ . Calcular ahora la magnitud de la relación entre las intensidades luminosas es fácil (con ayuda de los logaritmos):

$$n = \sqrt[5]{100} = 2.5$$

Así, pues, las estrellas de cada magnitud estelar son  $2\frac{1}{2}$  veces más débiles que las estrellas de la magnitud estelar anterior<sup>5</sup>.

[Volver](#)

### Álgebra estelar

Consideremos un poco más detalladamente el grupo de estrellas más brillantes. Ya hemos señalado que el brillo de estas estrellas es distinto: unas brillan varias veces más intensamente que el término medio, otras son de brillo más débil (el grado medio de su brillo es 100 veces mayor que el brillo de las estrellas apenas distinguibles a simple vista). Hallemos la manera de indicar el brillo de las estrellas que son  $2\frac{1}{2}$  veces más brillantes que el término medio de las estrellas de primera magnitud. ¿Cuál es la cifra que antecede al 1? La cifra 0. Esto quiere decir que a estas estrellas hay que considerarlas como estrellas de magnitud "cero". ¿Y dónde poner las estrellas que son más brillantes que las de primera magnitud, no  $2\frac{1}{2}$  veces, sino  $1\frac{1}{2}$  ó 2 veces? Su lugar está entre 1 y 0, es decir, que la magnitud estelar de un astro tal se expresa por un número fraccionario positivo; como, "estrella de magnitud 0.9", "de magnitud 0.6", etc. Estas estrellas son más brillantes que las de primera magnitud.

Ahora se hace clara también la necesidad de introducir los números negativos para indicar el brillo de las estrellas. Como hay estrellas que por la intensidad de su luz superan a las de magnitud cero, es evidente que su brillo debe ser expresado con números que están del otro lado del cero, es decir, con números negativos. De ahí que haya definiciones de brillo como "-1", "-2", "-1.6", "-0.9" etc.

---

<sup>5</sup> Un valor más exacto de la relación entre las intensidades luminosas es 2.512.

En la práctica astronómica la "magnitud" de las estrellas se determina con la ayuda de aparatos especiales, los fotómetros; el brillo de un astro se compara con el brillo de determinada estrella cuya luminosidad es conocida o con una "estrella artificial" del aparato. La estrella más brillante de todo el cielo, Sirio, tiene una magnitud estelar de -1.6. La estrella Canopo (visible sólo en las latitudes del Sur) tiene una magnitud estelar de -0.9. La más brillante de las estrellas del hemisferio Norte, Vega, tiene una magnitud de 0.1; Capeta y Arturo, 0.2; Rigel, 0.3; Proción, 0.5; Altaír, 0.9. (Téngase presente que las estrellas de magnitud 0.5 son más brillantes que las estrellas de magnitud 0.9, etc.) Damos una lista de las estrellas más brillantes del cielo, con el valor de sus magnitudes estelares (entre paréntesis se indican los nombres de las constelaciones a que pertenecen)

Sirio (del Can Mayor)	-1.6
Canopo (de Argos)	-0.9
$\alpha$ del Centauro	0.1
Vega ( $\alpha$ de la Lira)	0.1
Capela ( $\alpha$ del Cochero)	0.2
Arturo ( $\alpha$ del Boyero)	0.2
Rigel ( $\beta$ de Orión)	0.3
Proción ( $\alpha$ del Can Mayor)	0.5
Achernar ( $\alpha$ de Erídano)	0.6
$\beta$ del Centauro	0.9
Betelgeuse ( $\alpha$ de Orión)	0.9
Altaír ( $\alpha$ del Águila)	0.9
Aldebarán ( $\alpha$ del Tauro)	1.1
Pólux ( $\beta$ de Géminis)	1.1
Espiga ( $\alpha$ de Virgo)	1.2
Antares ( $\alpha$ de Escorpión)	1.2
Fomalhaut ( $\alpha$ del Pez Austral)	1.2
Deneb ( $\alpha$ del Cisne)	1.3
Régulo ( $\alpha$ de Leo)	1.3
	1.3

Examinando esta lista vemos que estrellas que sean exactamente de primera magnitud no hay ninguna: de las estrellas de magnitud 0.9, la lista pasa a las estrellas de magnitud 1.1, 1.2, etc., saltando la magnitud 1.0 (primera). La estrella de primera magnitud no es más, por consiguiente, que un patrón convencional del brillo, pero en el cielo no hay ninguna. No debe pensarse que la clasificación de las estrellas en magnitudes está determinada por las propiedades físicas de las estrellas mismas. La clasificación surge de las particularidades de nuestra visión y es consecuencia de una ley común a todos los órganos de los sentidos llamada "ley psicofísica" de Weber-Fechner. Aplicada a la visión, esta ley dice que cuando la intensidad de un foco de luz cambia en progresión geométrica, la sensación de brillo cambia en progresión aritmética. (Es cosa curiosa que la valoración de la intensidad de los sonidos y de los ruidos la hagan los físicos siguiendo el mismo principio que para la medida del brillo de las estrellas. Detalles sobre esto los encontrará el lector en mis libros (*Física recreativa* y *Álgebra recreativa*.)

Conociendo ya la escala astronómica de brillo de las estrellas, hagamos algunos cálculos útiles. Calculemos, por ejemplo, cuántas estrellas de tercera magnitud hay que tomar juntas para que brillen como una de primera magnitud. Sabemos que las estrellas de tercera magnitud son más débiles que las de primera magnitud,  $2.5^2$ , es decir, 6.3 veces; esto nos dice que para igualar el brillo de una estrella de primera magnitud son suficientes 6.3 de tales estrellas. Para tener el brillo de una estrella de primera magnitud, es necesario tomar



15.8 de la cuarta magnitud, etc. Con cálculos semejantes<sup>6</sup> se hallaron los números que figuran en la tabla que sigue.

Para remplazar a una estrella de primera magnitud son necesarios los siguientes números de estrellas de otras magnitudes:

De 2ª	2.5	De 5ª	40	De 10ª	4.000
De 3ª	6.3	De 6ª	100	De 11ª	10.000
De 4ª	16	De 7ª	250	De 16ª	1.000.000

Con la séptima magnitud entramos ya en el mundo de las estrellas que son imperceptibles a simple vista. Las estrellas de 16ª magnitud sólo se distinguen con los telescopios más potentes; para que fuera posible verlas a simple vista, la sensibilidad del ojo debería aumentar 10.000 veces. Entonces las veríamos tal cual vemos ahora las estrellas de sexta magnitud.

En la tabla anterior no figuran, evidentemente, las estrellas que están "antes de las de primera" magnitud.

Llegamos el cálculo también para algunas de ellas. Las estrellas de magnitud 0.5 (Proción) son más brillantes que las de primera magnitud  $2.5^{0.5}$ , es decir, una vez y media. Las estrellas de magnitud -0.9 (Canopo) son más brillantes que las de primera magnitud  $2.5^{1.9}$ , o sea, 5.8 veces, y las estrellas de magnitud -1.6 (Sirio),  $2.5^{2.6}$ , es decir, 10 veces.

Finalmente, es interesante este otro cálculo: ¿cuántas estrellas de primera magnitud serían necesarias para remplazar la luz de todo el cielo estrellado visible a simple vista?

Supongamos que en un hemisferio celeste hay 10 estrellas de primera magnitud. Se ha observado que el número de estrellas de una magnitud es aproximadamente tres veces mayor que el número de estrellas de la magnitud anterior, y que su brillo es 2.5 veces menor. Por lo tanto, el número de estrellas buscado es igual a la suma de los términos de la progresión:

$$10 + \left(10 \times 3 \times \frac{1}{2.5}\right) + \left(10 \times 3^2 \times \frac{1}{2.5^2}\right) + \dots + \left(10 \times 3^5 \times \frac{1}{2.5^5}\right)$$

Tenemos

$$\frac{10 \times \left(\frac{3}{2.5}\right)^6 - 10}{\frac{3}{2.5} - 1} = 95$$

Así, pues, el brillo total de todas las estrellas visibles a simple vista en un hemisferio es aproximadamente igual a cien estrellas de primera magnitud (o una estrella de 4ª magnitud, -6.6).

Si se hace un cálculo semejante teniendo en cuenta no sólo las estrellas visibles a simple vista, sino todas las que son accesibles a los telescopios contemporáneos, resulta que su luz total es igual en intensidad al brillo de 1.100 estrellas de primera magnitud (o una estrella de magnitud -6.6).

[Volver](#)

## El ojo y el telescopio

<sup>6</sup> Los cálculos resultan fáciles porque el logaritmo de la relación entre las intensidades luminosas es un número sencillo, 0.4.

Comparemos la observación telescópica de las estrellas con la observación a simple vista. Fijemos el diámetro de la pupila del ojo humano para las observaciones nocturnas en 7 mm, como término medio. Un telescopio con un objetivo de 5 cm de diámetro deja pasar más rayos que la pupila

$$\left(\frac{5}{7}\right)^2$$

veces, es decir, aproximadamente, 50 veces más, y con un diámetro de 50 cm, 5.000 veces más. He ahí las veces que el telescopio aumenta el brillo de las estrellas observadas con él. (Lo dicho se refiere solamente a las estrellas y no a los planetas, que tienen un disco visible. Para el cálculo del brillo de los planetas debe tenerse en cuenta, además, el aumento óptico del telescopio.)

Sabiendo esto, puede usted calcular cuál debe ser el diámetro del objetivo de un telescopio para que en él sean visibles estrellas de una u otra magnitud; pero para esto es necesario saber hasta qué magnitud son visibles las estrellas en un telescopio con un objetivo de diámetro conocido. Supongamos, por ejemplo, que en un telescopio con abertura de 64 cm de diámetro se pueden distinguir estrellas hasta de 15ª magnitud inclusive. ¿Qué objetivo es necesario disponer para ver estrellas de la magnitud siguiente, es decir, de 16ª magnitud? Establezcamos la proporción

$$\frac{x^2}{64^2} = 2.5$$

donde  $x$  es el diámetro buscado del objetivo. Tenemos

$$x = 64\sqrt{2.5} \approx 100\text{cm}$$

Se necesita un telescopio con un objetivo de un metro de diámetro. Generalizando, para aumentar la visibilidad del telescopio en una magnitud estelar, es necesario multiplicar el diámetro de su objetivo por  $\sqrt{2.5}$ , es decir, aumentarlo 1.6 veces.

[Volver](#)

### Las magnitudes estelares del Sol y de la Luna

Prosigamos nuestra excursión algebraica por el cielo. La escala que se utiliza para apreciar el brillo de las estrellas puede ser usada también para otros astros: los planetas, el Sol y la Luna. Más adelante hablaremos del brillo de los planetas; ahora nos referiremos a las magnitudes estelares del Sol y de la Luna. La magnitud estelar del Sol se expresa con el número -26.8, y la de la Luna llena<sup>7</sup>, con el número -12.6. Por lo dicho anteriormente, el lector sin duda comprende por qué ambos números son negativos. Pero puede ser que quede perplejo ante una diferencia que no parece ser muy grande entre las magnitudes estelares del Sol y de la Luna. La primera parece ser sólo dos veces mayor que la segunda. No olvidemos, sin embargo, que el valor de la magnitud estelar es en realidad un logaritmo (de base 2.5). Y como para comparar dos números no podemos dividir uno por otro sus logaritmos, no tiene sentido que dividamos entre sí las magnitudes de las estrellas cuando queremos comparar su brillo. El resultado de una comparación correcta se muestra en el cálculo que sigue.

Que la magnitud estelar del Sol es de -26.8 quiere decir que el Sol es más brillante que una estrella de primera magnitud.

<sup>7</sup> En el primero y en el último cuartos de la Luna, su magnitud estelar es igual a -9.

$$2.5^{27.8} \text{ veces}$$

La Luna misma es más brillante que una estrella de primera magnitud

$$2.5^{15.8} \text{ veces}$$

O sea, que el brillo del Sol es mayor que el brillo de la Luna llena

$$\frac{2.5^{27.8}}{2.5^{13.6}} \approx 2.5^{14.2} \text{ veces}$$

Calculada esta potencia (con ayuda de la tabla de logaritmos) resulta 447.000. Ésta es, por consiguiente, la relación exacta entre los brillos del Sol y de la Luna: el astro diurno, en un día claro, ilumina a la Tierra 447.000 veces más intensamente que la Luna llena en una noche sin nubes.

Admitiendo que la cantidad de calor desprendido por la Luna es proporcional a la cantidad de luz que emite (lo cual, sin duda, se aproxima a la realidad), hay que suponer que la Luna nos envía también una cantidad de calor 447 000 veces menor que el Sol. Es sabido que cada centímetro cuadrado, en el límite de la atmósfera terrestre, recibe del Sol alrededor de 2 calorías pequeñas por minuto. De donde resulta que la Luna irradia sobre 1 cm<sup>2</sup> de la Tierra, en cada minuto, no más de 1/225.000 de caloría pequeña (es decir, puede calentar 1 gramo de agua en 1 minuto a 1/225.000 °C). Esto nos dice claramente cuán sin fundamento son los intentos de atribuir a la luz de la Luna influencia en el clima de la Tierra<sup>8</sup>.

La difundida opinión de que las nubes se esfuman frecuentemente bajo la acción de los rayos de la Luna llena es un burdo error, que se explica porque la desaparición de las nubes durante la noche (originada por otras causas) se puede observar solamente a la luz de la Luna.

Dejemos ahora la Luna y calculemos cuántas veces brilla más el Sol que Sirio, la más brillante de las estrellas de todo el cielo. Razonando como antes, tenemos la relación de sus brillos

$$\frac{2.5^{27.8}}{2.5^{2.6}} = 10.000.000.000$$

es decir, que el Sol es diez mil millones de veces más brillante que Sirio.

Es muy interesante también el cálculo siguiente: ¿cuántas veces la iluminación proveniente de la Luna llena es más brillante que la iluminación de todo el cielo estrellado, es decir, de todas las estrellas visibles a simple vista en un hemisferio celeste? Hemos calculado ya que las estrellas de primera a sexta magnitud inclusive brillan juntas como un centenar de estrellas de primera magnitud. Por consiguiente, el problema se reduce a calcular cuántas veces es más brillante la Luna que cien estrellas de primera magnitud.

Esta relación es igual a

$$\frac{2.5^{13.6}}{100} = 2.700$$

---

<sup>8</sup> El problema de si puede o no influir la Luna en el clima con su fuerza gravitacional será examinado al final del libro (ver "La Luna y el clima").

Así, pues, en una noche clara sin Luna recibimos de las estrellas del cielo sólo  $1 / 2700$  de la luz que nos envía la Luna llena y  $1 / (2.700 \times 447.000)$  es decir, 1200 millones de veces menos de la que nos llega del Sol un día sin nubes.

Agreguemos aún que la magnitud estelar de una bujía normal internacional a la distancia de 1 m es igual a  $-14.2$ ; de donde resulta que la bujía, a la distancia indicada, ilumina con más brillo que la Luna llena  $2.5^{14.2 - 12.6}$  o sea, cuatro veces.

No deja quizás de tener interés señalar también que un proyector de un faro de una potencia de 2 mil millones de bujías sería visible a la distancia de la Luna como una estrella de magnitud  $4.5$ , es decir, que podría distinguirse a simple vista.

[Volver](#)

### El brillo verdadero de las estrellas y del Sol

Toda la evaluación del brillo que hemos hecho hasta ahora se refería sólo al brillo aparente. Los números dados expresan el brillo de los astros a las distancias a que realmente se encuentran. Pero sabemos que las estrellas se hallan a muy distintas distancias de la Tierra; el brillo aparente de las estrellas nos permite juzgar de su brillo verdadero y de su alejamiento de nosotros; más exactamente, ni de lo uno ni de lo otro hasta que no hayamos deslindado bien ambos factores. Entretanto, es importante saber cuál sería el brillo comparativo o, como se dice, la "luminosidad" de las distintas estrellas si todas se encontraran a la misma distancia de nosotros.

Planteado así el problema, los astrónomos introducen el concepto de magnitud estelar "absoluta" de las estrellas. Magnitud estelar absoluta de una estrella es la que tendría la estrella si se encontrara a la distancia de 10 "pársecs" de nosotros. El "pársec" es una medida especial de longitud que se emplea para expresar las distancias estelares.

Sobre su origen hablaremos más adelante. Ahora diremos solamente que un pársec es igual, aproximadamente, a 30.800.000.000.000 km. El cálculo de la magnitud estelar absoluta no es difícil de hacer si se conoce la distancia de las estrellas y se tiene en cuenta que el brillo disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia<sup>9</sup>.

Pondremos al lector en conocimiento de los resultados de sólo dos cálculos: de los hechos para Sirio y para nuestro Sol.

La magnitud absoluta de Sirio es  $+1.3$  y la del Sol es  $+4.8$ . Es decir que, desde una distancia de 30 800 000 000 000 km, Sirio brillaría para nosotros como una estrella de magnitud  $1.3$ , y nuestro Sol como una estrella de magnitud  $4.8$ , o sea, más débil que Sirio

$$\frac{2.5^{3.8}}{2.5^{0.3}} = 2.5^{3.5} = 25 \text{ veces}$$

aunque el brillo aparente del Sol es 10.000.000.000 de veces mayor que el de Sirio. Acabamos de ver que el Sol no es ni remotamente la más brillante de las estrellas del cielo. No se debe, sin embargo, considerar a nuestro Sol como un pigmeo entre las estrellas que lo rodean: su luminosidad es superior a la media. Según

$$2.5^M = 2.5^m \left( \frac{\pi}{0.1} \right)^2$$

donde  $M$  es la magnitud estelar absoluta de la estrella  $m$  su magnitud aparente y  $2\pi$  la paralaje de la estrella en segundos. Podemos hacer las transformaciones siguientes:

<sup>9</sup> El cálculo puede hacerse por la fórmula siguiente, cuyo fundamento comprenderá claramente el lector cuando más adelante conozca mejor lo que es el "pársec" y lo que es la "paralaje".

$$2.5^M = 2.5^m \times 100\pi^2$$

$$M \lg 2.5 = m \lg 2.5 + 2 \lg \pi$$

$$0.4M = 0.4m + 2 + 2 \lg \pi$$

de donde

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi$$

Para Sirio, por ejemplo,  $m = -1.6$  y  $\pi = 0.38''$ . Su magnitud absoluta es, pues,

$$M = 1.6 + 5 + \lg 0.38 = 1.3$$

los datos de la estadística estelar, el término medio de luminosidad de las estrellas que rodean al Sol hasta una distancia de 10 pársecs resulta igual a la luminosidad de una estrella de novena magnitud absoluta. Como la magnitud absoluta del Sol es igual a 4.8, éste es más brillante que el término medio de las estrellas "vecinas"

$$\frac{2.5^8}{2.5^{3.8}} = 2.5^{4.2} = 50 \text{ veces}$$

Siendo en valor absoluto 25 veces menos brillante que Sirio, el Sol es, sin embargo, 50 veces más brillante que el término medio de las estrellas que lo rodean.

[Volver](#)

### La más brillante de las estrellas conocidas

La mayor luminosidad conocida es la de una estrellita de octava magnitud imperceptible a simple vista de la constelación de la Dorada, designada con la letra S. La constelación de la Dorada se encuentra en el hemisferio Sur del cielo y no es visible en las zonas templadas del hemisferio Norte. La estrellita mencionada forma parte de un sistema estelar vecino de la Tierra, la Pequeña Nube de Magallanes, cuya distancia a nosotros es, aproximadamente, 12000 veces mayor que la distancia de Sirio. A semejante distancia, esa estrella tiene que poseer un brillo excepcional para llegar a parecernos de octava magnitud. Sirio, situado a esa misma distancia, brillaría como una estrella de 17ª magnitud, es decir, apenas sería visible con el más potente de los telescopios.

Cuál es, pues, la luminosidad de esta notable estrellita? El cálculo da este resultado: menos octava magnitud. Esto quiere decir que nuestra estrella es en valor absoluto unas 400 000 veces más brillante que el Sol! Con tan excepcional brillo, si esta estrella estuviera a la distancia de Sirio, parecería de nueve magnitudes más brillante que éste, o sea, que tendría aproximadamente el brillo de la Luna en cuarto creciente. Una estrella que a la distancia de Sirio derramaría sobre la Tierra tan brillante luz, tiene indiscutiblemente derecho a ser considerada como la más brillante de las estrellas conocidas.

### La magnitud estelar de los planetas en el cielo terrestre y en los cielos ajenos

Volvamos ahora al viaje imaginario a otros planetas (expuesto en la sección "Los cielos ajenos") y valoremos con mayor precisión el brillo de los astros que en ellos alumbran. Ante todo señalemos la magnitud estelar de los planetas cuando lucen con su máximo brillo en el cielo de la Tierra. He aquí la tabla

En el cielo terrestre:

Venus	-4.3	Saturno	-0.4
Marte	-2.8	Urano	+5.7
Júpiter	-2.5	Neptuno	+7.6
Mercurio	-1.2		

Examinándola, vemos que Venus es más brillante que Júpiter casi dos magnitudes estelares, es decir,  $2.5^2 = 6.25$  veces; más que Sirio,  $2.5^{27} = 13$  veces (el brillo de Sirio es de magnitud -1.6).

<u>En el cielo de Marte</u>		<u>En el cielo de Venus</u>	
El Sol	-26	El Sol	-27.5
Fobos	-8	La Tierra	-6.6
Deimos	-3.7	Mercurio	-2.7
Venus	-3.2	Júpiter	-2.4
Júpiter	-2.8	La Luna	-2.4
La Tierra	-2.6	Saturno	-0.3
Mercurio	-0.8		
Saturno	-0.6		
<u>En el cielo de Júpiter</u>			
El Sol	-23	Satélite IV	3.3
Satélite I	-7.7	Satélite V	-2.8
Satélite II	-6.4	Saturno	-2
Satélite III	-5.4	Venus	-0.3

De esta tabla resulta también que el pálido planeta Saturno es aún más brillante que todas las estrellas fijas, con excepción de Sirio y de Canopo. Aquí encontramos una explicación del hecho de que los planetas (Venus, Júpiter) son a veces visibles de día a simple vista, cosa imposible para las estrellas.

#### *Magnitud estelar*

Venus desde Mercurio	-7.7
La Tierra desde Venus	-6.6
La Tierra desde Mercurio	-5
Venus desde la Tierra	-4.3
Venus desde Marte	-3.2
Júpiter desde Marte	-2.8
Marte desde la Tierra	-2.8
Mercurio desde Venus	-2.7
La Tierra desde Marte	-2.6
Júpiter desde la Tierra	-2.5
Júpiter desde Venus	-2.4
Júpiter desde Mercurio	-2.2
Saturno desde Júpiter	-2

Damos igualmente tablas del brillo de los astros en los cielos de Venus, de Marte y de Júpiter, sin nuevas aclaraciones, puesto que ellas constituyen solamente una expresión cuantitativa de lo que ya hemos dicho en la sección "Los cielos ajenos". Al evaluar el brillo de los planetas en el cielo de sus propios satélites debe ponerse en primer lugar a Marte "lleno" en el cielo de Fobos (-22.5); después, a Júpiter "lleno" en el cielo del satélite V (-21), y a Saturno "lleno" en el cielo de su satélite Mimas (-20). En este satélite, Saturno es sólo cinco veces menos brillante que el Sol!

Es interesante, por último, la siguiente tabla del brillo de los planetas observados unos desde otros, en la que aparecen dispuestos por orden decreciente de brillo. La tabla indica que en el cielo de los planetas mayores, los astros más brillantes son: Venus observado desde Mercurio, la Tierra vista desde Venus y la Tierra vista desde Mercurio.

[Volver](#)

### Por qué el telescopio no agranda las estrellas

A las personas que por primera vez dirigen un catalejo a las estrellas fijas, les llama la atención que el tubo, que aumenta notablemente la Luna y los planetas, en nada aumenta las dimensiones de las estrellas, y que incluso las disminuye, convirtiéndolas en un punto brillante que no forma disco. Esto lo notó ya Galileo, que fue el primer hombre que observó el cielo con un telescopio. Describiendo las primeras observaciones realizadas con el antejo de su invención, dice:

*"Es digno de ser señalado que la observación con el telescopio resulta distinta para los planetas y para las estrellas fijas. Los planetas aparecen como circulitos claramente dibujados, como pequeñas lunas. Las estrellas fijas no tienen contornos perceptibles. El telescopio aumenta solamente su brillo, de modo que las estrellas de 5ª y 6ª magnitud se hacen por el brillo igual a Sirio, que es la más brillante de las estrellas fijas."*

Para explicar esta incapacidad del telescopio en cuanto a las estrellas, es necesario recordar algo de la fisiología y de la física de la visión. Cuando seguimos con la vista a un hombre que se aleja de nosotros, su imagen en la retina se hace cada vez más pequeña. A una distancia suficiente, la cabeza y las piernas del hombre se aproximan tanto en la retina, que no caen ya en distintos elementos (terminaciones nerviosas), sino en uno solo, y entonces la figura del hombre nos parece un punto desprovisto de forma.

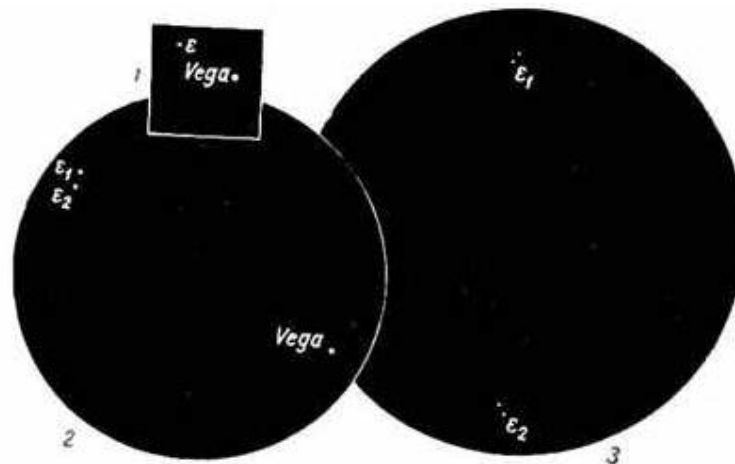


Figura 73. La misma estrella  $\epsilon$  de la Lira (que se halla cerca de Vega), vista a simple vista (1), con el catalejo (2) y con el telescopio (3)

A la mayoría de las personas les sucede esto cuando el ángulo según el cual observan el objeto disminuye hasta  $1'$ . La finalidad del telescopio es agrandar el ángulo con el que el ojo ve el objeto o, lo que es lo mismo, extender la imagen de cada detalle del objeto a algunos elementos próximos de la retina. De un telescopio se dice que "aumenta 100 veces" si el ángulo según el cual vemos un objeto con ese telescopio es 100 veces mayor que el ángulo

con que lo vemos a la misma distancia a simple vista. Si aun con este aumento un detalle aparece con un ángulo menor de 1', el telescopio dado es insuficiente para la observación de ese detalle.

Es fácil calcular que el más pequeño detalle que podemos distinguir a la distancia de la Luna, con un telescopio que aumenta 1000 veces, tiene un diámetro de 110 m, y a la distancia del Sol, un diámetro de 40 km. Pero si el mismo cálculo se hace para la estrella más próxima, tendremos una magnitud enorme: 12.000.000 km.

El diámetro del Sol es menor que esta magnitud  $8\frac{1}{2}$  veces. De esto resulta que, trasladado a la distancia de las estrellas más próximas, nuestro Sol aparecería como un punto incluso con un telescopio de 1000 aumentos. La estrella más próxima debería poseer un volumen 600 veces mayor que el Sol para que los telescopios potentes pudieran mostrar su disco. A la distancia de Sirio, una estrella deberá ser para esto mismo 5000 veces mayor que el Sol, en volumen. Como la mayoría de las estrellas se hallan mucho más allá de las distancias mencionadas y sus dimensiones no superan por término medio en dicho grado a las del Sol, esas estrellas, aun con los telescopios potentes, tienen que verse como puntos.

*"En el cielo -escribe Jeans- ninguna estrella tiene una medida angular mayor que una cabecita de alfiler a la distancia de 10 km, y no hay telescopio con el que un objeto de medidas tan pequeñas pueda ser visible como un disco."*

Por el contrario, los grandes cuerpos celestes que forman parte de nuestro sistema solar, observados con el telescopio, muestran un disco tanto mayor cuanto mayor es el aumento. Pero como ya tuvimos ocasión de señalar, el astrónomo se encuentra aquí con otro inconveniente: a la vez que aumenta la imagen se debilita su brillo (a consecuencia de la distribución de los haces de luz en una superficie mayor), y esta disminución del brillo dificulta la distinción de los detalles. Por esto, para la observación de los planetas y, particularmente, de los cometas, es conveniente utilizar telescopios de mediano aumento. El lector quizá se haga esta pregunta: si el telescopio no agranda las estrellas, ¿por qué lo utilizan para observarlas?

Después de lo dicho anteriormente, apenas es necesario detenerse en la respuesta. El telescopio es incapaz de aumentar las dimensiones aparentes de las estrellas, pero aumenta su brillo y, por consiguiente, multiplica el número de estrellas accesibles a la vista. En segundo lugar, gracias al telescopio se consigue la resolución de las estrellas que aparecen a simple vista como una sola. El telescopio no puede aumentar el diámetro aparente de las estrellas, pero aumenta la distancia aparente entre ellas; y así, el telescopio nos descubre estrellas dobles, triples y aun estrellas más complejas, allí donde a simple vista vemos una sola (figura 73). Los enjambres de estrellas que a simple vista se pierden en la lejanía como manchas brumosas y en la mayoría de los casos son totalmente invisibles, en el campo del telescopio se resuelven en muchos miles de estrellas separadas. Finalmente, el tercer servicio que el telescopio presta para estudiar el mundo de las estrellas es que da la posibilidad de medir los ángulos con extraordinaria precisión; en las fotografías obtenidas con los grandes telescopios contemporáneos, los astrónomos miden ángulos de la magnitud de 0.01". Con tales ángulos se puede ver un kopeck que esté a una distancia de 300 km y un cabello humano a la distancia de 100 m(!).

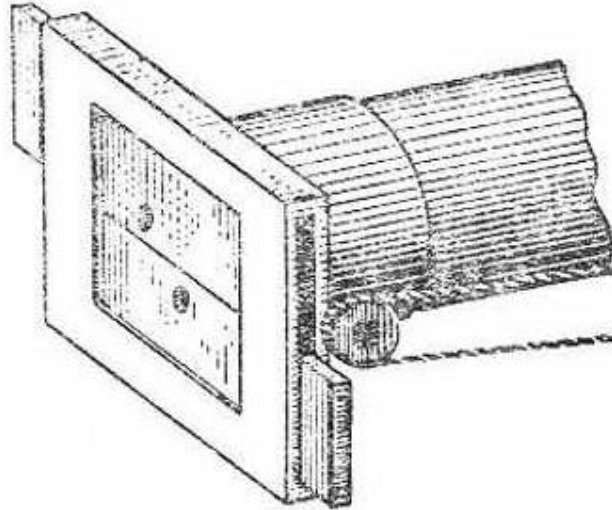
[Volver](#)

### **Cómo fueron medidos los diámetros de las estrellas**

En los más potentes telescopios, como hemos explicado, es imposible ver el diámetro de las estrellas fijas. Hasta no hace mucho tiempo todas las consideraciones sobre las dimensiones de las estrellas eran sólo conjeturas. Se suponía que cada estrella tenía, por término medio, aproximadamente la magnitud de nuestro Sol, pero nada confirmaba esta suposición. Y como para distinguir los diámetros de las estrellas son imprescindibles telescopios más



potentes que los más poderosos de nuestra época, el problema de la determinación de los diámetros verdaderos de las estrellas parecía insoluble. Tal era el estado del problema en 1920, año en que nuevos métodos e instrumentos de investigación abrieron a los astrónomos el camino para la medida de las dimensiones verdaderas de las estrellas.



*Figura 74. Esquema del dispositivo del "interferómetro para la medida de los diámetros angulares de las estrellas (Explicación en el texto)*

Con esta reciente adquisición de la astronomía está vinculada su fiel compañera, la física, que tantas veces le ha prestado los más valiosos servicios. Expondremos seguidamente los fundamentos de este método, basado en el fenómeno de la interferencia de la luz. Para aclarar el principio en que se basa este método de medida, hagamos una experiencia que exige el empleo de algunos aparatos: un pequeño telescopio de 30 aumentos y una fuente luminosa brillante interceptada por una pantalla que tiene una estrecha ranura vertical (de unas décimas de mm). Coloquemos el telescopio a una distancia de 10 a 15 m de la fuente de luz. Cubramos el objetivo con una tapadera opaca que lleve dos orificios circulares de unos 3 mm de diámetro dispuestos horizontalmente de manera simétrica con relación al centro del objetivo, a una distancia de 15 mm uno del otro (figura 74). Observando sin la tapadera, la ranura tiene en el telescopio la forma de una franja estrecha con rayas mucho más tenues los lados. Con la tapadera, la franja central brillante aparece rayada por franjas oscuras verticales. Estas franjas aparecen como consecuencia de la acción recíproca (interferencia) de los dos haces luminosos que pasan a través de los orificios de la tapadera del objetivo. Si se tapa uno de los orificios, estas franjas desaparecen: Si los orificios del objetivo se hacen móviles de modo que la distancia entre ellos pueda variar, entonces, a medida que se separan, las franjas oscuras se vuelven cada vez menos claras y finalmente desaparecen. Conociendo la distancia que hay entre los orificios en este momento, se puede determinar la anchura angular de la ranura, es decir, el ángulo con que el observador ve el ancho de la ranura. Si se conoce la distancia hasta la ranura, se puede calcular su ancho real. Si en lugar de la ranura tenemos un orificio pequeño, el procedimiento para la determinación del ancho de esta "ranura circular" (es

decir, el diámetro del circulito) es el mismo, pero es necesario multiplicar el ángulo obtenido por 1.22.

Para la medición de los diámetros de las estrellas procederemos de la misma manera, si bien debido a la extraordinaria pequeñez del diámetro angular de las estrellas, deberán utilizarse telescopios muy potentes.

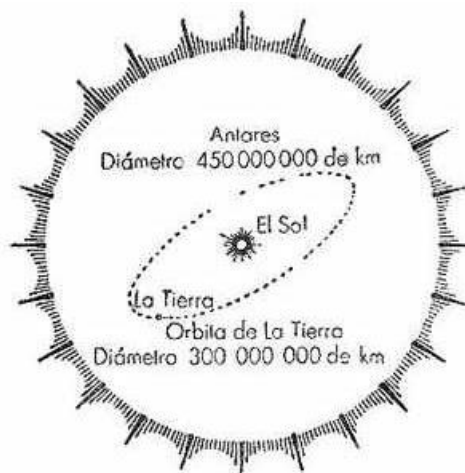
Además del método basado en el "interferómetro" que acabamos de describir, hay otro procedimiento menos directo para la determinación del diámetro verdadero de las estrellas, basado en el estudio de sus espectros.

Por el espectro de una estrella los astrónomos saben su temperatura, con la que se puede calcular el valor de la irradiación por cada  $\text{cm}^2$  de superficie. Si, además de esto, se conoce la distancia de la estrella y su brillo aparente, se puede determinar la magnitud de la irradiación de toda su superficie. La relación entre esta irradiación y la primera da la medida de la superficie de la estrella, o lo que viene a ser lo mismo, de su diámetro. Por esta vía se encontró, por ejemplo, que el diámetro de Capeta es 16 veces mayor que el del Sol, el de Betelgeuse 350 veces, el de Sirio, 2 veces y el de Vega  $2\frac{1}{2}$  veces. El diámetro del satélite de Sirio es igual a 0.02 del diámetro del Sol.

[Volver](#)

### Los gigantes del mundo estelar

Los resultados de la determinación de los diámetros de las estrellas fueron verdaderamente extraordinarios.



*Figura 75. La estrella gigante Antares ( $\alpha$  del Escorpión) podría englobar a nuestro Sol con la órbita de la Tierra*

Los astrónomos no sospechaban antes que en el espacio pudiera haber estrellas de tan gigantesco tamaño. La primera estrella cuyas dimensiones verdaderas se determinaron (en 1920) fue la brillante estrella  $\alpha$  de Orión, que lleva el nombre árabe de Betelgeuse. Su diámetro resultó ser mayor que el de la órbita de Marte (!). Otro gigante es Antares, la estrella más brillante de la constelación del Escorpión: su diámetro es aproximadamente una vez y media mayor que el diámetro de la órbita de la Tierra (figura 75). Entre las estrellas gigantes descubiertas hasta ahora se puede colocar también a la maravillosa Mira, estrella de la constelación de la Ballena, cuyo diámetro es 400 veces mayor que el de nuestro Sol. Detengámonos un poco en la estructura física de estos gigantes. El cálculo muestra que estas estrellas, a pesar de sus colosales dimensiones, contienen relativamente poca cantidad de materia. Son pocas veces más pesadas que nuestro Sol, y como por su volumen Betelgeuse, por ejemplo, es 40 000 000 de veces mayor que él, la densidad de esta estrella

tiene que ser insignificante. Y si la materia del Sol tiene como promedio una densidad igual a la del agua, la densidad de la materia de las estrellas gigantes, proporcionalmente, viene a ser la del aire enrarecido. Estas estrellas, de acuerdo con la expresión de los astrónomos, "recuerdan a esos gigantescos aerostatos extraordinariamente ligeros, de densidad mucho menor que la del aire".

[Volver](#)

### Un cálculo sorprendente

Es interesante examinar, en relación con lo anterior, cuánto ocuparían en el cielo todas las estrellas si se pusieran juntas sus imágenes aparentes.

Ya sabemos que el brillo conjunto de todas las estrellas accesibles al telescopio es igual al brillo de una estrella de magnitud -6.6. Una estrella semejante brilla 20 magnitudes estelares más débilmente que nuestro Sol, es decir, 100 000 000 de veces menos que él. Si por la temperatura de su superficie se considera al Sol como una estrella media, se puede decir que la superficie aparente de nuestra estrella imaginaria es menor que la superficie aparente del Sol el número de veces indicado. Y como los diámetros de los círculos son proporcionales a las raíces cuadradas de sus superficies, el diámetro aparente de nuestra estrella debe ser 10 000 veces menor que el diámetro aparente del Sol, es decir, debe ser

$$30' : 10\,000 \approx 0.2''$$

El resultado es sorprendente: la superficie aparente total de todas las estrellas ocuparía en el cielo la extensión de un circulito de 0.2" de diámetro angular. El cielo contiene 41.253 grados cuadrados; es fácil calcular por esto que las estrellas visibles en un telescopio cubren solamente

$$1 / 20.000.000.000$$

parte de todo el cielo (! ).

[Volver](#)

### La materia más pesada

Entre las curiosidades que el espacio encierra en sus profundidades seguramente figurará siempre en lugar destacado una diminuta estrella cercana a Sirio. Esta estrella está constituida por una materia que es ¡60 000 veces más pesada que el agua! Cuando nosotros cogemos con la mano un vaso de mercurio, nos sorprende su peso de alrededor de 3 kg. Pero ¿qué diríamos de un vaso de materia que pesara 12 toneladas y que exigiera para su transporte una plataforma de ferrocarril? Esto parece absurdo y, sin embargo, es uno de los descubrimientos de la astronomía contemporánea. Este descubrimiento tiene una larga historia muy instructiva. Desde hace mucho tiempo se ha observado que el brillante Sirio realiza su movimiento propio entre las estrellas, no en línea recta como la mayoría de las demás estrellas, sino siguiendo una extraña trayectoria sinuosa (figura 76). Para aclarar esta particularidad de su movimiento, el famoso astrónomo Bessel supuso que Sirio iba acompañado de un satélite cuya atracción altera su movimiento. Esto ocurrió en 1844, dos años después de que fuera descubierto Neptuno en el "extremo de la pluma". Y

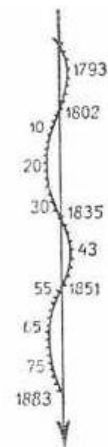
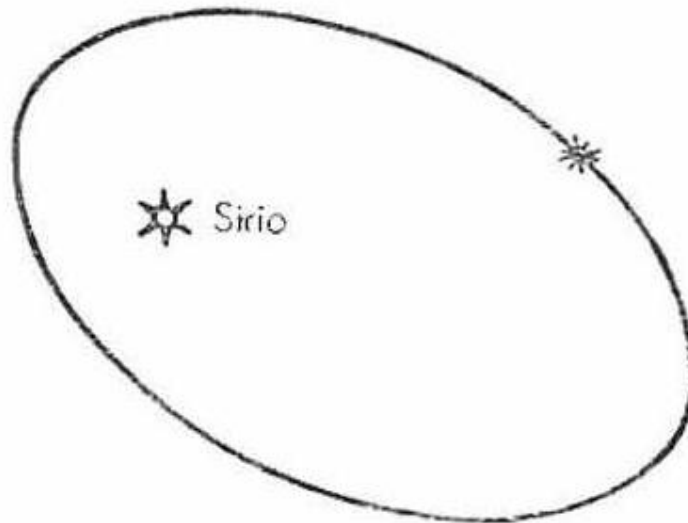


Figura 76. La trayectoria de Sirio entre las estrellas, desde 1793 hasta 1883

en 1862, después ya de la muerte de Bessel, su hipótesis recibió plena confirmación, pues el supuesto satélite de Sirio fue visto con el telescopio.



*Figura 77. Órbita del satélite de Sirio con respecto a éste. (Sirio no se encuentra en un foco de la elipse aparente porque al estar la verdadera elipse desfigurada por la proyección, la vemos según cierto ángulo).*

El satélite de Sirio, el llamado Sirio B, gira alrededor de la estrella principal en 49 años, a una distancia 20 veces mayor que la de la Tierra al Sol, es decir, aproximadamente a la distancia de Urano (figura 77). Es una estrellita de octava magnitud; pero su masa es muy considerable, casi 0.8 de la masa de nuestro Sol. A la distancia de Sirio, nuestro Sol debería brillar como una estrella de magnitud 1.8; pero si el compañero de Sirio tuviera una superficie menor que la solar que correspondiera a la relación de las masas de estos astros, a la misma temperatura debería brillar como una estrella de segunda magnitud. Los astrónomos explicaron primeramente tan débil brillo por la baja temperatura de la superficie de esta estrella; la consideraron como una estrella en enfriamiento cuya superficie está cubierta ya con una corteza sólida.

Pero esta suposición resultó errónea. Hace 30 años se pudo determinar que el modesto satélite de Sirio no es en modo alguno una estrella en extinción, sino que, por el contrario, pertenece a las estrellas que tienen una elevada temperatura superficial, mucho más elevada que la de nuestro Sol. Esto cambia totalmente el problema. Su débil brillo debe atribuirse sólo a la pequeña magnitud de la superficie de esta estrella. Se calculó que irradia 360 veces menos luz que el Sol, lo cual quiere decir que su superficie debe ser, por lo menos, 360 veces menor que la solar, y su radio,  $\sqrt{360}$  veces menor, o sea, 19 veces más pequeño que el del Sol. De donde se deduce que el volumen del satélite de Sirio debe ser menos de  $1 / 6800$  del volumen del Sol, mientras que su masa constituye apenas 0.8 de la masa del astro diurno. Esto indica claramente la enorme condensación que ha de tener la materia de esta estrella. Un cálculo más preciso da para el diámetro de la estrella sólo 40.000 km y, por consiguiente, para su densidad, el valor gigantesco que mencionamos al principio: 60.000 veces mayor que la densidad del agua (figura 78).

"Desconfiad, físicos; pretenden invadir vuestros dominios", habría que decir recordando las palabras pronunciadas por Kepler, cierto que con otro motivo. En realidad, nada semejante podía haberse imaginado hasta ahora un físico. En las condiciones normales, una densidad

tan grande es completamente increíble, ya que los espacios normales entre los átomos de los cuerpos sólidos son tan pequeños, que no podría tener lugar ninguna condensación notable de la materia. Pero el problema es distinto si se trata de átomos "mutilados", desprovistos de los electrones que giran alrededor del núcleo. La pérdida de los electrones disminuye el diámetro del átomo algunos miles de veces sin casi disminuir su masa; el núcleo desnudo es menor que el átomo normal tantas veces como viene a serlo una mosca respecto a un gigantesco edificio.

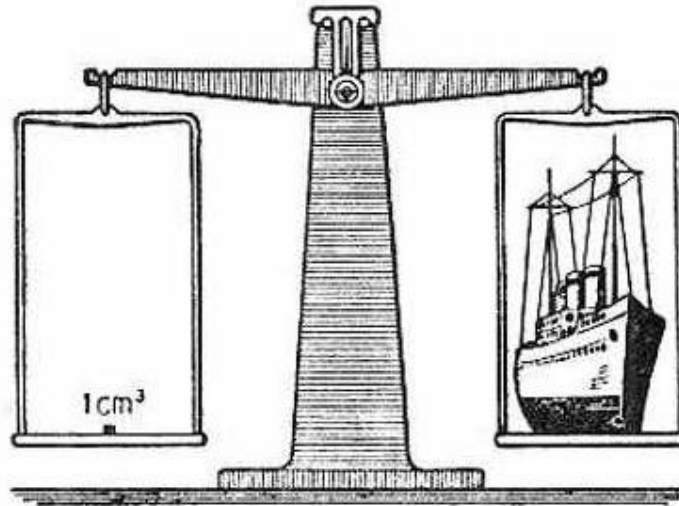


*Figura 78. El satélite de Sirio está constituido por una materia que es 60.000 veces más densa que el agua. Algunos centímetros cúbicos de esta materia podrían equilibrar el peso de 30 hombres*

Aproximados por las enormes presiones que reinan en las entrañas de la esfera de una estrella, estos reducidos átomos-núcleos podrían acercarse miles de veces más que los átomos normales y formar una materia de tan inusitada densidad como la descubierta en el satélite de Sirio. Pero aún hay más: esta densidad es superada por la de la estrella llamada de Van Maanen. Esta estrellita de 12<sup>a</sup> magnitud no supera por sus dimensiones al globo terrestre, pero está constituida por una materia que es 400.000 veces más pesada que el agua.

Y éste no es el grado máximo de densidad. Teóricamente puede suponerse la existencia de materia aún mucho más densa. El diámetro del núcleo atómico constituye no más de 1/10.000 del diámetro del átomo, y el volumen, por consiguiente, no más 1/10<sup>12</sup> del volumen del átomo. Un m<sup>3</sup> de metal contiene a lo sumo cerca de 1/1.000 mm<sup>3</sup> de núcleos atómicos, y en este minúsculo volumen está concentrada toda la masa del metal. 1 cm<sup>3</sup> de núcleos atómicos debe pesar, aproximadamente, 10 millones de toneladas (figura 79). Después de lo dicho, no debe parecer inverosímil el descubrimiento de una estrella cuya materia tiene una densidad media 500 veces mayor que la de la estrella Sirio R. Nos referimos a una pequeña estrella de 13<sup>a</sup> magnitud de la constelación Casiopea, descubierta a fines de 1935. Siendo por su volumen no mayor que Marte y ocho veces menor que el globo terrestre, esta estrella posee una masa que supera casi tres veces la de nuestro Sol (más exactamente, 2.8 veces). En las unidades habituales la densidad media de su materia es de 36.000.000 g/cm<sup>3</sup>. Esto significa que 1 cm<sup>3</sup> de esta materia pesaría en la Tierra 36 toneladas (!). Esta materia, por consiguiente, es más densa que el oro casi 2 millones de

veces<sup>10</sup>. Sobre cuánto debe pesar un centímetro cúbico de esta materia pesado en la superficie de la estrella misma, hablaremos en el capítulo V.



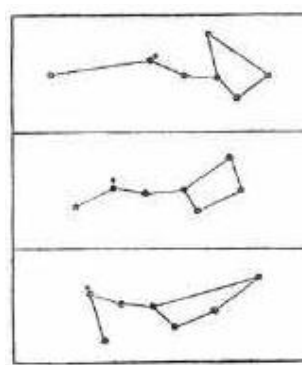
*Figura 79. Un  $\text{cm}^3$  de núcleos de átomos, incluso sin estar comprimidos, podría equilibrar el peso de un barco trasatlántico. Colocados apretadamente en un volumen de  $1 \text{ cm}^3$ , los núcleos pesarían ¡10 millones de toneladas!*

Pocos años atrás los sabios probablemente hubieran considerado del todo imposible la existencia de materia con densidad varios millones de veces mayor que la del platino. Los abismos del universo seguramente esconden todavía muchas curiosidades similares.

[Volver](#)

### Por qué las estrellas se llaman fijas

Cuando en la antigüedad fue dado a las estrellas este epíteto, se quería subrayar con esto que, a diferencia de los planetas, las estrellas mantienen en la bóveda celeste una posición invariable. Naturalmente, toman parte en el movimiento diario de todo el cielo alrededor de la Tierra; pero este movimiento aparente no altera sus posiciones relativas. Los planetas, en cambio, modifican continuamente sus posiciones con respecto a las estrellas, errando entre ellas, por lo cual recibieron ya en la antigüedad esa denominación de planetas (la voz planeta significa errante). Sabemos ahora que la representación del mundo estrellado como un conjunto de soles fijos en su inmovilidad es totalmente errónea.



*Figura 80. La forma de las constelaciones cambia con el correr del tiempo. El dibujo del centro representa el carro de la Osa Mayor en la actualidad, el superior 100.000 de años atrás, y el inferior, dentro de 100.000 años.*

<sup>10</sup> En la parte central de esta estrella la densidad de la materia debe alcanzar un valor extraordinario, aproximadamente, de miles de millones de gramos por  $\text{cm}^3$ .

Todas las estrellas<sup>11</sup> y entre ellas también nuestro Sol, se mueven una con relación a otra con velocidades del orden de los 3,0 km/s, por término medio, es decir, con la misma velocidad con que nuestro planeta gira en su órbita.

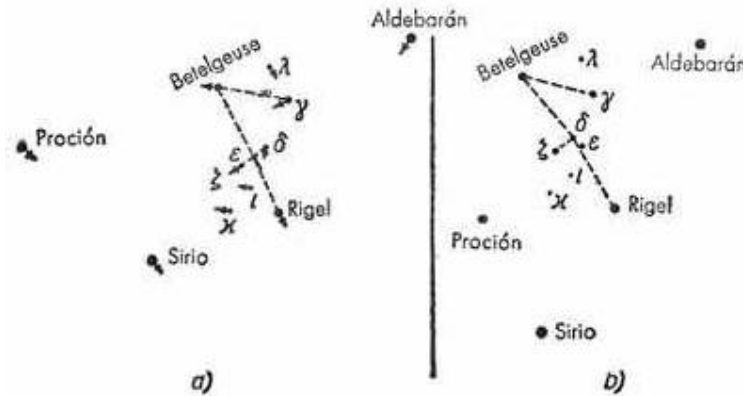


Figura 81. Direcciones en que se desplazan las brillantes estrellas próximas a la constelación de Orión (a) y cambio en el aspecto de la constelación producirán estos movimientos al cabo de 50.000 años (b)

Las estrellas, pues, en nada son más inmóviles que los planetas. Por el contrario, en el mundo de las estrellas nos encontramos con casos aislados de velocidades verdaderamente colosales, como no las hay en la familia de los planetas; se conocen estrellas, llamadas "voladoras", que se trasladan con relación a nuestro Sol a la formidable velocidad de 250 a 300 km/s. Mas si todas las estrellas visibles se mueven en forma caótica a gigantescas velocidades, desplazándose miles de millones de kilómetros anualmente, ¿por qué no nos damos cuenta de este enorme movimiento? ¿Por qué el cielo estrellado nos ha parecido siempre un cuadro de majestuosa inmovilidad?

No es difícil descubrir la causa: ello se debe al inconcebible alejamiento de las estrellas. ¿No ha observado usted desde un sitio elevado un tren que se mueve a lo lejos, cerca del horizonte? ¿Acaso no le pareció entonces que el expreso se arrastraba como una tortuga? La velocidad vertiginosa para un observador situado al pie de la vía se transforma en paso de tortuga para un observador a gran distancia. Lo mismo sucede con el desplazamiento de las estrellas, sólo que en este caso el alejamiento relativo del observador de los cuerpos en movimiento es infinitamente mayor.

Las estrellas más brillantes están alejadas de nosotros alrededor de 800 billones de kilómetros (según Kapteyn). El desplazamiento de estas estrellas en un año es, digamos, de 1000 millones de

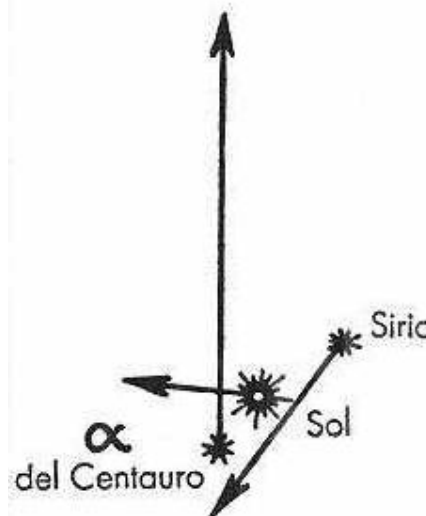
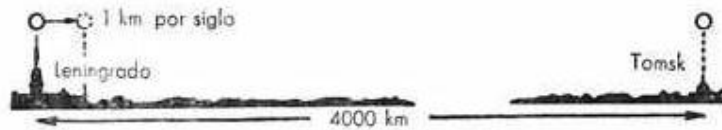


Figura 82. El movimiento de tres estrellas próximas: el Sol, a del Centauro y Sirio

<sup>11</sup> Se trata de las estrellas de "nuestro" enjambre estelar, la Vía Láctea

kilómetros, es decir, 800000 veces menor. Ese desplazamiento debería observarse desde la Tierra según un ángulo menor de  $0.25''$ , magnitud apenas perceptible con los instrumentos astronómicos más precisos. A simple vista es totalmente inobservable, incluso durante siglos. Sólo a través de laboriosas mediciones realizadas con aparatos se pudo descubrir el movimiento de muchas estrellas (figuras 80, 81, 82).

Así, pues, las estrellas, aunque están animadas de movimientos inconcebiblemente rápidos, tienen pleno derecho a la denominación de fijas en tanto se trata de la observación a simple vista. De lo dicho, el lector mismo puede sacar la conclusión de cuán ínfima es la posibilidad de que las estrellas choquen, a pesar de su rápido movimiento (figura 83).



*Figura 83. La comparación de los movimientos estelares. Dos pelotas de croquet, una en Leningrado y la otra en Tomsk, moviéndose con la velocidad de 1 km por siglo, nos dan en pequeño una imagen del acercamiento de dos estrellas. Este ejemplo muestra claramente que la probabilidad de que se produzca un choque entre dos estrellas es mínima.*

[Volver](#)

### Unidades de medida de las distancias interestelares

Nuestras grandes medidas de longitud -el kilómetro, la milla marina (1852 m) y la milla geográfica (igual a 4 millas)- son suficientes para medir las distancias en la superficie de la Tierra, pero resultan completamente insignificantes como medidas celestes. Medir con ellas las distancias en el cielo es tan inadecuado como medir con milímetros el largo de una vía férrea. Por ejemplo, la distancia de Júpiter al Sol, en kilómetros, se expresa con el número 780 millones, y el largo del ferrocarril de Octubre, en milímetros, con el número 640 millones.

Para no tener que operar con números terminados en largas series de ceros, los astrónomos utilizan unidades de longitud mucho más grandes. Para medir, por ejemplo, los límites del sistema solar, se toma como unidad de longitud la distancia media de la Tierra al Sol (149500000 km). Esta es la llamada "unidad astronómica". Con esta medida, la distancia de Júpiter al Sol es igual a 5.2, la de Saturno a 9.54, la de Mercurio a 0.387, etc.

Pero para las distancias de nuestro Sol a los otros soles la medida dada resulta demasiado pequeña. Por ejemplo, la distancia hasta la estrella más cercana a nosotros (la llamada Próxima, de la constelación del Centauro<sup>12</sup>, una estrellita rojiza de 11<sup>a</sup> magnitud) se expresa en dicha unidad de medida con este número

260.000.

Y esto para la más próxima de las estrellas: las demás se encuentran mucho más lejos. El empleo de unidades notablemente mayores hizo mucho más fácil recordar los números y operar con ellos. En astronomía se usan las siguientes unidades gigantescas de distancia: el "año-luz" y el "pársec", que tiende a remplazar al primero.

Año-luz es el trayecto recorrido en el vacío espacial por un rayo de luz en un año de tiempo. De la magnitud de esta medida nos haremos una idea recordando que del Sol a la Tierra la luz tarda en llegar 8 minutos. Un año-luz, por consiguiente, es tantas veces mayor que el

<sup>12</sup> Se encuentra casi al lado de la brillante estrella  $\alpha$  del Centauro.



radio de la órbita terrestre cuantas un año es mayor que 8 minutos. En kilómetros, esta medida de longitud se expresa con el número

9.460.000.000.000,

es decir, el año-luz es igual aproximadamente a  $9\frac{1}{2}$  billones de km. La otra unidad empleada en las distancias estelares, de origen más complicado y que los astrónomos aceptan de buen grado, es el pársec. Un pársec es la distancia a que es preciso alejarse para ver un semidiámetro de la órbita de la Tierra con un ángulo de un segundo de arco. El ángulo con que se ve desde una estrella el semidiámetro de la órbita terrestre se llama en astronomía "paralaje anual" de esta estrella. De la combinación de las palabras "paralaje" y "segundo" se formó la palabra "pársec".

La paralaje de la antes mencionada a del Centauro es 0.76"; y, por lo tanto, la distancia de esta estrella es de 1.31 pársec. Es fácil calcular que un pársec debe abarcar 206.265 distancias de la Tierra al Sol. La correspondencia entre el pársec y las otras unidades de longitud es la siguiente

$$1 \text{ pársec} = 3.26 \text{ años-luz} = 30.800.000.000.000 \text{ km.}$$

He aquí la distancia de algunas estrellas brillantes expresadas en pársecs y en años-luz:

De 2ª	2.5	De 5ª	40	De 10ª	4.000
De 3ª	6.3	De 6ª	100	De 11ª	10.000
De 4ª	16	De 7ª	250	De 16ª	1.000.000

Estas son estrellas relativamente cercanas. Su grado de "proximidad" lo podrán comprender si recuerdan que para expresar las distancias dadas en kilómetros es necesario aumentar cada uno de los números de la primera columna 30 billones de veces. Sin embargo, el año-luz y, el pársec no son las medidas más grandes utilizadas en la ciencia de los astros. Cuando los astrónomos emprendieron la medida de las distancias y las dimensiones de los sistemas estelares, es decir, de universos enteros formados por muchos millones de estrellas, necesitaron una medida aún más grande. La derivaron del pársec del mismo modo que el kilómetro se deriva del metro surgió el "kilo pársec", igual a 1000 pársecs o a 30800 billones de kilómetros. En esta medida, el diámetro de la Vía Láctea, por ejemplo, se expresa con el número 30, y la distancia de la Tierra a la nebulosa de Andrómeda resulta de unos 300 kilo pársecs.

Pero también el kilo pársec resultó pronto una medida insuficiente; hubo que poner en uso el "megapársec", que con tiene un millón de pársecs.

He aquí una tabla con las medidas estelares de longitud

1 megapársec	=	1.000.000 de pársecs
1 kilo pársec	=	1 000 pársecs
1 pársec	=	206.265 unidades astronómicas
1 unidad astronómica	=	149.500.000 km.

Imaginarse gráficamente el megapársec es imposible. Incluso si se disminuye el kilómetro hasta el grosor de un cabello (0.05 mm), el megapársec superará aún la capacidad de imaginación humana, ya que resulta igual a  $1\frac{1}{2}$  miles de millones de kilómetros, es decir, a 10 veces la distancia de la Tierra al Sol.

Haremos todavía una comparación que quizá ayude a comprender la magnitud inimaginable del megapársec. Un hilo de tela de araña extendido desde Moscú hasta Leningrado pesaría 10 g; desde la Tierra hasta la Luna pesaría 6 kg. El mismo hilo, alargado hasta el Sol,

tendría un peso de 2.5 toneladas, pero extendido en la longitud de un megaparsec, debería pesar

¡500.000.000.000 de toneladas!

[Volver](#)

### El sistema de las estrellas más próximas

Hace relativamente bastante tiempo, unos 100 años atrás, se supo que el sistema estelar más próximo es una estrella doble de primera magnitud de la constelación austral Centauro. Los últimos años enriquecieron nuestros conocimientos sobre este sistema con detalles interesantes.

Fue descubierta cerca de  $\alpha$  del Centauro una pequeña estrella de 11<sup>a</sup> magnitud, que con las dos estrellas  $\alpha$  del Centauro constituye un sistema de estrella triple. Que esa tercera estrella pertenece físicamente al sistema  $\alpha$  del Centauro, a pesar de que la separa en el cielo una distancia de más de 2°, se confirma por la igualdad de sus movimientos: las tres estrellas se desplazan con la misma velocidad en la misma dirección. La particularidad más notable de la tercera estrella de este sistema es que está situada en el espacio más cerca de nosotros que las otras dos, y por esto debe considerarse como la más próxima de todas las estrellas cuyas distancias han sido determinadas hasta ahora. Esta estrellita se llama así: "Próxima". Se encuentra más cerca de nosotros que las estrellas  $\alpha$  del Centauro (las llamadas  $\alpha$  del Centauro A y  $\alpha$  del Centauro B) 3960 unidades astronómicas. He aquí sus paralajes:

$\alpha$ del Centauro (A y B)	0.751
Próxima del Centauro	0.762

Como las estrellas A y B están separadas una de otra por una distancia de sólo 34 unidades astronómicas, todo el sistema tiene una forma bastante extraña, representada en la figura 84. Las estrellas A y B están separadas entre sí un poco más que Urano del Sol. Próxima dista de ellas 59 años-luz. Estas estrellas cambian lentamente de posición: el período de revolución de las estrellas A y B alrededor de su centro común de gravitación es igual a 79 años. Próxima realiza una vuelta en más de 100 000 años, de modo que no hay por qué temer que dentro de poco tiempo deje de ser la estrella más cercana a nosotros y ceda su lugar a una de las  $\alpha$  del Centauro.

¿Qué se sabe de las propiedades físicas de las estrellas de este sistema? Alfa del Centauro A, en cuanto a brillo, masa y diámetro, apenas es un poco mayor que el Sol (figura 85). Alfa del Centauro B posee una masa un poco menor, tiene un diámetro 1/5 mayor que el Sol, pero brilla tres veces menos, y, en correspondencia con esto, también su temperatura superficial (4400°) es más baja que la del Sol (6 000°).

Aún más fría es Próxima: su temperatura superficial es de 3000°; es una estrella de luz rojiza. Su diámetro es 14 veces menor que el del Sol, es decir, que esta estrellita es incluso un poco más pequeña que Júpiter y Saturno (en masa, sin embargo, los supera centenares de veces). Si nos transportáramos a  $\alpha$  del Centauro A, veríamos desde allí a la estrella B aproximadamente con las mismas dimensiones con que nuestro Sol brilla en el cielo de



Figura 84. El sistema de las estrellas más próximas al Sol:  $\alpha$  del Centauro A y B, y Próxima del Centauro

Urano. Próxima parecería desde allí una pequeña y pálida estrellita, pues está 250 veces más lejos que Plutón del Sol y 1000 veces más lejos que Saturno.

Después de la estrella triple  $\alpha$  del Centauro, el vecino más próximo de nuestro Sol es una estrella muy pequeña (de magnitud 9.7) de la constelación del Dragón, llamada "Estrella voladora". Recibió esta denominación por el movimiento visible, de extraordinaria rapidez, que posee. Esta estrella se halla una vez y media más lejos de nosotros que el sistema  $\alpha$  del Centauro, pero en el hemisferio Norte es nuestra vecina más próxima. Su vuelo en dirección oblicua al movimiento del Sol es tan rápido, que en menos de diez mil años la distancia que nos separa de ella se reducirá a la mitad, y entonces estará más cerca que la estrella triple  $\alpha$  del Centauro.

[Volver](#)

### La escala del universo

Volvamos al modelo reducido del sistema solar que hemos construido mentalmente, según las indicaciones del capítulo sobre los planetas, e intentemos terminarlo incluyendo en él al mundo de las estrellas. ¿Qué resultará?

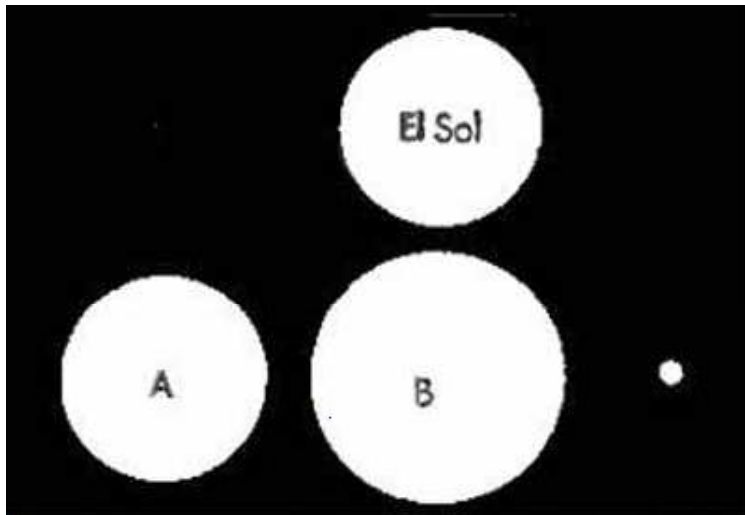


Figura 85. Dimensiones comparadas del Sol y las estrellas que forman el sistema  $\alpha$  del Centauro

Recordará usted que en nuestro modelo el Sol se representaba con una esfera de 10 cm de diámetro, y todo el sistema planetario, con un círculo de 800 m de diámetro. ¿A qué distancia del Sol habría que colocar las estrellas si se quisiera mantener exactamente la misma escala? Es fácil calcular que, por ejemplo, Próxima del Centauro -la estrella más cercana- estaría a una distancia de 2700 km; Sirio, a 5500 km; Altaír, a 9700 km. Incluidas estas estrellas más cercanas, el modelo apenas cabría en Europa. Para estrellas más alejadas tomemos una unidad de medida mayor que el kilómetro, a saber, los 1000 km, unidad que recibe el nombre de "megámetro" (Mm). De estas unidades hay en total 40 en la circunferencia del globo terrestre, y 380 entre la Tierra y la Luna. En nuestro modelo, Vega estaría a 17 Mm, Arturo a 23 Mm, Capeta a 28 Mm, Regulo a 55 Mm, Deneb (a del Cisne) a más de 350 Mm.

Consideremos este último número: 350 Mm = 350000 km, es decir, un poco menos de la distancia a la Luna. Como se ve, nuestro modelo reducido, en el que la Tierra era una cabecita de alfiler y el Sol una pelota de croquet, también adquiere dimensiones cósmicas. Nuestro modelo todavía no está terminado. Las estrellas más alejadas de la Vía Láctea se hallarían en él a una distancia de 30000 Mm, casi 100 veces más lejos que la Luna. Pero la

Vía Láctea no es todo el universo. Más allá de sus límites hay otros sistemas estelares, por ejemplo, el visible a simple vista en la constelación de Andrómeda, o los también perceptibles por nuestros ojos de las Nubes de Magallanes. En nuestro universo reducido habría que representar la Pequeña Nube de Magallanes por un objeto de 4000 Mm de diámetro, y la Nube Mayor, por otro con un diámetro de 5500 Mm, alejados, en el modelo, 70000 Mm de la Vía Láctea. A la nebulosa de Andrómeda deberíamos darle en el modelo un diámetro de 60000 Mm y separarla de la Vía Láctea 500000 Mm, es decir, una distancia icasi igual a la que separa a Júpiter de la Tierra!

Los cuerpos celestes más alejados de que actualmente se ocupa la astronomía son las nebulosas estelares, que son acumulaciones de innumerables estrellas situadas mucho más allá de los límites de nuestra Vía Láctea. Su distancia al Sol supera los 1.000.000.000 de años-luz. Invitamos al lector a calcular él mismo cómo deberían representarse estas distancias en nuestro modelo. De este modo, el lector se formará una idea de las dimensiones de la parte del espacio que es accesible a los medios ópticos de la astronomía contemporánea. El lector encontrará también una serie de comparaciones relacionadas con lo aquí expuesto en mi libro *¿Sabe usted física?*

A quien le interesen particularmente las estrellas y la estructura del universo le aconsejo leer atentamente los siguientes libros:

- Vorontzov - Veliaminov B. A., *Ensayo sobre el universo*, Editorial Técnica del Estado, 1955.
- Pola, I. F., *Curso de Astronomía General*, Editorial Técnica del Estado, 1955.

[Volver](#)



## Capítulo Quinto



## LA GRAVITACIÓN

Contenido

[Un cañonazo hacia arriba](#)

[El peso a gran altura](#)

[Las trayectorias de los planetas con el compás](#)

[La caída de los planetas en el Sol](#)

[El yunque de Vulcano](#)

[Los límites del sistema solar](#)

[Un error en una novela de Julio Verne](#)

[Cómo fue pesada la Tierra](#)

[Cuál es la composición del interior de la Tierra](#)

[El peso del Sol y el de la Luna](#)

[El peso y la densidad de los planetas y de las estrellas](#)

[La gravedad en la Luna y en los planetas](#)

[Gravedad "record"](#)

[La gravedad en el interior de los planetas](#)

[El problema del barco](#)

[Las mareas lunares y solares](#)

[La Luna y el estado del tiempo](#)

\* \* \*

### Un cañonazo hacia arriba

¿Dónde caería una granada disparada verticalmente hacia arriba por un cañón situado en el Ecuador? (figura 86). Este problema se debatía veinte años atrás en una revista con referencia a una granada imaginaria arrojada con una velocidad de 8000 m en el primer segundo; esta granada, a los 70 minutos, debería alcanzar una altura de 6400 km (radio terrestre). He aquí lo que decía la revista:

*"Si la granada se arroja verticalmente hacia arriba en el Ecuador, al salir del cañón poseerá además la velocidad angular de los puntos del Ecuador en dirección al Este (465 m/s).*

La granada se trasladará con esta velocidad paralelamente al Ecuador. El punto que se encontraba en el momento del disparo a la altura de 6400 km, verticalmente sobre el punto de partida de la granada, se trasladará en un círculo de radio doble con doble velocidad lineal. Por consiguiente, aventajaría a la granada en dirección al Este. Cuando la granada alcance el punto más alto de su trayectoria, se encontrará verticalmente, no sobre el punto de partida del disparo, sino que estará desviada de él hacia el Oeste. Lo mismo sucede en la

caída de retorno de la granada. Como resultado, al cabo de los 70 minutos empleados en el ascenso y el descenso, la granada se habrá atrasado aproximadamente 4000 km hacia el Oeste.

Ahí es donde hay que esperar su caída. Para hacer que la granada vuelva al punto de partida -es necesario dispararla, no verticalmente, sino algo oblicuamente, en nuestro caso con una inclinación de 5°."

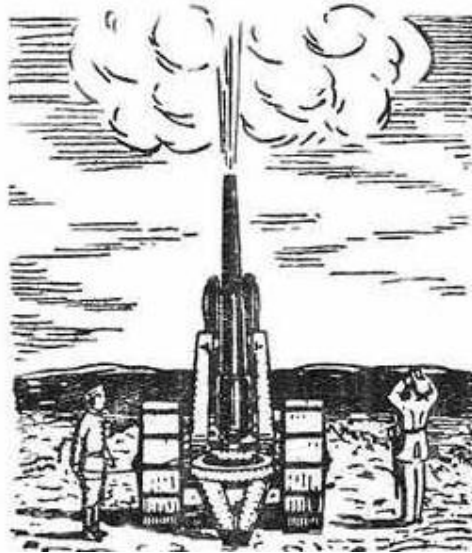


Figura 86. El problema de la bala de cañón disparada verticalmente

De manera completamente distinta resuelve un problema similar Flammarion en su *Astronomía*.

*"Si se dispara un cañonazo verticalmente hacia el cenit, la bala caerá nuevamente en el alma del cañón, aunque durante su elevación y descenso se traslada con la Tierra hacia el Este. La causa es evidente. La bala, elevándose hacia arriba, no pierde nada de la velocidad que el movimiento de la Tierra le comunica. Los dos impulsos recibidos no se oponen: puede ir 1 km hacia arriba y al mismo tiempo hacer, por ejemplo, 6 km hacia el Este. Su movimiento en el espacio seguirá la diagonal de un paralelogramo, uno de cuyos lados es de 1 km y el otro de 6 km. Al caer, por efecto de la gravedad, se moverá según otra diagonal (más exactamente, según una curva, a consecuencia de la aceleración) y caerá nuevamente en el alma del cañón, el cual, como antes, se encuentra en posición vertical."*

Flammarion añade: *"Realizar con éxito semejante experiencia resultaría, sin embargo, bastante laborioso, porque sería difícil encontrar un cañón bien calibrado y nada fácil ponerlo en posición totalmente vertical. Mersenne y Petit intentaron hacer esto en el siglo XVII, pero ni siquiera encontraron su bala después del disparo. Varignon, en la página inicial de su obra Nuevas conjeturas sobre la gravedad (1690), insertaba un dibujo relativo a esto. En dicho dibujo, dos observadores -un monje y un militar- están de pie al lado de un cañón que apunta hacia el cenit y miran hacia arriba, como siguiendo la bala disparada. En el grabado está escrito (en francés) Retombera-t-il? (¿Volverá a caer?). El monje es Mersenne; el militar es Petit. Esta peligrosa experiencia la efectuaron varias veces, y como nunca les resultó bastante acertada como para que la bala les cayera en la cabeza, sacaron la conclusión de que*

*el proyectil se quedaba para siempre en el aire. Varignon se sorprende del hecho: ¡Una bala pendiente sobre nuestras cabezas! Es verdaderamente asombroso. Repitiendo<sup>1</sup> la experiencia en Estrasburgo, la bala cayó a varios cientos de metros del cañón. Es evidente que el arma no había sido dirigida exactamente en dirección vertical."*

Las dos soluciones del problema, como vemos, difieren mucho. Un autor afirma que la bala caerá lejos, hacia occidente del lugar del disparo; otro, que deberá caer en el alma misma del cañón. ¿Quién tiene razón?

En rigor son falsas ambas soluciones, pero la de Flammarion está mucho más cerca de la verdad. La bala debe caer hacia el oeste del cañón; sin embargo, no tan lejos como afirmaba el primer autor y no en el cañón mismo como afirmaba el segundo.

El problema, lamentablemente, no puede ser resuelto con los recursos de la matemática elemental. Por esta razón nos limitaremos a dar el resultado final<sup>2</sup>.

Si llamamos  $v$  a la velocidad inicial de la bala,  $w$  a la velocidad angular de rotación del globo terrestre y  $g$  a la aceleración de la gravedad, la distancia  $x$  del punto de caída de la bala al oeste del cañón se obtiene con las expresiones en el Ecuador

$$x = \frac{4}{3} w \frac{v^3}{g^2}$$

y en la latitud  $\varphi$

$$x = \frac{4}{3} w \frac{v^3}{g^2} \cos \varphi$$

Aplicando la fórmula al problema propuesto por el primer autor, tenemos

$$w = \frac{2\pi}{86.164}$$

$$v = 8.000m/s$$

$$g = 9.8m/s^2$$

Sustituyendo estos valores en la primera fórmula, resulta  $x = 520$  km: la bala caerá 520 km al oeste del cañón (y no a 4 000 km, como pensaba el primer autor).

¿Qué da la fórmula para el caso examinado por Flammarion? El disparo no era efectuado en el Ecuador, sino cerca de Paris, a  $48^\circ$  de latitud. Supondremos la velocidad inicial de la bala del viejo cañón igual a 300 m/s. Sustituyendo en la segunda fórmula

$$w = \frac{2\pi}{86.164}$$

$$v = 300m/s$$

$$g = 9.8m/s^2$$

$$\varphi = 48^\circ$$

<sup>1</sup> Se reproduce como viñeta en la cabecera de este capítulo (N. R.).

<sup>2</sup> Para este fin es imprescindible un cálculo complementario especial, que a petición mía fue efectuado por especialistas. No es posible dar aquí este cálculo en forma detallada.



resulta  $x = 18$  m

la bala caerá a 18 m al oeste del cañón (y no en el alma misma, como suponía el astrónomo francés). En estos cálculos, como se ve, no se ha tenido en cuenta la posible acción de las corrientes de aire, capaces de alterar notablemente el resultado.

[Volver](#)

### El peso a gran altura

En los cálculos anteriores hicimos figurar una circunstancia sobre la cual no hemos llamado hasta ahora la atención del lector. Se trata de que, a medida que un cuerpo se aleja de la Tierra, la fuerza de la gravedad disminuye.

La gravedad no es otra cosa que una manifestación de la gravitación universal, y la fuerza recíproca de atracción de dos cuerpos disminuye rápidamente cuando la distancia entre ellos aumenta. De acuerdo con la ley de Newton, la fuerza de atracción disminuye

proporcionalmente al cuadrado de la distancia; la distancia debe contarse en nuestro caso desde el centro de la esfera terrestre, porque la Tierra atrae a todos los cuerpos como si su masa estuviera concentrada en su centro. Por esto, la fuerza de atracción a la altura de 6 400 km, es decir, en un punto alejado 2 radios terrestres del centro de la Tierra, es cuatro veces menor comparada con la fuerza de atracción en la superficie de la Tierra.

Para una bala de cañón arrojada hacia arriba, esto debe manifestarse haciendo que la bala se eleve más que en el caso de que la gravedad no disminuyera con la altura. Para la bala arrojada verticalmente hacia arriba con una velocidad de 8000 m por segundo, aceptamos que se elevaría a una altura de 6400 km. En cambio, si se calcula la altura de la elevación de este proyectil por la fórmula conocida, sin tener en cuenta la disminución de la gravedad con la altura, se obtiene una altura dos veces menor. Hagamos este cálculo. En los textos de física y de mecánica se encuentra la fórmula para el cálculo de la altura  $h$  a que se eleva un cuerpo arrojado verticalmente hacia arriba, con una velocidad  $v$ , para una aceleración constante  $g$  de la fuerza de la gravedad:

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

En nuestro caso  $v = 8000$  m/s,  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>, y tenemos

$$h = \frac{8.000^2}{2 \times 9.8} = 3.265.000 = 3.265 \text{ km}$$

Esto es casi la mitad de la altura indicada anteriormente. La divergencia obedece, como acabamos de decir, a que utilizando la fórmula dada en los libros de texto no tenemos en cuenta la disminución de la gravedad con la altura.

Es claro que si la bala es atraída por la Tierra más débilmente, tiene que elevarse más a la velocidad dada.

No debe sacarse precipitadamente la conclusión de que las fórmulas que figuran en los libros de texto para el cálculo de la altura que alcanza un cuerpo arrojado hacia arriba no son exactas. Son exactas dentro de los límites para ellas previstos, y resultan inexactas tan pronto como el calculista se sale de los límites indicados. Estas fórmulas son de aplicación cuando se trata de alturas muy pequeñas, para las que la disminución de la gravedad es siempre tan insignificante que se puede despreciar. Así, en el caso de la bala arrojada hacia arriba con una velocidad inicial de 300 m/s, la disminución de la gravedad se hace sentir muy poco.

Pero he aquí un interesante problema: ¿Se hace sentir la disminución de la fuerza de la gravedad a las alturas alcanzadas por los aviones y los aerostatos modernos? ¿Es notable a estas alturas la disminución del peso de los cuerpos? En el año 1936 el aviador Vladimir Kokkinaki subió con su máquina algunas cargas a gran altura: ½ tonelada a la altura de 11.458 m; 1 tonelada a 12.100 m, y 2 toneladas a 11.295 m. Se pregunta: ¿mantenían estas cargas en las alturas "record" indicadas su peso original o perdían allá arriba alguna parte notable de ese peso? A primera vista puede parecer que la elevación sobre la superficie de la Tierra a poco más de una decena de kilómetros no puede disminuir sensiblemente el peso de una carga en un planeta tan grande como la Tierra. En la superficie de la Tierra el peso dista del centro de nuestro planeta 6.400 km; un ascenso de 12 km aumenta esta distancia hasta 6.412 km; el aumento parece demasiado pequeño para que pueda influir en el peso. El cálculo, sin embargo, dice otra cosa: resulta una pérdida de peso bastante sensible.

Hagamos el cálculo para un caso, por ejemplo, para el ascenso de Kokkinaki con una carga de 2000 kg a 11.295 m.

A esta altura el avión se encuentra 6411.3/6400 veces más lejos del centro del globo terrestre que en el momento de su partida. La fuerza de atracción disminuye allí:

$$\left(\frac{6411.3}{6400}\right)^2$$

es decir

$$1 + \left(\frac{6411.3}{6400}\right)^2 \text{ veces}$$

Por consiguiente, el peso a la altura indicada debe ser:

$$2.000 : \left(1 + \frac{6411.3}{6400}\right)^2 \text{ kg}$$

Si se efectúa este cálculo (para lo cual es cómodo utilizar los métodos del cálculo aproximado)<sup>3</sup>, se ve que la carga de 2 000 kg a la altura indicada pesaría sólo 1.993 kg, con lo que sería 7 kg más liviana. La merma en el peso es bastante sensible. Una pesa de un kilogramo a esa altura tiraría en una balanza de resorte sólo como 996.5 g; se perderían 3.5 g de peso.

Una pérdida de peso mayor aún podrían haber descubierto nuestros aeronautas que alcanzaron una altura de 22 km: 7 g por kilogramo.

En el ascenso "record" del aviador Iumashev, que se elevó en 1936 con una carga de 5.000 kg a una altura de 8.919 m, puede calcularse para este peso una pérdida global de 14 kg.

<sup>3</sup> Pueden utilizarse las igualdades aproximadas:

$$(1 + \alpha)^2 = 1 + 2\alpha$$

y

$$1 : (1 + \alpha) = 1 - \alpha$$

en donde  $\alpha$  es una cantidad muy pequeña. Por esto

$$2.000 : \left(1 + \frac{11.3}{6400}\right)^2 = 2000 : \left(1 + \frac{11.3}{3200}\right) = 2000 - \frac{11.3}{1.6} = 2000 - 7$$

En el mismo año 1936 el aviador M. Y. Alekseev elevó a una altura de 12.695 m una carga de 1 t, el aviador N. Nyujtikov elevó a una altura de 7.032 m una carga de 10 t, etc. Utilizando lo expuesto antes, el lector puede efectuar fácilmente el cálculo de la pérdida de peso en cada uno de estos casos.

[Volver](#)

### Las trayectorias de los planetas con el compás

De las tres leyes de los movimientos planetarios arrancadas a la naturaleza con gigantesco esfuerzo por el genio de Kepler, la menos comprensible para muchos puede ser la primera. Esta ley afirma que los planetas se mueven describiendo elipses. ¿Por qué precisamente elipses? Uno pudiera pensar que si en torno al Sol se hace sentir por todas partes la misma fuerza y ésta disminuye con el alejamiento en la misma medida, los planetas deberían dar vuelta alrededor del Sol siguiendo círculos y no trayectorias cerradas y estiradas, en las cuales el Sol no ocupa una posición central. La cuestión queda perfectamente aclarada con el estudio matemático del problema. Pero los conocimientos de matemática superior para ello necesarios los poseen sólo algunos de los aficionados al estudio del cielo. Intentaremos hacer comprensible la validez de las leyes de Kepler para aquellos lectores que sólo conocen las matemáticas elementales.

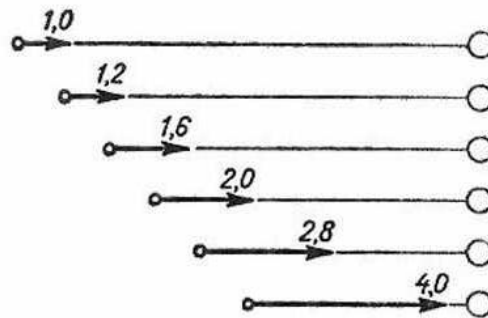


Figura 87. La fuerza de atracción del planeta por el Sol aumenta con la disminución de la distancia

Armados de un compás, una regla graduada y una hoja grande, de papel, vamos a construir nosotros mismos las órbitas de los planetas y a comprobar así gráficamente que esas trayectorias resultan tal como deben ser de acuerdo con las leyes de Kepler.

El movimiento de los planetas está gobernado por la fuerza de la gravitación. Estudiemos esto. El circulito de la derecha en la figura 87 representa un Sol imaginario; a la izquierda de él está un planeta también imaginario. La distancia entre ambos, que suponemos de 1.000.000 km, está representada en el dibujo por 5 cm; la escala es, pues, de 200 000 km por 1 cm.

La flecha de 0.5 cm de longitud representa la fuerza con que nuestro planeta es atraído por el Sol (figura 87). Supongamos que bajo la acción de esta fuerza el planeta se acerca al Sol y se encuentra a una distancia de él de 900.000 km, es decir, de 4.5 cm en nuestro dibujo. La atracción del planeta por el Sol se intensifica entonces, de acuerdo con las leyes de la gravitación,

$$(10/9)^2$$

o sea, 1.2 veces. Si antes la atracción se representaba con una flecha de 1 unidad de longitud, ahora deberá darse a la flecha una longitud de 1.2 unidades. Cuando la distancia disminuye a 800.000 km, es decir, a 4 cm en nuestro dibujo, la fuerza de la atracción crece a

$$(5/4)^2$$

es decir, 1.6 veces y se representa con una flecha de 1.6 unidades. Para posteriores aproximaciones del planeta al Sol, hasta las distancias de 700, 600 y 500 mil kilómetros, la fuerza de atracción se representará respectivamente con flechas de 2, de 2.8 y de 4 unidades de longitud.

Se puede suponer que las flechas representan no sólo las fuerzas de atracción, sino también los desplazamientos que el cuerpo sufre bajo la influencia de estas fuerzas en la unidad de tiempo (en este caso los desplazamientos son proporcionales a las aceleraciones y, por consiguiente, también a las fuerzas). En nuestras construcciones posteriores vamos a utilizar este esquema como patrón de los desplazamientos del planeta.

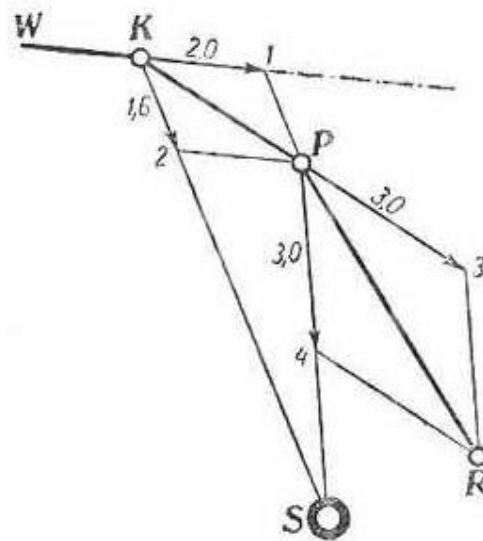


Figura 88. Cómo el Sol S hace que sea curvo el camino WKPR del planeta

Procedamos ahora a la construcción de la trayectoria de un planeta que gira alrededor del Sol. Supongamos que se trata de un planeta de la misma masa que el anteriormente considerado, que se mueve en la dirección WK con velocidad de 2 unidades de longitud y se encuentra en el punto K, a 800 000 km de distancia del Sol (figura 88). A esta distancia la atracción del Sol actuará sobre el planeta con una fuerza tal, que lo obligará a desplazarse en una unidad de tiempo en dirección al Sol 1.6 unidades de longitud; en el mismo espacio de tiempo el planeta se adelanta 2 unidades en la dirección original WK. Como resultado de ambos movimientos se desplazará según la diagonal KP del paralelogramo construido con los desplazamientos KI y K2, diagonal que es igual a 3 unidades de longitud (figura 88). Encontrándose en el punto P, el planeta tratará de moverse más lejos en la dirección KP con una velocidad de 3 unidades.

Pero al mismo tiempo, por efecto de la atracción del Sol a la distancia SP = 5.8, deberá efectuar en la dirección SP el camino P4 = 3. Como resultado, recorre la diagonal PR del paralelogramo.

No nos detendremos en llevar más adelante la construcción en el mismo dibujo: la escala es demasiado grande. Se comprende que cuanto menor es la escala, tanto mayor es la parte de la trayectoria del planeta que puede representarse en el esquema y tanto menor la brusquedad de los ángulos que alteran el parecido de nuestro esquema con la trayectoria

real del planeta. En la figura 89 está hecho el mismo esquema, con una escala mucho menor, para el caso imaginario del encuentro del Sol con un cuerpo celeste de masa igual a la del planeta antes considerado. Se ve claramente que el Sol desvía al planeta extraño de su trayectoria inicial y lo obliga a seguir la curva  $P-1-11-111-IV-V$ . Los ángulos de la trayectoria construida aquí no son tan bruscos y las posiciones sucesivas del planeta no son tan difíciles de unir con una línea curva suave.

¿Que curva es ésta? A contestar esta pregunta nos ayuda la geometría. Pongamos sobre el dibujo (figura 89) una hoja de papel transparente y calquemos en ella seis puntos arbitrariamente elegidos del camino del planeta.

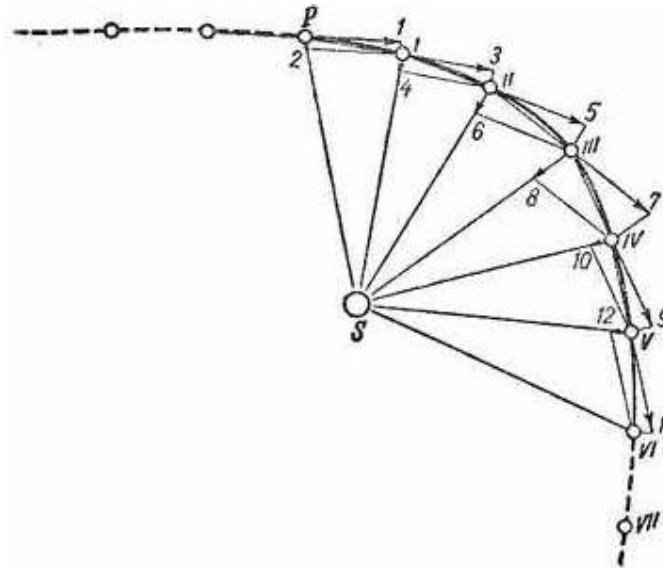


Figura 89. El Sol desvía al planeta P de su trayectoria recta original y lo obliga a describir una línea curva

Numeramos los seis puntos elegidos (figura 90) en cualquier orden y los unimos entre sí en ese mismo orden con segmentos rectos. Nos resultará una figura hexagonal inscrita en el camino del planeta, algunos de cuyos lados se cruzan.

Prolonguemos ahora la recta 1-2 hasta la intersección con la línea 4-5 en el punto 1. Del mismo modo, tendremos el punto 11 en la intersección de las rectas 2-3 y 5-6, y después el punto 111 en las intersecciones 3-4 y 1-6. Si la curva examinada es una de las llamadas "secciones cónicas", es decir, una elipse, una parábola o una hipérbola, los tres puntos 1, 11 y 111 deben estar en línea recta. Este teorema geométrico se denomina "hexágono de Pascal".

Con una ejecución cuidadosa del dibujo, los puntos de intersección indicados quedan siempre en línea recta. Esto demuestra que la curva examinada es una elipse, una parábola o una hipérbola. La curva de la figura 89, evidentemente, no puede ser una elipse (la curva no es cerrada), y esto quiere decir que el planeta se movería en tal caso por una parábola o por una hipérbola. La relación entre la velocidad inicial y la fuerza de la atracción es tal que el Sol sólo desvía al planeta de su trayectoria en línea recta, pero no es capaz de hacerlo girar a su alrededor, de "prenderlo", como dicen los astrónomos.

Intentemos ahora aclarar por un procedimiento similar la segunda ley del movimiento de los planetas, la llamada ley de las áreas. Examinemos atentamente la figura 21. Doce puntos marcados en ella la dividen en doce partes; no son iguales en longitud, pero ya sabemos que el planeta las recorre en tiempos iguales.

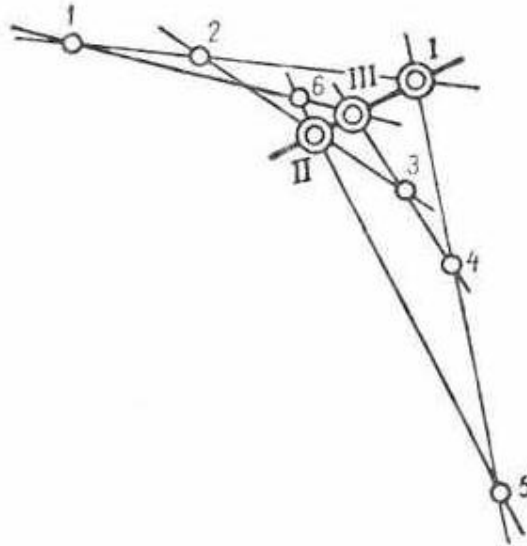


Figura 90. Demostración geométrica de que los planetas se mueven alrededor del Sol, siguiendo una sección cónica. (Detalles en el texto)

Uniendo los puntos 1, 2, 3, etc. con el Sol, se obtienen 12 figuras cuyas superficies son aproximadamente iguales a las de los triángulos que resultan si se unen esos puntos con cuerdas. Midiendo las bases y las alturas, calcule usted las áreas. Comprobará que todos los triángulos tienen la misma área. En otras palabras, ha verificado usted la segunda ley de Kepler:

*"Los radios vectores de las órbitas de los planetas barren áreas iguales en períodos de tiempo iguales."*

Así, pues, el compás, hasta cierto punto, ayuda a comprender las dos primeras leyes de los movimientos de los planetas. Para aclarar la tercera ley cambiemos el compás por la pluma y efectuemos algunos ejercicios numérico;

[Volver](#)

### La caída de los planetas en el Sol

¿Se ha puesto a pensar alguna vez en lo que sucedería con nuestra Tierra si al encontrarse con un obstáculo repentinamente se detuviera en su camino alrededor del Sol?

Ante todo, naturalmente, la gigantesca reserva de energía latente en nuestro planeta como cuerpo en movimiento se transformaría en calor y encendería el globo terrestre.

La Tierra corre por su órbita decenas de veces más veloz que una bala, y no es difícil calcular que la transformación de la energía de este movimiento en calor produciría una extraordinaria elevación de temperatura que instantáneamente transformaría nuestro mundo en una nube gigantesca de gases incandescentes...

Pero aun si la Tierra en su detención brusca escapara a este destino, estaría igualmente condenada a una catástrofe ígnea; atraída por el Sol, se dirigiría hacia él con una velocidad creciente y perecería en un abrazo de fuego.

Esta fatal caída empezaría lentamente, con velocidad de tortuga; en el primer segundo la Tierra se aproximaría al Sol sólo 3 mm. Pero, en cada segundo, la velocidad crecería progresivamente y alcanzaría en el último segundo 600 km. Con esta inconcebible velocidad se precipitaría el globo terrestre sobre la superficie incandescente del Sol.

Es interesante calcular cuánto tiempo duraría este vuelo fatal. ¿Se prolongaría mucho la agonía de nuestro mundo? A hacer este cálculo nos ayuda la tercera ley de Kepler, la cual se refiere al movimiento no sólo de los planetas, sino también de los cometas y de todos los cuerpos celestes que se mueven en el espacio sometidos a la gravitación universal. Esta ley relaciona el período de revolución de un planeta (su "año") con su distancia al Sol, y dice

*"Los cuadrados de los períodos de revolución de los planetas se relacionan entre sí como los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas."*

En nuestro caso podemos comparar el globo terrestre volando en línea recta hacia el Sol con un cometa imaginario que se mueve por efecto de la gravitación según una elipse ceñida y muy aplastada, cuyos puntos extremos están situados: uno, en la órbita de la Tierra, y el otro, en el centro del Sol. El semieje mayor de la órbita de este cometa, evidentemente, es igual a la mitad del semieje mayor de la órbita de la Tierra. Calculemos cuál debe ser el período de revolución de este cometa imaginario.

Formemos la proporción, basados en la tercera ley de Kepler

$$\frac{(\text{período de revolución de la tierra})^2}{(\text{período de revolución del cometa})^2} = \frac{(\text{semieje mayor de la órbita de la Tierra})^3}{(\text{semieje mayor de la órbita del cometa})^3}$$

El período de revolución de la Tierra es igual a 365 días; tomemos como unidad el semieje mayor de su órbita y entonces el semieje mayor de la órbita del cometa será igual a 0,5. Nuestra proporción toma ahora la siguiente forma:

$$\frac{365^2}{(\text{período de revolución del cometa})^2} = \frac{1}{0.5^3}$$

de donde

$$(\text{período de revolución del cometa})^2 = 365^2 / 8$$

Por consiguiente,

$$\text{el período de revolución del cometa} = 365 / (2\sqrt{2})$$

Nos interesa propiamente no el período entero de revolución de este cometa imaginario, sino la mitad de su período, es decir, la duración del vuelo en un sentido: de la órbita de la Tierra hasta el Sol. Éste será el tiempo de duración de la caída de la Tierra en el Sol que buscamos. Calculemoslo

$$\frac{365}{\sqrt{8}} : 2 = \frac{365}{2\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{32}} = \frac{365}{5.65}$$

Por lo tanto, para saber en cuánto tiempo la Tierra caería en el Sol es necesario dividir la duración del año por  $\sqrt{32}$ , o sea, por 5.65. Esto da, en números redondos, 65 días. Así, pues, hemos calculado que la Tierra, súbitamente detenida en su movimiento por su órbita, caería en el Sol al cabo de algo más de dos meses.

Es fácil comprender que la sencilla fórmula obtenida más arriba, basándonos en la tercera ley de Kepler, es aplicable no solamente a la Tierra, sino a cualquier otro planeta y aun a cada uno de los satélites. En otras palabras, que para saber en cuánto tiempo un planeta o un satélite caería sobre su astro central es necesario dividir su período de revolución por  $\sqrt[3]{32}$ , o sea, por 5.65.

Así, por ejemplo, Mercurio, el planeta más próximo al Sol caería en el Sol en  $15\frac{1}{2}$  días. Neptuno, cuyo "año" es igual a 165 años terrestres, caería en el Sol en 29 años, y Plutón, en 44 años.

¿En cuánto tiempo caería sobre la Tierra la Luna si bruscamente detuviera su carrera? Dividamos el tiempo de revolución de la Luna, 27.3 días, por 5.6, y nos da, casi exactamente, 5 días. Y no sólo la Luna, sino cualquier otro cuerpo que se encontrara a la misma distancia de nosotros que la Luna caería en la Tierra al cabo de 5 días, siempre que no poseyera ninguna velocidad inicial y estuviera sometido sólo a la influencia de la atracción terrestre (despreciamos la influencia del Sol, para simplificar). Utilizando la misma fórmula, es fácil calcular el tiempo que duraría el viaje a la Luna de que habla Julio Verne en su novela *De la Tierra a la Luna*<sup>4</sup>.

[Volver](#)

### El yunque de Vulcano

La fórmula indicada nos permitirá resolver un curioso problema mitológico: El antiguo mito griego de Vulcano nos cuenta que dicho dios dejó caer cierta vez su yunque y que éste cayó desde el cielo durante 9 días seguidos antes de llegar a la Tierra. A juicio de los griegos, este plazo correspondía a la gran altura del cielo en que moraban sus dioses; pues de la cúspide de la pirámide de Cheops, el yunque habría caído a la Tierra en sólo 5 segundos.

Es fácil ver, sin embargo, que el espacio celeste de los antiguos griegos, si se le mide de acuerdo con ese dato, era un tanto reducido en comparación con los conocimientos actuales. Sabemos que la Luna caería en la Tierra al cabo de 5 días y que el yunque mítico cayó en 9 días. Esto quiere decir que el "cielo" desde el cual cayó el yunque se encuentra más allá de la órbita de la Luna. ¿Estará muy lejos? Si multiplicamos 9 días por  $\sqrt[3]{32}$ , sabremos el período de tiempo en que el yunque daría una vuelta alrededor del globo terrestre, como si fuera un satélite de nuestro planeta:  $9 \times 5.6 = 51$  días.

Apliquemos ahora a la Luna y a nuestro yunque-satélite imaginario la tercera ley de Kepler. Planteemos la proporción:

$$\frac{(\text{período de revolución de la Luna})^2}{(\text{período de revolución del yunque})^2} = \frac{(\text{distancia de la Luna})^3}{(\text{distancia del yunque})^3}$$

Sustituyendo por los valores correspondientes, tenemos

$$\frac{(27.3)^2}{(51)^2} = \frac{(380.000)^3}{(\text{distancia del yunque})^3}$$

En donde es fácil calcular la distancia desconocida del yunque a la Tierra:

$$\text{distancia del yunque} = \sqrt[3]{\frac{51^2 \times 380.000^3}{27.3^2}} = 380.000 \sqrt[3]{\frac{51^2}{27.3^2}}$$

El cálculo, da el siguiente resultado: 580 000 km.

<sup>4</sup> Los cálculos están en mi libro Viajes interplanetarios.



Vemos, pues, cuán pequeña sería, a juicio de un astrónomo contemporáneo, la distancia a que se encontraba el cielo de los antiguos griegos: en total, una vez y media la distancia que nos separa de la Luna. El mundo de los antiguos terminaba donde, según las ideas actuales; apenas si empieza.

[Volver](#)

### Los límites del sistema solar

La tercera ley de Kepler da también la posibilidad de calcular a qué distancia está la frontera de nuestro sistema solar, si se toman como límites de éste los puntos más alejados (afelios) de las órbitas de los cometas. Ya hemos hablado antes sobre esto; ahora haremos el cálculo correspondiente. En el capítulo Tercero hablamos de los cometas que tienen un período de revolución muy largo: 776 años. Calculemos la distancia  $x$  del afelio de uno de esos cometas, sabiendo que su distancia menor al Sol, el perihelio, es igual a 1800000 km. Tomemos en calidad de segundo astro a la Tierra y hagamos la siguiente proporción:

$$\frac{776^2}{1^2} = \frac{\left[\frac{1}{2}(x + 1.800.000)\right]^3}{150.000.000^3}$$

de donde

$$x + 1.800.000 = 2 \times 150.000.000 \times \sqrt[3]{776^2}$$

y por consiguiente

$$x = 25.318.000.000 \text{ km}$$

Vemos que el cometa alcanza una distancia 182 veces mayor que la de la Tierra -al Sol, o sea, que llega cuatro veces y media más lejos que el más' distante de los planetas conocidos por nosotros, que es Plutón.

[Volver](#)

### Un error en una novela de Julio Verne

El cometa imaginario "Galia", en el que Julio Verne desarrolla la acción de su novela *Héctor Servadac*, da una vuelta completa alrededor del Sol exactamente en dos años. Otra indicación que se encuentra en la novela es la distancia del afelio de este cometa, 820 millones de kilómetros del Sol. Aunque la distancia del perihelio no se indica en la novela, con estos dos datos podemos afirmar que tal cometa no puede existir en nuestro sistema planetario. Esto lo prueba un sencillo cálculo hecho de acuerdo con la tercera ley de Kepler. Llamemos  $x$  a la distancia desconocida del perihelio en millones de km. El eje mayor de la órbita del cometa será  $x + 820$  millones de km, y el semieje mayor

$$\frac{x + 820}{2}$$

millones de km. Comparando el período de revolución y la distancia del cometa con el período y la distancia de la Tierra, tenemos, de acuerdo con la ley de Kepler

$$\frac{2^2}{1^2} = \frac{(x + 820)^3}{2^3 \times 150^3}$$

de donde

$$x = - 343$$

Un resultado negativo para la magnitud de la menor distancia del cometa al Sol indica que hay alguna discordancia en los datos iniciales del problema. En otras palabras, un cometa con un período de revolución tan corto, 2 años, no podría, alejarse tanto del Sol como se indica en la novela de Julio Verne.

[Volver](#)

### Cómo fue pesada la Tierra

Se cuenta humorísticamente el caso de un hombre ingenuo que se admiraba, más que de ningún otro conocimiento astronómico, de que los sabios supieran cómo se llaman las estrellas. Hablando en serio, la más sorprendente conquista de los astrónomos parecería ser que hayan podido pesar la Tierra y los lejanos astros del cielo. En realidad, ¿de qué manera, en qué balanza pesaron la Tierra y los demás astros?

Empecemos con el peso de la Tierra. Ante todo, digamos qué debe entenderse con la expresión "peso de la esfera terrestre". Llamamos peso de un cuerpo a la presión que ejerce sobre su apoyo o a la tensión que ejerce en el punto de que está suspendido. Pero ni uno ni otro de estos conceptos es aplicable al globo terrestre; la Tierra no se apoya en nada ni está suspendida de nada. Es tanto como decir que, en este sentido, la esfera terrestre no tiene peso. ¿Qué determinaron, pues, los hombres de ciencia "al pesar" la Tierra? Determinaron su masa. En realidad, cuando nosotros pedimos pesar en el almacén 1 kg de azúcar, en nada nos interesa la fuerza con que el azúcar presiona sobre el platillo o tira del resorte.

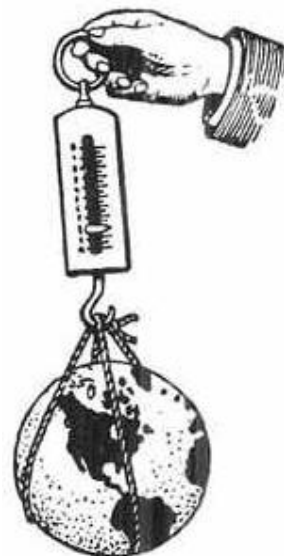


Figura 91. ¿En qué balanza se pudo pesar la Tierra?

Del azúcar nos interesa otra cosa: pensamos solamente en cuántos vasos de té podemos, beber con ese azúcar; en otras palabras, nos interesa la cantidad de materia que contiene. Pero para medir la cantidad de materia hay un único procedimiento: determinar la fuerza con que el cuerpo es atraído por la Tierra. Aceptamos que pesos iguales corresponden a cantidades iguales de materia y juzgamos la masa de un cuerpo sólo por la fuerza con que es atraído, ya que la atracción es proporcional a la masa.

Volviendo al peso de la Tierra diremos qué se determina su "peso" cuando se logra conocer su masa es decir; el problema de la determinación del peso de la Tierra hay que entenderlo como el problema del cálculo de su masa.

Describamos uno de los procedimientos para resolverlo (método de Jolly, 1871) . En la figura 92 se ve una balanza de platillos muy sensible, en la que, de cada uno de los extremos de la cruz, están colgados dos platillos livianos, uno superior y otro inferior. La distancia del superior al inferior es de 20 a 25 cm. En el platillo inferior derecho colocamos una carga esférica de masa  $m_1$ . Para equilibrarla, en el platillo superior izquierdo colocamos una carga  $m_2$ . Estas cargas no son iguales, ya que, encontrándose a distinta altura, son atraídas por la Tierra con distinta fuerza.

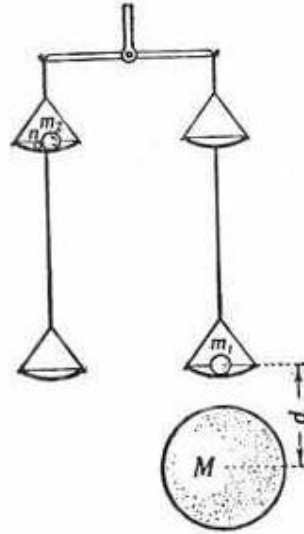


Figura 92. Uno de los procedimientos para la determinación de la masa de la Tierra: la balanza de Jolly

Si debajo del platillo inferior derecho colocamos una esfera grande de plomo de masa  $M$ , entonces el equilibrio de los pesos se altera, ya que la masa  $m$ , será atraída por la masa  $M$  de la esfera de plomo con la fuerza  $F$  proporcional al producto de estas masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $d$  que separa sus centros

$$F = k \frac{m_1 M}{d^2}$$

en donde  $k$  es la llamada constante de gravitación.

Para restablecer el equilibrio alterado, colocamos en el platillo superior izquierdo de la balanza una pequeña carga de masa  $n$ . La fuerza con que ella presiona sobre el platillo de la balanza, es igual a su peso, es decir, es igual a la fuerza de atracción que ejerce sobre esta carga la masa toda de la Tierra. Esta fuerza  $F'$  es igual a

$$F' = k \frac{n M_T}{R^2}$$

donde  $M_T$  es la masa de la Tierra y  $R$  su radio.

Despreciando la ínfima influencia que la presencia de la esfera de plomo ejerce sobre las cargas que se encuentran en el platillo superior izquierdo, podemos escribir la ecuación de equilibrio en la forma siguiente:

$$F = F' = \frac{m_1 M}{d^2} = \frac{n M_T}{R^2}$$

En esta relación todas las magnitudes, con excepción de la masa de la Tierra  $M_T$  pueden ser medidas. Esto permite determinar  $M_T$ . En una de las experiencias realizadas se tuvo:

$$M = 5775.2 \text{ kg}, \quad R = 6366 \text{ km}, \quad d = 56.86 \text{ cm} \quad m = 5.00 \text{ kg} \quad y \quad n = 589 \text{ mg}.$$

Y, finalmente, la masa de la Tierra resultó ser igual a  $6.15 \times 10^{27}$  g. La masa de la Tierra, según numerosos cálculos recientes, basados en un gran número de mediciones, es:  $M_T = 5.974 \times 10^{27}$  g, es decir, cerca de 6000 trillones de toneladas. El error posible de estos cálculos no es mayor de 0.1 % .

Así determinaron los astrónomos la masa del globo terrestre. Tenemos pleno derecho a decir que pesaron la Tierra, pues cada vez que pesamos un cuerpo en la balanza de brazos, en realidad no determinamos su peso ni la fuerza con que es atraído por la Tierra, sino su masa: comprobamos solamente qué masa del cuerpo es igual a la masa de las pesas.

[Volver](#)

### **Cuál es la composición del interior de la Tierra**

Aquí es oportuno señalar un error que se suele encontrar en libros y artículos de divulgación. Tratando de simplificar la cuestión, los autores exponen el problema del peso de la Tierra de este modo: los sabios determinaron el peso medio de  $1 \text{ cm}^3$  de nuestro planeta (es decir, su peso específico) y, tras haber calculado geoméricamente su volumen, determinaron el peso de la Tierra multiplicando su peso específico por su volumen. El camino indicado, sin embargo, es irrealizable no se puede medir directamente el peso específico de la Tierra, ya que solamente nos es accesible su parte externa, su envoltura superficial<sup>5</sup>, relativamente delgada, y nada sabemos de los materiales que constituyen la parte restante, mucho mayor, de su volumen.

Y sabemos que el problema se resolvió a la inversa: se determinó primero la masa del globo terrestre y luego su densidad media. Ésta resultó igual a  $5.5 \text{ g por cm}^3$ , mucho mayor que la densidad media de las rocas que forman la corteza terrestre, lo cual prueba que en las profundidades del globo terrestre yacen materiales muy pesados. Basándose en un peso específico supuesto y en otros factores, antes se pensaba que el núcleo de nuestro planeta estaba constituido por hierro fuertemente condensado por la presión de la masa que está encima. Actualmente se supone que, en líneas generales, la parte central de la Tierra no se distingue por su composición de la corteza, pero que su densidad es mayor a consecuencia de la gigantesca presión que soporta.

[Volver](#)

### **El peso del Sol y el de la Luna**

Aunque parezca extraño, el peso del lejano Sol resulta mucho más fácil de determinar que el de nuestra vecina la Luna. (Se entiende que la palabra "peso", en relación con estos astros, la tomamos en el mismo sentido convencional que para la Tierra: se trata de la determinación de la masa.)

La masa del Sol se determinó mediante el razonamiento siguiente. La experiencia prueba que  $1 \text{ g}$  atrae  $1 \text{ g}$  a la distancia de  $1 \text{ cm}$  con una fuerza igual a  $1/15.000.000 \text{ mg}$

La atracción mutua  $f$  de los dos cuerpos de masa  $M$  y  $m$  a la distancia  $D$ , de acuerdo con la ley de la atracción universal, se expresa así

$$f = \frac{1}{15.000.000} \times \frac{Mm}{D^2} \text{ mg}$$

Si  $M$  es la masa del Sol (en gramos),  $m$  la masa de la Tierra,  $D$ , la distancia entre ambos, igual a  $150.000.000 \text{ km}$ , su atracción mutua en miligramos es igual a

<sup>5</sup> Los minerales de la corteza terrestre han sido investigados sólo hasta una profundidad de  $25 \text{ km}$ ; el cálculo indica que, en cuanto a la composición mineralógica, se ha estudiado solamente  $1/83$  del volumen del globo terrestre.

$$\frac{1}{15.000.000} \times \frac{Mm}{15.000.000.000.000^2} \text{ mg}^6$$

Por otra parte, esta fuerza de atracción es la fuerza centrípeta que mantiene a nuestro planeta en su órbita, la cual, de acuerdo con las reglas de la mecánica, es igual (también en miligramos) a  $\frac{mV^2}{D}$  donde  $m$  es la masa de la Tierra (en gramos),  $V$  su velocidad circular (igual a 30 km/s = 3 000 000 cm/s) y  $D$  la distancia de la Tierra al Sol. Por consiguiente,

$$\frac{1}{15.000.000} \times \frac{Mm}{D^2} = m \times \frac{3.000.000^2}{D}$$

De esta ecuación resulta, para la incógnita  $M$  (expresada, como se dijo, en gramos:

$$M = 2 \times 10^{33} \text{ g} = 2 \times 10^{27} \text{ toneladas}$$

Dividiendo esta masa por la masa del globo terrestre, es decir, calculando

$$2 \times 10^{27} / 6 \times 10^{21} = 1.000.000/3$$

o sea, que la masa del Sol es unas 330.000 veces mayor que la de la Tierra.

Otro procedimiento para la determinación de la masa del Sol está basado en la utilización de la tercera ley de Kepler.

De la ley de la gravitación universal, se deduce la tercera ley en la forma siguiente

$$\frac{(M_s + m_1)T_1^2}{(M_s + m_2)T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

en donde  $M_s$  es la masa del Sol,  $T$  el período de revolución sinódica del planeta,  $a$  la distancia media del planeta al Sol y  $m$  la masa del planeta. Aplicando esta ley a la Tierra y a la Luna, tenemos

$$\frac{(M_s + m_L)T_T^2}{(m_T + m_L)T_L^2} = \frac{a_T^3}{a_L^3}$$

Sustituyendo  $a_T$ ,  $a_L$ ,  $T_T$  y  $T_L$ , por sus valores, deducidos de observaciones, y despreciando, para una primera aproximación en el numerador la masa de la Tierra (pequeña si se compara con la masa del Sol) y en el denominador la masa de la Luna. (pequeña comparada con la masa de la tierra), resulta ,

$$M_s / m_T = 330.000$$

Sabiendo la masa de la Tierra, deducimos la masa del Sol. Así, pues, el Sol es un tercio de un millón de veces más pesado que la Tierra. Es fácil calcular también la densidad media del globo solar: para esto basta dividir su masa por, su volumen. Resulta que la densidad del Sol es, aproximadamente, cuatro veces menor que la de la Tierra.

Por lo que se refiere a la masa de la Luna, como dijo un astrónomo, "aunque está tan cerca de nosotros, más que todos los demás cuerpos celestes, es más difícil pesarla que pesar a

<sup>6</sup> Más exactamente, dinas; 1 dina = 0.98 mg.

Neptuno, el más alejado (entonces) de los planetas". La Luna no tiene satélite que ayude a calcular su masa, como acabamos de calcular la masa del Sol. Los hombres de ciencia tuvieron que acudir a otros métodos mucho más complejos, de los cuales citaremos uno solo. Se reduce a la comparación de la altura de las mareas producidas por el Sol con la de las mareas producidas por la Luna.

La altura de las mareas depende de la masa y de la distancia del cuerpo que las produce, y como la masa y la distancia del Sol son conocidas y la distancia de la Luna también, por la comparación de las alturas de las mareas se determina la masa de la Luna. Ya volveremos a este cálculo cuando hablemos de las mareas. Ahora damos solamente el resultado final. La masa de la Luna es  $1/81$  de la masa de la Tierra (figura 93).

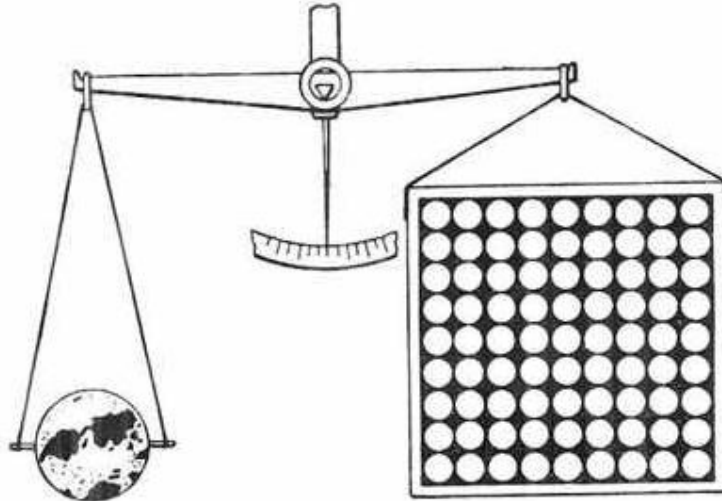


Figura 93. La Tierra "pesa" 81 veces más que la Luna

Sabiendo el diámetro de la Luna, calculamos su volumen: resulta ser 49 veces menor que el volumen de la Tierra.

De acuerdo con esto, la densidad media de nuestro satélite es  $49/81 = 0.6$  de la densidad de la Tierra

Lo cual quiere decir que la Luna está constituida en conjunto por una materia más liviana que la de la Tierra, pero mucho más densa que la del Sol. Luego veremos que la densidad media de la Luna es superior a la densidad media de la mayoría de los planetas.

[Volver](#)

### El peso y la densidad de los planetas y de las estrellas

El procedimiento seguido para determinar el "peso" del Sol es aplicable a la determinación del peso de cualquier planeta que tenga por lo menos un satélite.

Sabiendo la velocidad media  $v$  del movimiento del satélite por su órbita y su distancia media  $D$  al planeta, igualamos la fuerza centrípeta que mantiene al planeta en su órbita,

$$F = \frac{mv^2}{D}$$

con la fuerza de la atracción mutua del satélite y el planeta, es, decir

$$F = k \frac{mM}{D^2}$$

expresión en la que  $k$  es la fuerza de atracción de 1 g a 1 g a la distancia de 1 cm,  $m$  es la masa del satélite y  $M$  la masa del planeta:

$$\frac{mv^2}{D} = k \frac{mM}{D^2}$$

de donde

$$M = Dv^2$$

fórmula con la cual es fácil calcular la masa  $M$  del planeta. La tercera ley de Kepler, aplica a este caso, nos da

$$\frac{(M_S + m_p)T_p^2}{(m_p + m_S)T_S^2} = \frac{a_p^3}{a_S^3}$$

Y de aquí, despreciando en los paréntesis los sumandos pequeños, sacamos la relación de la masa del Sol a la masa del planeta  $M_S / m_p$ . Conociendo la masa del Sol, se puede determinar fácilmente la masa del planeta.

Un cálculo semejante es aplicable a las estrellas dobles, con la única diferencia de que entonces, como resultado del cálculo, no se obtiene por separado la masa de cada estrella del par dado, sino la suma de sus masas.

Mucho más difícil es determinar la masa de los satélites de los planetas y, también, la masa de los planetas que no tienen satélites.

Por ejemplo, las masas de Mercurio y de Venus se calcularon partiendo de la influencia perturbadora que ejercen uno sobre otro, sobre la Tierra y sobre el movimiento de unos cometas.

Para los asteroides, cuyas masas son tan pequeñas que no ejercen unas sobre otras ninguna influencia perturbadora notable, el problema de la determinación de la masa, en general, está sin resolver. Sólo se conoce, y en forma problemática, el límite superior de la masa total de todos éstos minúsculos planetas.

Por la masa y el volumen de los planetas es fácil calcular su densidad media. Los resultados se dan en la tabla siguiente:

Densidad de la Tierra = 1			
Mercurio	1.00	Júpiter	0.24
Venus	0.92	Saturno	0.13
La Tierra	1.00	Urano	0.23
Marte	0.74	Neptuno	0.22

La tabla nos dice que la Tierra y Mercurio son los planetas más densos de nuestro sistema. Las reducidas densidades medias de los planetas mayores se explican porque el núcleo central sólido de cada planeta mayor está cubierto por una atmósfera gigantesca que es de masa pequeña, pero que aumenta mucho el volumen del planeta.

[Volver](#)

### La gravedad en la Luna y en los planetas

Las personas poco conocedoras de la astronomía manifiestan a menudo asombro porque los hombres de ciencia que no han visitado la Luna y los planetas, hablan en tono seguro sobre la fuerza de la gravedad existente en sus superficies. Es muy fácil, no obstante, calcular

cuántos kilogramos deberá pesar una pesa transportada a otro astro. Para esto sólo se necesita conocer el radio y la masa del cuerpo celeste.



Figura 94. Lo que pesaría un hombre en los distintos planetas

Determinemos, por ejemplo, la intensidad de la gravedad en la Luna. La masa de la Luna, como sabemos, es 81 veces menor que la masa de la Tierra. Si la Tierra poseyera una masa tan pequeña, la tensión de la fuerza de la gravedad en su superficie sería 81 veces menor que la actual. Pero, de acuerdo con la ley de Newton, una esfera atrae como si toda su masa estuviera concentrada en su centro.

El centro de la Tierra dista de su superficie un radio terrestre; el centro de la Luna dista de su propia superficie un radio lunar. Pero el radio lunar constituye los 27/100 del terrestre, y por la disminución de la distancia 27/100 veces, la fuerza de atracción se aumenta  $(100/27)^2$  veces. Esto significa, en resumen, que la fuerza de atracción en la superficie de la Luna es

$$\frac{100^2}{27^2 \times 81} \approx \frac{1}{6} \text{ de la terrestre}$$

Así, una pesa de 1 kg transportada a la superficie de la Luna no pesaría allí más que 1 de kg, pero, naturalmente, la

Así, una pesa de 1 kg transportada a la superficie de la Luna no pesaría allí más que 1/6 de kg, pero, naturalmente, la disminución del peso sólo podría ponerse de manifiesto mediante una balanza de resorte (figura 94), y no con una de brazos.

Una curiosidad interesante es que, si en la Luna hubiera agua, un nadador se sentiría en el agua de la Luna igual que en la Tierra. Su peso disminuiría seis veces. Pero como también disminuiría igual número de veces el peso del agua desplazada por él, la relación entre estos pesos sería la misma que en la Tierra y el nadador se sumergiría en el agua lunar lo mismo que en el agua terrestre.

En cambio, el esfuerzo para elevarse sobre el agua le daría en la Luna un resultado mucho mayor; como el peso del cuerpo del nadador disminuye, puede ser levantado con un menor esfuerzo de los músculos.



A continuación se da una tabla del valor de la gravedad en los distintos planetas, en comparación con la Tierra.

Mercurio	0.26	Saturno	1.13
Venus	0.90	Urano	9.85
Tierra	1.00	Neptuno	1.14
Marte	0.37	Plutón	¿
Júpiter	2.64		

Como indica la tabla, la Tierra ocupa en lo tocante a gravedad el cuarto lugar en el sistema solar, después de Júpiter, Neptuno y Saturno<sup>7</sup>.

[Volver](#)

### Gravedad "record"

La gravedad alcanza su mayor valor en la superficie de aquellos "enanos blancos", del tipo de Sirio B, de que hablamos en el capítulo IV. Se comprende fácilmente que la gigantesca masa de estos astros, en relación con su pequeño radio, debe determinar una fuerza de atracción sumamente intensa en sus superficies. Hagamos el cálculo para la estrella de la constelación de Casiopea cuya masa es 2.8 veces mayor que la masa de nuestro Sol y cuyo radio es dos veces menor que el radio de la Tierra. Recordando que la masa del Sol es 330000 veces mayor que la de la Tierra, deducimos que la fuerza de la gravedad en la superficie de la estrella mencionada supera la de la Tierra en

$$2.8 \times 330.000 \times 2^2 = 3.700.000 \text{ veces.}$$

1 cm<sup>3</sup> de agua, que pesa en la Tierra 1 g, pesaría en la superficie de esta estrella casi 3¾ toneladas (!); 1 cm<sup>3</sup> de materia de la misma estrella (que es 36.000.000 de veces más densa que el agua) debe tener, en ese asombroso mundo, el peso excepcional de

$$3.700.000 \times 36.000.000 = 133.200.000.000.000 \text{ g.}$$

Un dedal de materia que pesa cien millones de toneladas; he aquí una curiosidad sobre cuya existencia en el universo no pensaban hasta hace poco ni los más audaces fantaseadores.

[Volver](#)

### La gravedad en el interior de los planetas

¿Cómo variaría el peso de un cuerpo si fuera transportado a las profundidades de un planeta, por ejemplo, al fondo de una mina de extraordinaria profundidad?

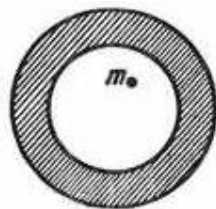


Figura 95. Un cuerpo que se halle dentro de una envoltura esférica,

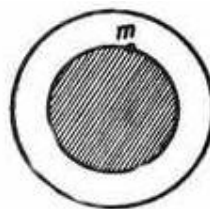


Figura 96. ¿De qué depende el peso del cuerpo en el interior del

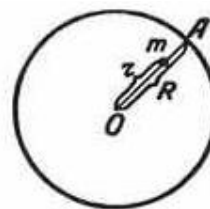


Figura 97. Cálculo de la variación del peso de un cuerpo

<sup>7</sup> Quien desee conocer más detalladamente las manifestaciones de la gravitación en el universo, encontrará muchas informaciones valiosas en el libro, escrito en un lenguaje al alcance de todos, del profesor K. L. Baev La gravitación universal, 1936.

*no tiene peso                      planeta?                      como consecuencia  
de su acercamiento  
al centro del  
planeta*

Muchos creen erróneamente que en el fondo de esta mina el cuerpo debería hacerse más pesado, pues está más cerca del centro del planeta, es decir, del punto hacia el cual son atraídos todos los cuerpos. Este razonamiento, sin embargo, no es correcto: la fuerza de atracción hacia el centro del planeta no crece con la profundidad, sino que, a la inversa, disminuye. Una explicación de esto, al alcance de todos, podrá encontrarla el lector en mi *Física recreativa*. Para no repetir lo allí dicho, me limitaré a indicar lo que sigue.

En mecánica se demuestra que un cuerpo situado en la cavidad de una envoltura esférica homogénea está totalmente desprovisto de peso (figura 95). De donde se deduce que un cuerpo que se encuentra dentro de una esfera maciza y homogénea, está sólo sujeto a la atracción de la parte de materia comprendida en la esfera de radio igual a la distancia del cuerpo al centro (figura 96).

Apoyándose en esto, es fácil deducir la ley según la cual varía el peso de un cuerpo a medida que se aproxima al centro del planeta. Llamemos  $R$  al radio del planeta (figura 97); y  $r$  a la distancia del cuerpo al centro del planeta. La fuerza de atracción del cuerpo en este punto deberá crecer

$$\left(\frac{R}{r}\right)^2 \text{ veces}$$

y al mismo tiempo disminuir  $\left(\frac{R}{r}\right)^3$  veces, ya que la parte del planeta que ejerce atracción

disminuye este número de veces ( $R$ ), es decir,  $r$  veces. En conclusión, la fuerza de atracción deberá disminuir

$$\left(\frac{R}{r}\right)^3 : \left(\frac{R}{r}\right)^2$$

es decir,  $\frac{R}{r}$  veces

Esto significa que en el interior de los planetas el peso de un cuerpo debe disminuir tantas veces cuantas disminuya su distancia al centro. Para un planeta de las dimensiones de la Tierra, que tiene un radio de 6400 km, un descenso de 3200 km debe acompañarse de una reducción del peso a la mitad; un descenso de 5600 km, de una reducción del peso igual a

$$6.400/(6.400-5.000)$$

es decir, ocho veces.

En el centro mismo del planeta, el cuerpo debería perder su peso por completo, ya que

$$6.400/(6.400-6.400) = 0$$

Por otra parte, este resultado era de prever sin necesidad de cálculo, puesto que en el centro del planeta el cuerpo es atraído en todos los sentidos con la misma fuerza por la materia que lo rodea.

Los razonamientos anteriores se refieren a un planeta imaginario homogéneo en cuanto a densidad. A los planetas verdaderos sólo pueden aplicarse con reservas. En particular, para el globo terrestre, cuya densidad en las capas profundas es mayor que cerca de la superficie, la ley de la variación de la gravedad con la aproximación al centro se aparta algo de lo que acabamos de decir: hasta cierta profundidad (relativamente no muy grande), la atracción crece, y sólo para las profundidades siguientes empieza a disminuir.

[Volver](#)

### El problema del barco

#### Pregunta

¿Cuándo pesa menos un barco, en una noche con Luna o en una noche sin Luna?

#### Solución

El problema es más complejo de lo que parece. No se puede contestar inmediatamente que en una noche con Luna el barco, como todos los objetos que se hallan en la mitad del globo terrestre iluminada por ella, debe ser menos pesado que en una noche sin Luna porque la "Luna lo atrae". Pues, al mismo tiempo que al barco, la Luna atrae también a toda la Tierra. En el vacío, todos los cuerpos sometidos a la gravitación se mueven con la misma velocidad; la Tierra y el barco reciben por efecto de la atracción de la Luna aceleraciones iguales, y no debería manifestarse una disminución del peso del barco. Y, sin embargo, el barco iluminado por la Luna es más liviano que en una noche sin Luna.

Expliquemos por qué. Sea  $O$  (figura 98) el centro del globo terrestre,  $A$  y  $B$  el barco en puntos diametralmente opuestos de la esfera,  $r$  el radio de la esfera y  $D$  la distancia del centro  $L$  de la Luna al centro  $O$  del globo terrestre.

Llamaremos  $M$  a la masa de la Luna y  $m$  a la del barco. Para simplificar el cálculo, tomemos los puntos  $A$  y  $B$  de modo que la Luna se encuentre para ellos, respectivamente, en el cenit y en el nadir.

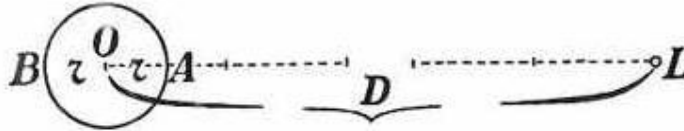


Figura 98. El efecto de la atracción lunar sobre las partículas del globo terrestre

La fuerza con que la Luna atrae al barco en el punto  $A$  (es decir, en una noche con Luna) es igual a

$$F = k \frac{mM}{(D-r)^2}$$

donde  $k = 1/15.000.000$

En el punto  $B$  en una noche sin Luna), el mismo barco es atraído por la Luna con la fuerza

$$F = k \frac{mM}{(D+r)^2}$$

la diferencia de ambas atracciones es igual a

$$kMm \times \frac{4r}{D^3 \left[ 1 - \left( \frac{r}{D} \right)^2 \right]^2}$$

Como  $(r / D)^2 = (1 / 60)^2$  es una magnitud muy pequeña, se puede despreciar. De este modo, la expresión se simplifica mucho y toma la forma

$$kMm \times \frac{4r}{D^3}$$

que transformamos así

$$\frac{kMm}{D^2} \times \frac{4r}{D} = \frac{kMm}{D^2} \times \frac{1}{15}$$

¿Qué representa  $\frac{kMm}{D^2}$  ?

Se comprende fácilmente que es la fuerza con que la Luna atrae al barco a la distancia  $D$  de su centro.

En la superficie de la Luna, el barco cuya masa es igual a  $m$  pesa  $m/6$

A la distancia  $D$  de la Luna es atraído por ésta con la fuerza  $m / 6D^2$ . Como  $D = 220$  radios lunares, se tiene que

$$\frac{kMm}{D^2} = \frac{m}{6 \times 220^2} \approx \frac{m}{300.000}$$

Volviendo ahora al cálculo de la diferencia de las atracciones, tenemos

$$\frac{kMm}{D^2} \times \frac{m}{15} \approx \frac{1}{300.000} \times \frac{m}{4.500.000}$$

Si el peso del barco es de 45 000 toneladas, la diferencia entre el peso de una noche con Luna y el de una noche sin Luna es igual a

$$45.000.000 / 4.500.000 = 10 \text{ kg}$$

Resulta, pues, que en una noche con Luna el barco pesa menos que en una noche sin Luna, aunque una cantidad insignificante.

[Volver](#)

### Las mareas lunares y solares

El problema que acabamos de examinar nos ayuda a comprender la causa fundamental de las mareas. No se debe pensar que la ola de la marea se eleva simplemente porque la Luna o el Sol atraen directamente al agua. Ya hemos explicado que la Luna atrae no sólo lo que se encuentra sobre la superficie de la Tierra, sino toda la esfera terrestre. Lo cierto es, sin embargo, que el astro que ejerce la atracción está más lejos del centro de la Tierra que de las partículas de agua que se hallan en la cara de la Tierra que mira hacia la Luna. La diferencia entre las fuerzas de atracción se calcula del mismo modo que calculamos antes la

diferencia entre las fuerzas de atracción en el caso del barco. En un punto en cuyo cenit está la Luna.

Cada kilogramo de agua es atraído por ella con  $\frac{2kMr}{D^3}$  mas fuerza que un kilogramo de materia en el centro de la Tierra, y el agua situada en un punto diametralmente opuesto de la Tierra, con tanta menos fuerza.

Como consecuencia de esta diferencia el agua se eleva en ambos casos sobre la superficie sólida de la Tierra: en el primero, porque el agua se desplaza más hacia la Luna que la parte sólida del globo terrestre; en el segundo, porque la parte sólida de la Tierra se desplaza hacia la Luna más que el agua<sup>8</sup>.

Una acción parecida ejerce también sobre el agua del océano la atracción del Sol. Pero ¿cuál de las acciones es más fuerte: la del Sol o la de la Luna? Si se comparan sus atracciones por separado resulta que la acción del Sol es más fuerte. En efecto, la masa del Sol es 330 000 veces mayor que la masa de la Tierra; la masa de la Luna es 81 veces menor, o sea, es menor que la solar  $330\,000 \times 81$  veces. La distancia del Sol a la Tierra es igual a 23400 radios terrestres, y la de la Luna a la Tierra, a 60 radios terrestres. Esto quiere decir que la atracción que sobre la Tierra ejerce el Sol con respecto a la atracción que ejerce la Luna es igual a

$$\frac{330.000 \times 81}{23.400^2} : \frac{1}{60^2} \approx 170$$

Así pues, el Sol atrae todos los objetos terrestres con fuerza 170 veces mayor que la Luna. Se podría pensar por esto que las mareas solares son más altas que las lunares. En realidad, sin embargo, se observa lo contrario: las mareas lunares son mayores que las solares. Esto concuerda totalmente con el cálculo si se aplica la fórmula

$$\frac{2kMr}{D^3}$$

Si llamamos  $M_S$  a la masa del Sol,  $M_L$  a la masa de la Luna,  $D_S$  a la distancia del Sol y  $D_L$  a la de la Luna, la relación entre las fuerzas del Sol y de la Luna que engendran las mareas será

$$\frac{2kM_S r}{D_S^3} : \frac{2kM_L r}{D_L^3} = \frac{M_S}{M_L} \times \frac{D_L^3}{D_S^3}$$

Supongamos conocida la masa de la Luna, e igual a 1/80 de la masa de la Tierra. Sabiendo que el Sol está 400 veces más lejos que la Luna tenemos:

$$\frac{M_S}{M_L} \times \frac{D_L^3}{D_S^3} = 330.000 \times 81 \times \frac{1}{400^3} = 0.42$$

Lo cual significa que las mareas producidas por el Sol deben ser aproximadamente 21 veces más bajas que las lunares.

---

<sup>8</sup> Aquí se indica solamente la causa fundamental del flujo y el reflujo; en conjunto el fenómeno es más complejo, pues está condicionado también por otras causas (efecto centrífugo de la rotación del globo alrededor del centro común de las masas de la Tierra y la Luna, etc.).

Es oportuno exponer aquí la forma en que, por comparación de las alturas de las mareas lunares y solares, fue determinada la masa de la Luna. Observar separadamente la altura de unas y otras mareas no es posible; el Sol y la Luna siempre actúan en conjunto. Pero se puede medir la altura de las mareas cuando las acciones de ambos astros se suman (es decir, cuando la Luna y el Sol están colocados en línea recta con la Tierra) y cuando dichas acciones se oponen (la recta que une al Sol con la Tierra es perpendicular a la recta que une a la Luna con la Tierra). Las observaciones mostraron que en el segundo caso las mareas son de altura igual a 0.42 de las primeras. Si la fuerza de la Luna que engendra las mareas es igual a  $x$ , y la del Sol a  $y$ , tenemos que

$$(x + y) : (x - y) = 100 : 42$$

de donde

$$x : y = 71 : 29$$

Como la masa del Sol  $M_S = 330.000 M_T$  ( $M_T$  es la masa de la Tierra), de la última anterior se deduce fácilmente que la masa de la Luna es  $1/80$  de la masa de la Tierra.

[Volver](#)

### La Luna y el estado del tiempo

Muchas personas se interesan por el problema de saber cuál es la influencia que sobre la presión atmosférica pueden ejercer las mareas producidas por la Luna en el océano aéreo de nuestro planeta. El problema tiene una larga historia. Las mareas de la atmósfera terrestre fueron descubiertas por el gran sabio ruso N. V. Lomonosov, que las llamó "olas aéreas". Se han ocupado de estas olas muchos hombres de ciencia; sin embargo; sobre el papel que desempeñan las mareas aéreas existen ideas erróneas muy extendidas. Los no especializados creen que en la ligera y móvil atmósfera de la Tierra, la Luna provoca gigantescas olas de marea, que cambian sensiblemente la presión de la atmósfera y que, por tanto, deben tener un efecto decisivo en meteorología.

Esta opinión es completamente errónea. Se puede demostrar teóricamente que la altura de la marea atmosférica no supera la altura de la marea en medio del océano. Esta afirmación resulta desconcertante, pues si el aire, incluso en las capas inferiores más densas, es casi mil veces más ligero que el agua, cómo es posible que la atracción lunar no lo levante a una altura mil veces mayor? Sin embargo, esto no es más paradójico que las velocidades iguales con que caen en el vacío los cuerpos de pesos diferentes.

Recordemos el experimento que se hace en las escuelas con el tubo vacío, dentro del cual una bolita de plomo cae al mismo tiempo que una pluma. El fenómeno de la marea, en fin de cuentas, viene, a ser como una caída en el espacio universal del globo terrestre y sus envolturas más livianas por efecto de la gravitación de la Luna (y del Sol). En el vacío sideral todos los cuerpos, los pesados y los ligeros, caen con la misma velocidad, reciben de la fuerza de gravitación la misma aceleración, si sus distancias al centro de atracción son iguales.

Lo dicho nos lleva a pensar que la altura de las mareas atmosféricas deberá ser la misma que la de las mareas oceánicas lejos de las costas. En realidad si reparamos en la fórmula que sirve para calcular la altura de las mareas, vemos que en ella figuran solamente las masas de la Luna y de la Tierra, el radio del globo terrestre y las distancias de la Tierra y de la Luna. Ni la densidad del líquido que se levanta ni la profundidad del océano entran en esta fórmula. Si remplazamos el océano de agua por el aire, no alteramos el resultado del cálculo y tenemos para la marea atmosférica la misma altura que para la marea oceánica. Sin embargo, esta última es insignificante. La altura teórica de la mayor marea en mar abierto es de alrededor de medio metro, y sólo la configuración de las costas y del fondo, estrechando la ola de la marea, la levantan en algunos puntos aislados hasta diez metros o

más. Hay aparatos muy interesantes para la predicción de la altura de la marea, en un sitio dado y en cualquier momento, por las posiciones del Sol y de la Luna.

En el inmenso océano del aire nada puede alterar el cuadro teórico de la marea lunar y cambiar su máxima altura teórica, que es de medio metro. Una elevación tan pequeña sólo puede ejercer en la magnitud de la presión atmosférica una influencia muy poco importante. Laplace, que se ocupó de la teoría de las mareas aéreas, llegó a la conclusión de que las oscilaciones de la presión atmosférica a ellas debidas no deben ser mayores de 0.6 mm en la columna de mercurio, y que el viento producido por las mareas atmosféricas puede alcanzar una velocidad no mayor de 7.5 cm/s.

Resulta evidente que las mareas aéreas no pueden desempeñar ningún papel importante como factores del clima.

Estos razonamientos muestran cuán sin fundamento son los intentos de los diversos "profetas de la Luna" de predecir el tiempo por la posición de nuestro satélite en el cielo.

[Volver](#)

