

## 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?](#)

\* \* \*

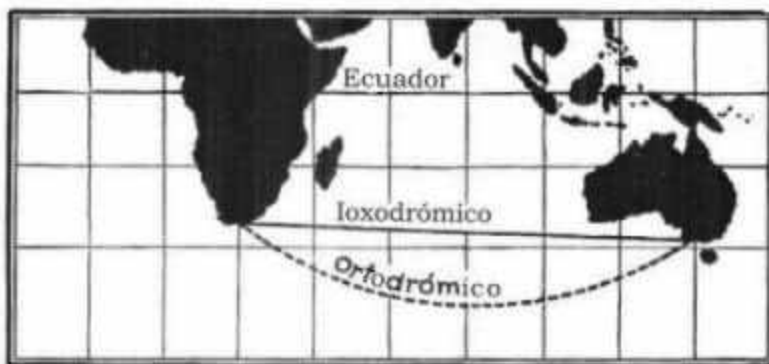
### El Camino más Corto: en la Tierra y en el Mapa

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."

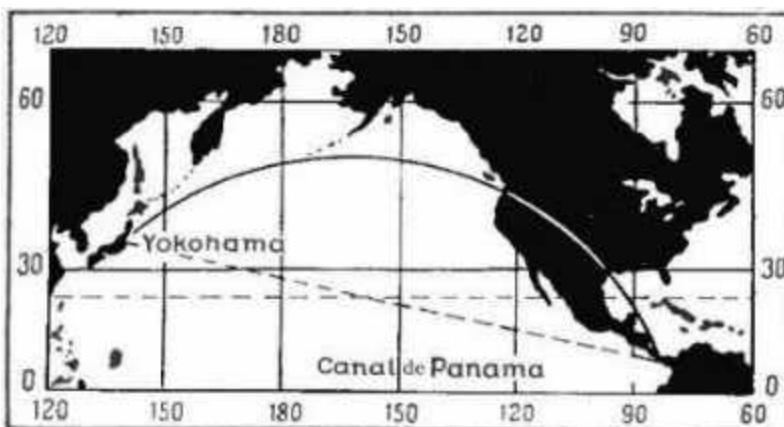


*Figura 1. Las cartas náuticas no designan el camino más corto del Cabo de Buena Esperanza a la punta sur de Australia por una línea recta ("loxodrómica") sino por una curva ("ortodrómica").*

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, un 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  $60^\circ$  de la línea latitudinal donde se encuentran los puertos A y B. El punto C designa el centro de ese círculo latitudinal.

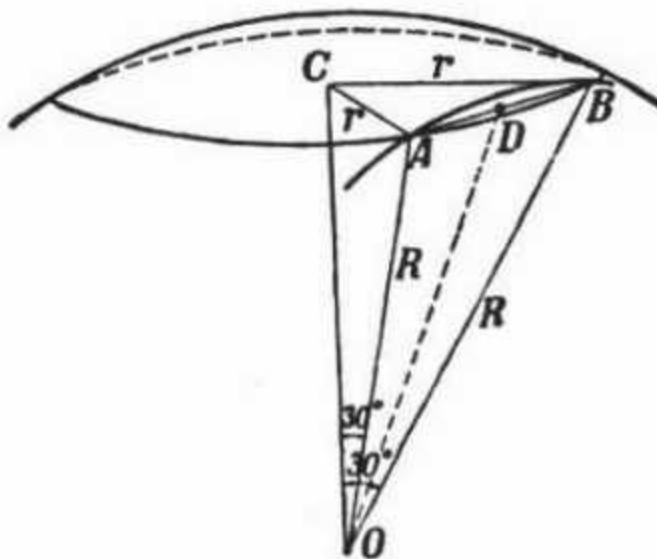


Figura 4. Cómo calcular las distancias entre los puntos A y B en una esfera a lo largo de los arcos del paralelo y el gran círculo.

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  $60^\circ$  de latitud, los radios OA y OB forman un ángulo de  $30^\circ$  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  $30^\circ$ , 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.

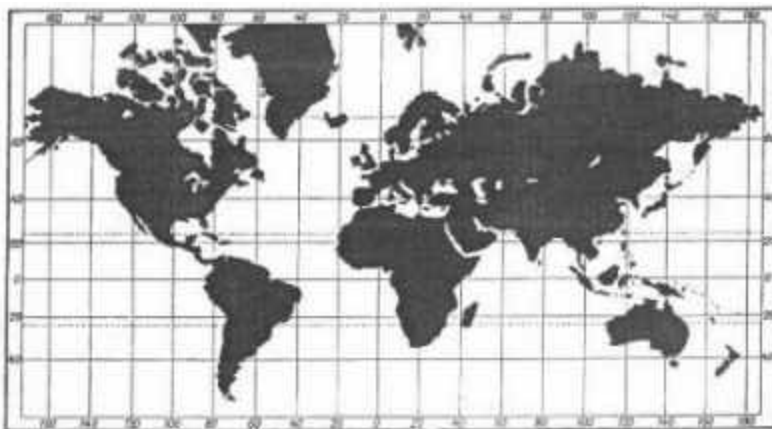
Equipado con un pedazo de hilo y un globo terrestre de escuela, encontrará fácilmente nuestros dibujos correctos y verá por usted mismo que los grandes arcos del círculo realmente son como se muestran allí. La ruta marítima aparentemente "recta" de África a Australia, trazada en la Figura 1, es de 6.020 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, ésa 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  $87^{\circ}50'$  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  $42^{\circ}50'$  y acabando con N  $53^{\circ}50'$  (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.

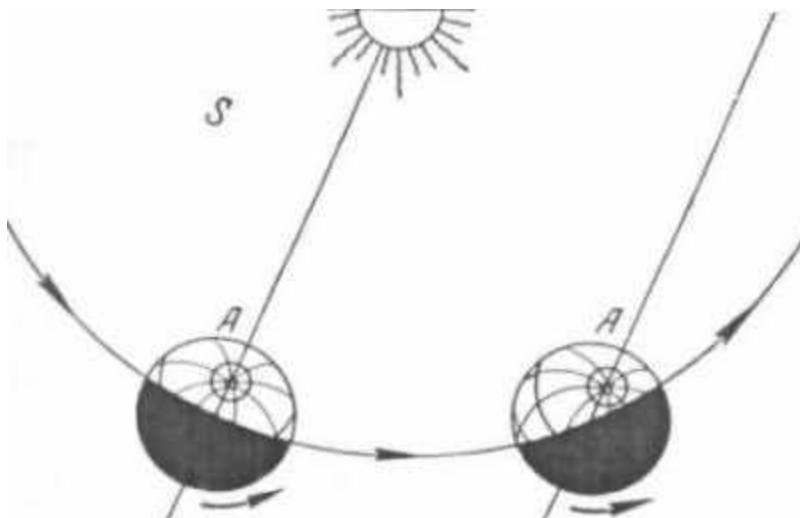


Figura 6. ¿Por qué son los días solares más largos que los días siderales? (Vea el texto para los detalles)

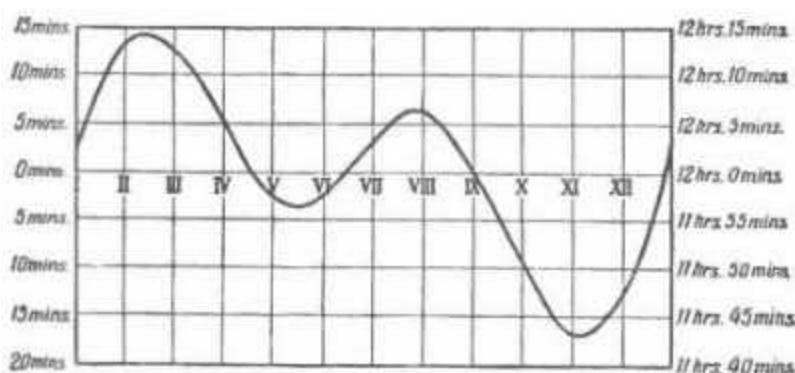
Nuestros relojes no son fijos al Sol real sino que funcionan con relación a un Sol ficticio que ni brilla ni calienta, pero que se ha inventado para el solo propósito de evaluar el tiempo correctamente. Imagine que un cuerpo celeste cuyo movimiento a lo largo del año es constante, tarda exactamente el 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 compilaban 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.

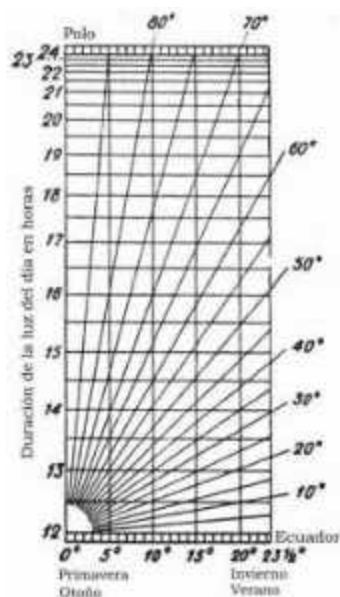


Figura 8. Una tabla de duración de la luz diurna. (vea el texto para los detalles)

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.

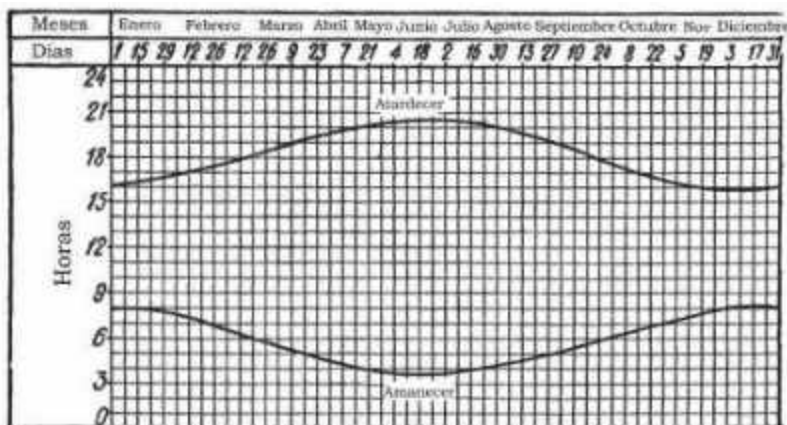


Figura 9. Un mapa anual para la salida y ocaso del sol en el paralelo 50.

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

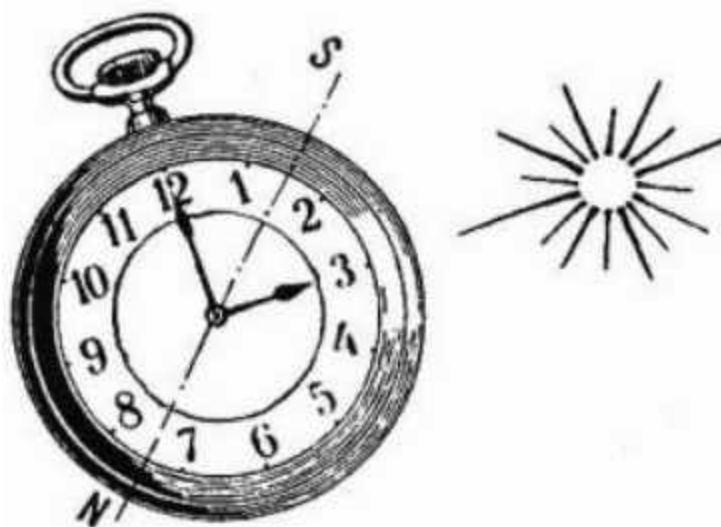
Por consiguiente el tren que se dirige al este es más ligero que el que va al oeste por un fragmento del 0.0003 de su peso. Supongamos, por ejemplo, que consiste en unos 45 vagones cargados, es decir unas 3,500 toneladas métricas. Entonces la diferencia en el peso sería

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

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).

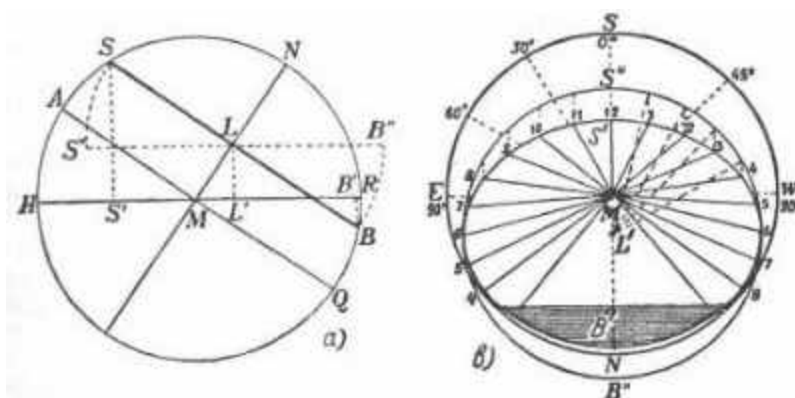


Figura 14. a y b. Por qué el reloj resulta inexacto como brújula.

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  $1/24^a$  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  $65\frac{1}{2}^{\circ}$ , 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  $65\frac{1}{2}^{\circ}$  y  $67\frac{1}{2}^{\circ}$ , el Sol no se pone durante varios días alrededor del 22 de junio. Ésta es la tierra del Sol de media noche.

La característica de la cuarta zona, entre  $67\frac{1}{2}^{\circ}$  y  $83\frac{1}{2}^{\circ}$ , 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  $83\frac{1}{2}^{\circ}$ , 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 auténtica 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 la 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.

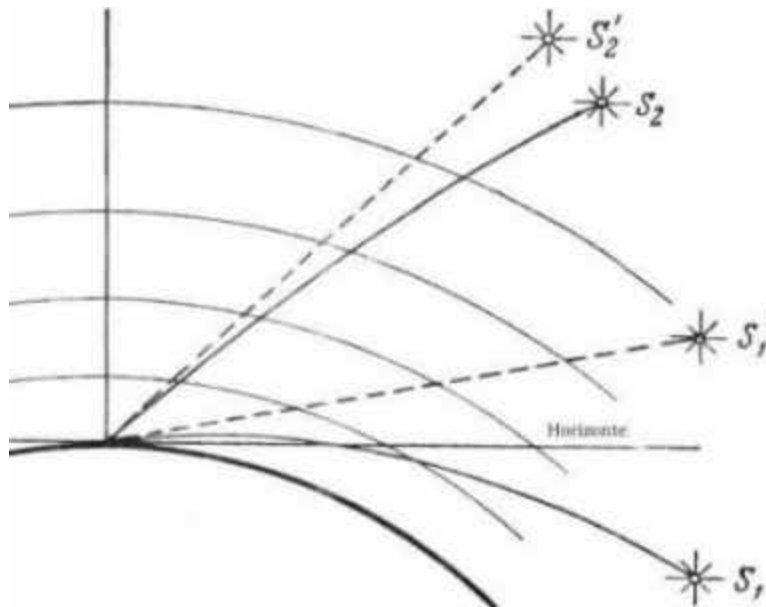
El Verano en el Hemisferio Norte es caluroso, en primer lugar, porque la inclinación del eje de la Tierra, hace los días más largos y las noches más cortas. El Sol calienta la tierra durante un tiempo más largo y no hay ningún enfriamiento pronunciado durante las pocas horas de oscuridad - el flujo de 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*

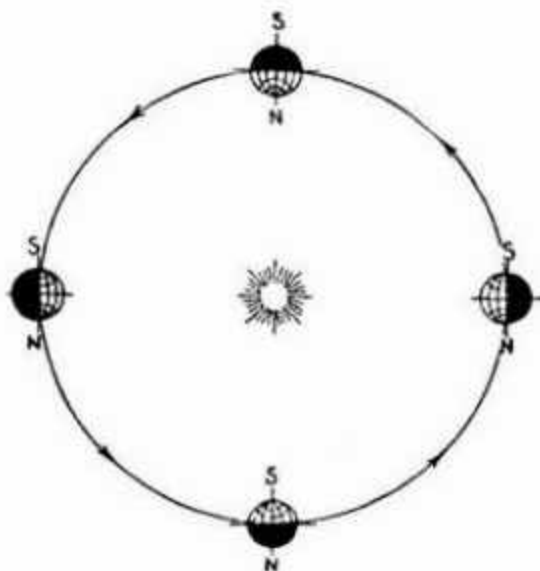
**b. Si el eje de la tierra se inclinara  $45^\circ$  en el plano orbital.**

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 mas 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.

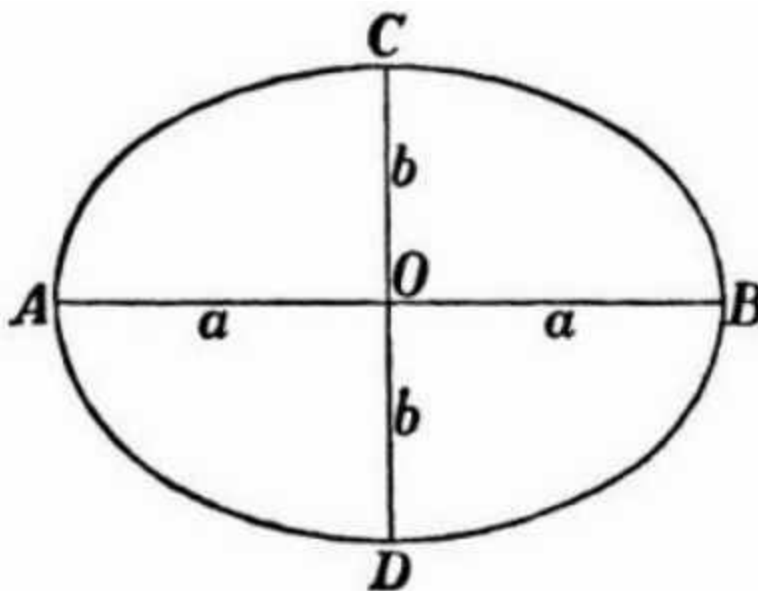


Figura 17. Una elipse y sus ejes, mayor (AB) y menor (el CD). El Punto O designa su centro

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.



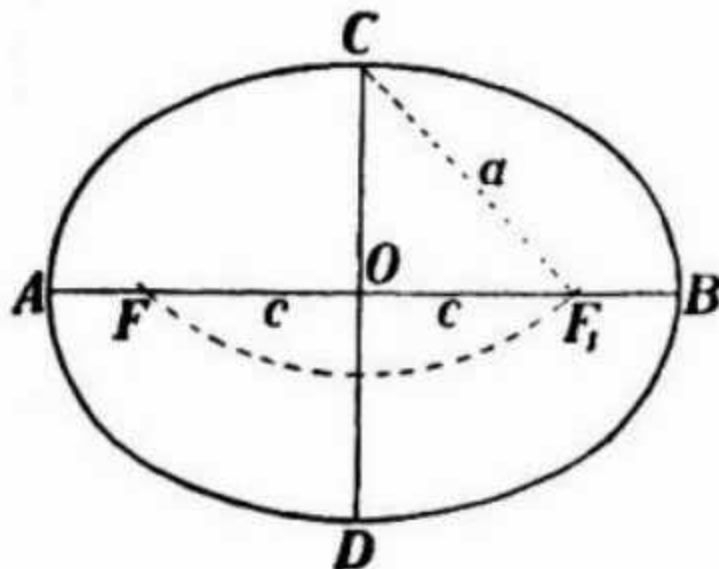


Figura 18. Cómo se localizan los focos de una elipse

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

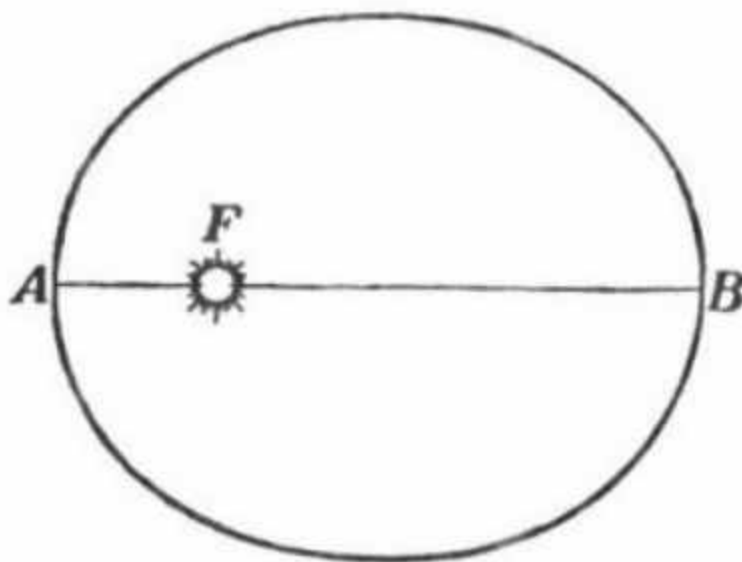
se parecería aproximadamente a un huevo. Ninguna de las órbitas de los planetas mayores en el sistema solar tiene esta excentricidad; La órbita de Plutón, la más prolongada, tiene una excentricidad de 0.25. (los asteroides y los cometas, sin embargo, siguen elipses más pronunciadas.)

[Volver](#)

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

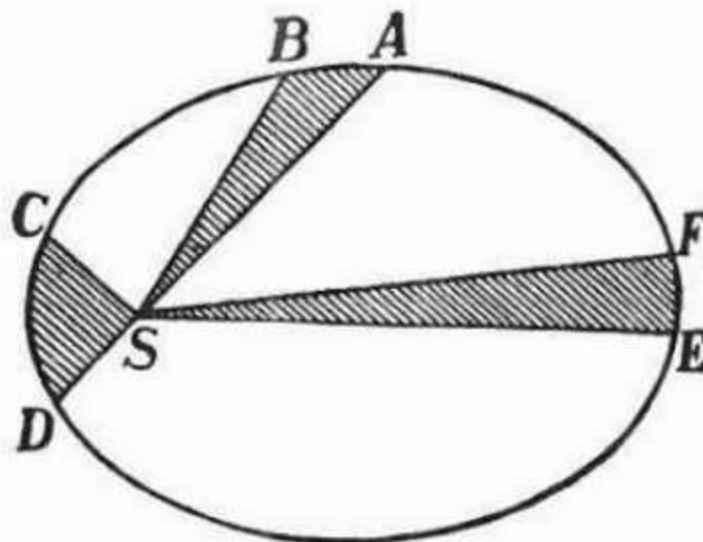
Imagine la órbita de Tierra notoriamente alargada, con el foco dividiendo su semi-eje mayor en la mitad. La figura 19 muestra esta órbita. La Tierra, hasta aquí, estaría en el punto A, el más cercano al Sol, el 1 de enero, y en el punto B, el más lejano, el 1 de Julio. Ya que FB es tres veces FA, el 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).

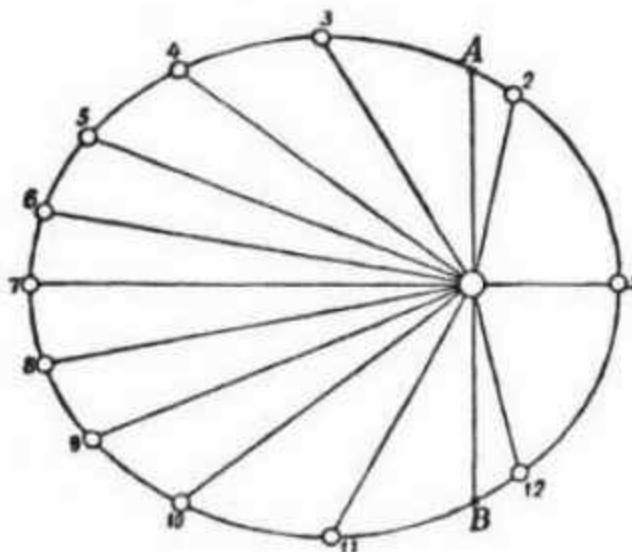


*Figura . 20. Una ilustración de la segunda ley de Kepler: Si el planeta viaja a lo largo de los arcos AB, CD y EF en tiempos iguales, los segmentos sombreados deben ser iguales en cuanto al área.*

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:

<u>Hemisferio Norte</u>	<u>Longitud</u>	<u>Hemisferio Sur</u>
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

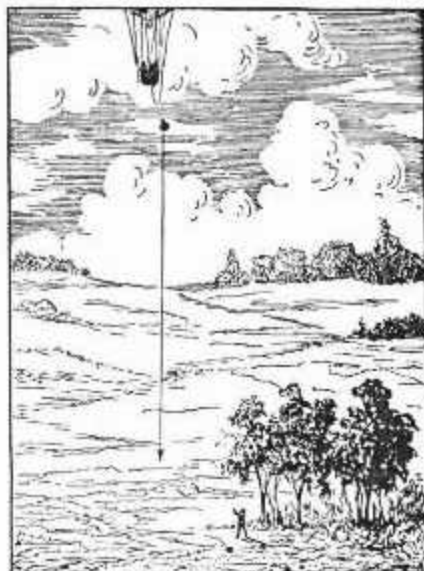
$$2\pi (R+1) = 2\pi R + 2\pi$$

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 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  $1/5000^a$  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.

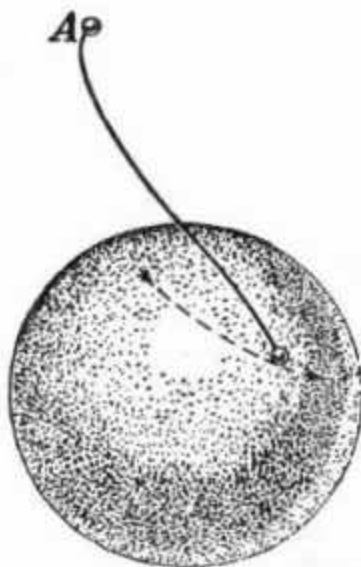


*Figura 24. Cualquiera en nuestro planeta vería un objeto caer libremente a lo largo de una línea recta*

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.

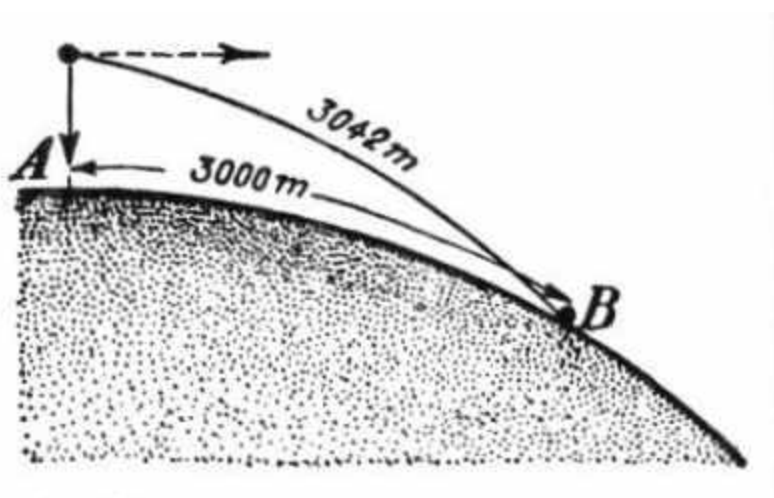
La única razón por la que no notamos esos movimientos suplementarios y rápidos del cuerpo que cae, es porque nosotros también estamos envuelto en ellos. Si pudiéramos evitar la participación en uno de los movimientos de nuestro planeta, veríamos como ese cuerpo no cae verticalmente, sino que sigue otro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

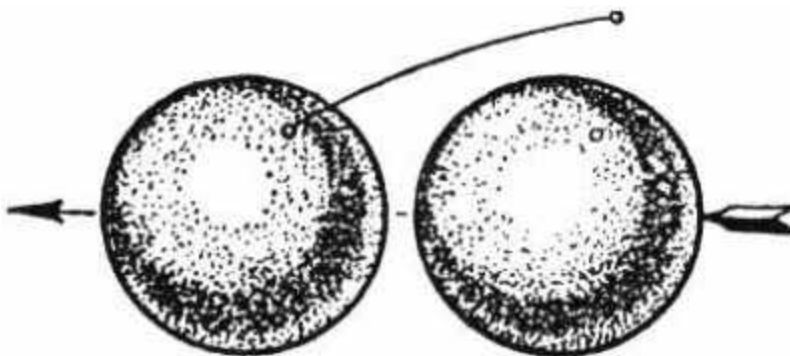
Permítanos ir que uno camina más allá y se imagina en el Sol que observa a través de un telescopio extra-poderoso el vuelo hacia la tierra de esta pelota pesada. En el Sol nosotros

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.

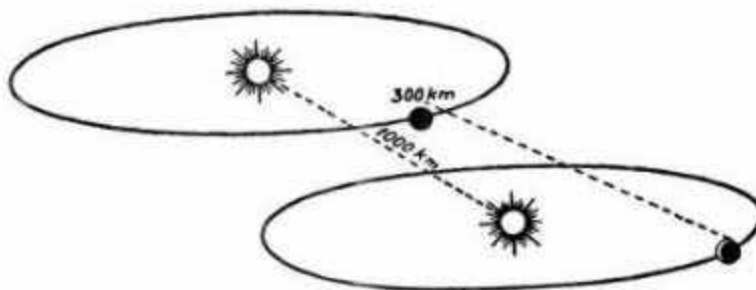
En comparación con este pronunciado movimiento, los otros, de 0.5 km. hacia abajo y de 3 km. a lo largo de la tangente, apenas se distinguirían; desde un mirador en el Sol, solo veríamos el vuelo principal. ¿Qué tendríamos? Aproximadamente lo que vemos ( la escala correcta no ha sido respetada en este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

Últimamente 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.

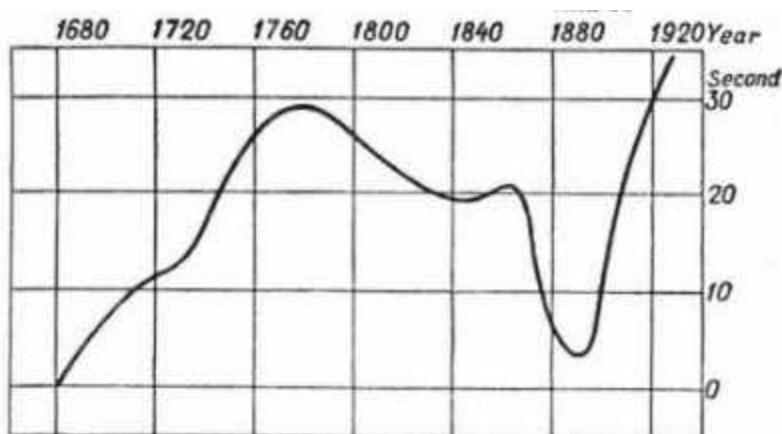
Por ejemplo, la Luna se desvía de su órbita teórica al menos  $1/6^a$  parte de un minuto de un arco en algunas épocas, y el Sol llega a un segundo de arco. Un análisis de estas incongruencias descubrió un rasgo común entre todos: en un período determinado, la velocidad de estos movimientos aumenta y, 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, tómese 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.

