

# El tiempo en Astronomía

JULIETA FERRO



Una propiedad de la naturaleza es el tiempo. Nos podemos dar cuenta del paso del tiempo al observar fenómenos repetitivos, como la sucesión del día y de la noche.

Quizá una de las más antiguas inquietudes del hombre ha sido la de comprender lo que es el tiempo y tratar de medirlo. Galileo, el primer físico experimental de la época moderna, se dio cuenta de que un fenómeno repetitivo como el de las oscilaciones de un largo candil de una iglesia le permitiría medir el tiempo. Lo descubrió comparándolo con su pulso. Inventó el péndulo.

El lector puede fácilmente construir uno, usando cualquier objeto colgado de un cordón, y comprobar por sí mismo lo que descubrió Galileo, a saber, que la frecuencia del péndulo depende de su longitud. Sugerimos que el lector construya un péndulo bastante largo, lo ponga a oscilar y lo vaya acortando, jalando del cordón. A simple vista podrá notar cómo se mueve más rápido entre menor sea la longitud de la cuerda.

El pulso de una persona sana es de entre 78 y 80 pulsaciones por minuto. Desde luego que este número puede cambiar: aumenta con el calor y el ejercicio físico. Galileo hizo su experimento cómodamente sentado, por consiguiente su pulso fue bastante estable. El lector puede medir su pulso colocando suavemente sus dedos índice, medio y anular de una mano, sobre la vena que está bajo la muñeca, poco antes del pulgar de la otra mano.

La medición del tiempo utilizando péndulos se ha empleado incluso en tiempos recientes. Durante la revolución francesa se trató de redefinir la unidad de tiempo, de tal manera, que hubiera diez horas durante el día divididas en cien minutos y en cien segundos. Así, la unidad de segundo sería el lapso que le tomaría a un péndulo de un metro de longitud completar una oscilación. Esta propuesta no tuvo

éxito, y aunque sí utilizamos el metro definido parcialmente de esta manera, seguimos empleando la unidad de segundo inventada por los caldeos hace unos tres mil años.

### Los relojes antiguos

Una herramienta que ha inventado el hombre es el reloj, instrumento que mide intervalos de tiempo.

Ya desde la antigüedad se utilizaban relojes de arena y clepsidras inventadas por los egipcios y los chinos, los lapsos correspondían al tiempo que le tomaba a una cantidad de agua determinada, pasar de un recipiente a otro por un orificio pequeño. De hecho, una cafetera donde escurre el agua de un recipiente a otro, como una *Melita*, es una clepsidra, ya que siempre tarda lo mismo en preparar esa bebida aromática. Sin embargo, la clepsidra, al igual que el reloj de arena, es incapaz de medir tiempos absolutos y es bastante imprecisa.

### El gnomon

Un intervalo que nos da noción de tiempo es la sucesión del día y la noche. Observando la posición del Sol en el cielo se puede tener una idea de la hora. Cerca del ecuador, el Sol se levanta al amanecer por el horizonte Este, como a las 6 a.m., a mediodía está casi encima de nuestras cabezas, y al atardecer se mete en el horizonte Oeste, como a las 7 a.m. A esta unidad le llamamos día y la hemos dividido en 24 horas: doce de luz y doce de obscuridad, utilizando docenas, unidades que empleaban los caldeos para contar.

Los egipcios de la antigüedad pensaban que cada día nacía el dios del Sol, Ra, y que navegaba a lo largo de la bóveda celeste en un barco sagrado. Este mito data de hace unos 4 000 años. Cada mañana el barco navegaba por el cielo, que para ellos era un océano, saliendo por el horizonte Este. Por la

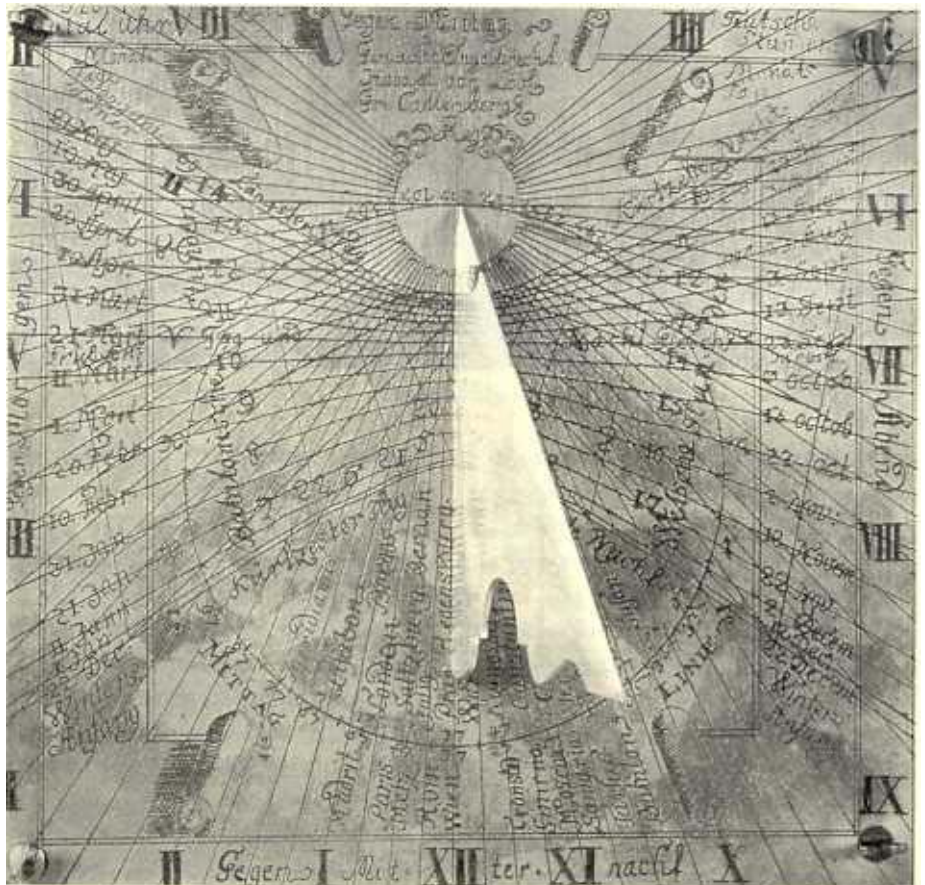
noche la barca se metía en el horizonte Oeste y continuaba su viaje por el inframundo, donde moría. Los griegos tenían una idea similar. Para ellos, Apolo conducía por el cielo una carreta tirada por tres caballos, y así lograba recorrerlo en un día.

Estos pueblos y muchos más, notaron que la sombra que proyectaba una barra de madera enterrada de tal manera que quedara vertical en relación al suelo, cambiaba de longitud y de dirección a lo largo del día. Cualquier barra perpendicular a una superficie que sea empleada para observar el cambio de longitud y de dirección de su sombra, y por consiguiente para medir el tiempo se llama *gnomon*.

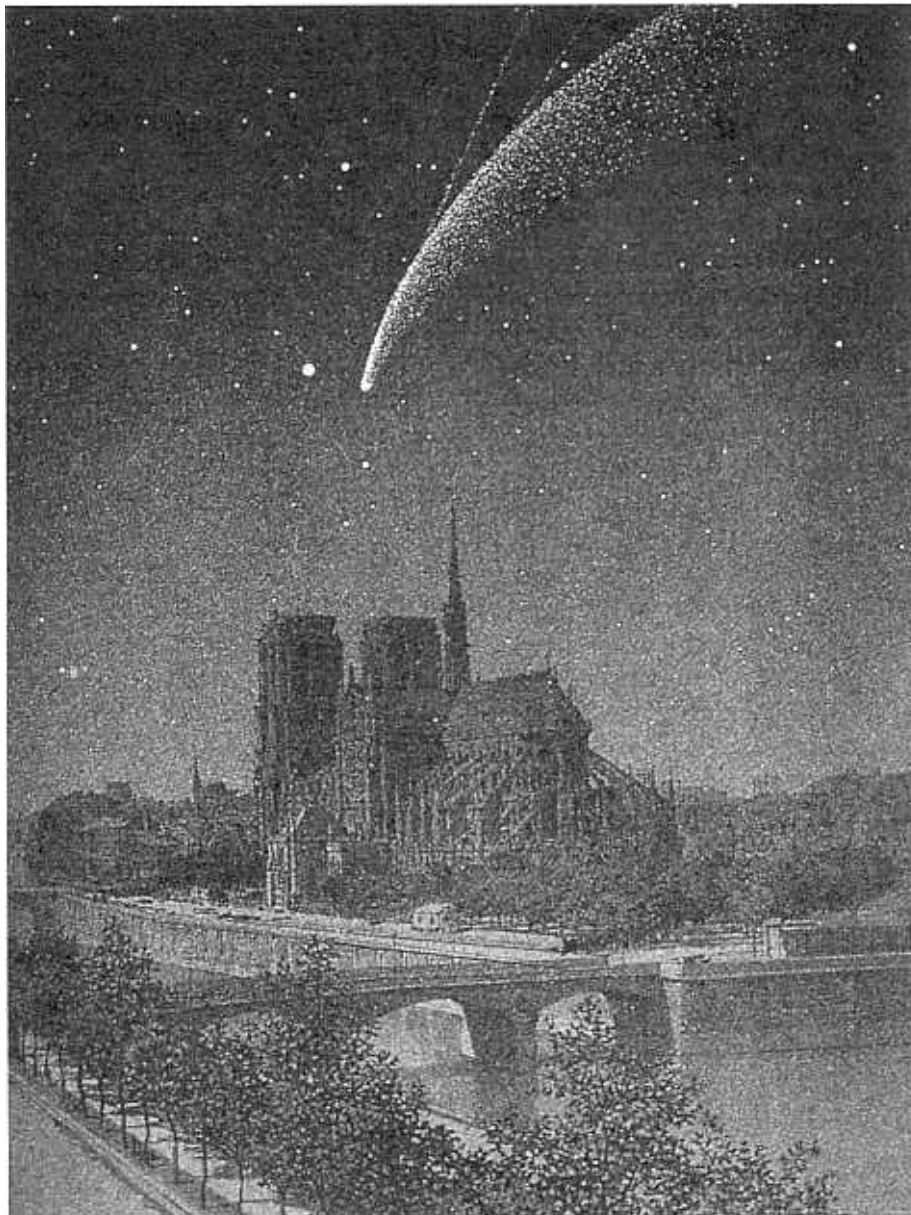
Sugerimos que el lector construya un reloj de Sol muy primitivo colocando un lápiz bien derechito, dentro de una bola de plastilina y que lo instale cerca de una ventana que de al Este o

al Oeste; o bien en algún lugar soleado, ya sea dentro o fuera de casa. Podrá observar que conforme pasa el tiempo la sombra cambia de longitud. Si está nublado o es de noche y el lector desea verificar el funcionamiento de su "lápiz reloj", podrá iluminarlo con una lámpara desde diferentes posiciones y notará lo corta y larga que se puede hacer la sombra.

Para comprender cómo funciona el reloj de lápiz, notamos que durante el día el Sol se mueve de Oriente a Poniente en aproximadamente 12 horas. Es decir que el Sol recorrer ciento ochenta grados, medio hemisferio, en 12 horas; o lo que es lo mismo, —dividiendo ambos números entre doce—, quince grados por hora. Así, conforme avanza el Sol en el cielo, se va moviendo quince grados por hora y sus rayos van incidiendo en diferentes ángulos sobre nuestro lápiz, produciendo una sombra



Reloj de Sol.



La medición del tiempo astronómico se hace, en la actualidad, con respecto a las estrellas.

de diversa longitud, de acuerdo al lugar que ocupe el Sol. En el amanecer y al atardecer, las sombras que proyecta la barra son alargadas, mientras que a medio día la sombra se vuelve muy cortita. Este principio de la variación de la sombra de una estaca clavada en el piso es lo que permite construir relojes de Sol. Este método ha resultado tan eficaz que se siguió usando comúnmente hasta finales del siglo pasado.

Los egipcios utilizaban relojes de Sol de dos tipos, unos magníficos, los obeliscos, que son enormes esculturas

delgadas y altas, y otros de tipo personal en forma de T. Los más antiguos que se conocen datan del año 2 000 a.C. Estos últimos se colocaban orientados al Este, de tal manera que por la mañana la sombra de la barra horizontal era grande, y conforme ascendía el Sol la sombra se iba acortando hasta desaparecer al mediodía; después del mediodía, había que voltear el instrumento para que la T ahora apuntara al Oeste, de manera que la sombra crecería gradualmente hasta el atardecer. Lo ingenioso de los relojes de sombra en

forma de T es que la longitud de la sombra siempre es la misma, ya que es producida por la parte superior de la T. Es como tener un reloj de lápiz paralelo al piso en lugar de perpendicular a él. Sugerimos que el lector haga la prueba.

Hasta ahora hemos descrito relojes de Sol colocados en latitudes cercanas al ecuador. ¿Qué sucedería con un reloj de Sol colocado cerca de los polos? Durante los seis meses en que solo es de noche, ¡no serviría para nada! Sin embargo, durante los meses en que siempre es de día, un *gnomon* sería ideal. Como el Sol parece moverse alrededor del horizonte a lo largo del día y nunca se pone, la sombra del *gnomon* circularía alrededor del *gnomon*, como las manecillas de un reloj de pared. La sombra recorrería trescientos sesenta grados en 24 horas. Ahora bien, un reloj paralelo al piso, como la barra de la T, proyectaría una sombra tan distante que no serviría de mucho.

Por consiguiente, el reloj más adecuado dependerá de la latitud del usuario. La latitud es una medida de distancia que nos indica qué tan alejados estamos del horizonte. Una persona parada sobre el ecuador está a 0 grados, mientras que una sobre el Polo Norte estará a más noventa grados, y en la ciudad de México estaría a 19 grados.

A pesar de la precisión y la formalidad del Sol los relojes solares tienen dos problemas: la noche y los días nublados.

#### Las estaciones

Los planetas tienen dos movimientos, por un lado giran sobre sí mismos como trompos, lo que constituye el movimiento de rotación, y por otro lado giran alrededor del Sol, lo que se conoce como movimiento de traslación. Quien se haya subido en una feria a "las tazas", un juego que gira

como "los caballitos" y que uno hace dar vueltas girando un volante, puede imaginar muy bien cómo se mueven los planetas. Con excepción de Urano, que más bien rueda conforme se traslada (como dar marometas mientras gira el tiovivo).

Todos los planetas dan vuelta alrededor del Sol casi en un plano al cual podemos imaginar como el piso de los caballitos —aunque desde luego en el caso de los planetas es un plano imaginario: el plano de traslación.

La línea imaginaria alrededor de la cual rotan los planetas se llama eje de rotación. La dirección en la que apunta el eje de rotación combinada con el movimiento de traslación, da lugar a las estaciones. En algunos lugares de la Tierra se producen estaciones muy marcadas: primavera, verano, otoño e invierno. En otros lugares se notan de manera distinta, como en la zona ecuatorial en donde se percibe una época de lluvias, y una de secas, por ejemplo. En otros planetas como Marte, también hay estaciones; sus casquetes polares cambian notablemente de tamaño durante el año marciano. En cambio en mundos como Júpiter no hay estaciones. Para entender cómo se producen las estaciones veremos primero qué pasa en Júpiter.

El eje de rotación de Júpiter es perpendicular a su plano de traslación. Es como si el eje estuviera parado. Debido a esto, cuando Júpiter rota, la cantidad de luz y calor que cae en cada punto de su superficie es siempre la misma, sin importar en qué parte de su órbita se encuentre. Es decir, independientemente del día del año, los diversos lugares de la superficie reciben igual cantidad de horas de luz y de noche. Cerca del ecuador siempre hay mayor insolación que cerca de los polos.

En Urano la situación es diferente. El eje de rotación está en el plano de su órbita, de manera que parece estar acostado. En la figura 1 (lado izquier-

do) se muestra a Urano en varias posiciones de su órbita. Cuando está en la posición A su polo norte apunta casi hacia el Sol. Aunque está rotando, la luz solar cae siempre en la misma mitad del planeta. La otra mitad está siempre oscura. En el lado iluminado por el Sol, es verano, mientras que en el otro lado hace mucho frío porque no lo ilumina el Sol y es invierno. Cuando el Sol está en posición B, el polo sur es el que apunta al Sol, por lo que siempre está iluminado, mientras que el lado norte permanece oscuro. Ahora es verano en el sur e invierno en el norte. Por más que rote el planeta en la posición B, al hemisferio norte no le toca nada de luz.

Desde luego que durante su órbita, a Urano le tocan posiciones intermedias, donde toda la superficie recibe iluminación conforme rota el planeta. Esta posición sería la de la primavera uraniana.

Así, mientras que en Júpiter no hay estaciones, en Urano sí las hay y son extremas. ¿Qué sucede en la Tierra o en Marte? Sus ejes de rotación están ligeramente inclinados. La figura 1 (lado derecho)

bita. Cuando está en la posición A, llega más luz al hemisferio norte, y es verano en el norte e invierno en el sur. Cuando está en la posición B, la situación se invierte.

De todo lo anterior se puede concluir que las estaciones se deben a la inclinación del eje de rotación de un planeta.

A ello se debe que en Marte y en la Tierra la situación no sea tan aburrida como en Júpiter, en donde no hay estaciones, ni tan extremas como en Urano, en donde prevalece una situación de todo o nada. Los ejes de rotación de la Tierra y de Marte, están inclinados unos 24 grados con respecto a sus planos de traslación, de tal manera que, alternadamente, los hemisferios norte y sur reciben mayor cantidad de radiación solar.

Este mismo fenómeno hace que en Júpiter los días siempre duren lo mismo que las noches, y que en Urano, Marte y la Tierra, existan dos días en sus periodos de traslación, en que el día y la noche tengan la misma duración en todo el planeta. En la Tierra éstos son, aproximadamente, el 21 de marzo y el 21 de septiembre.

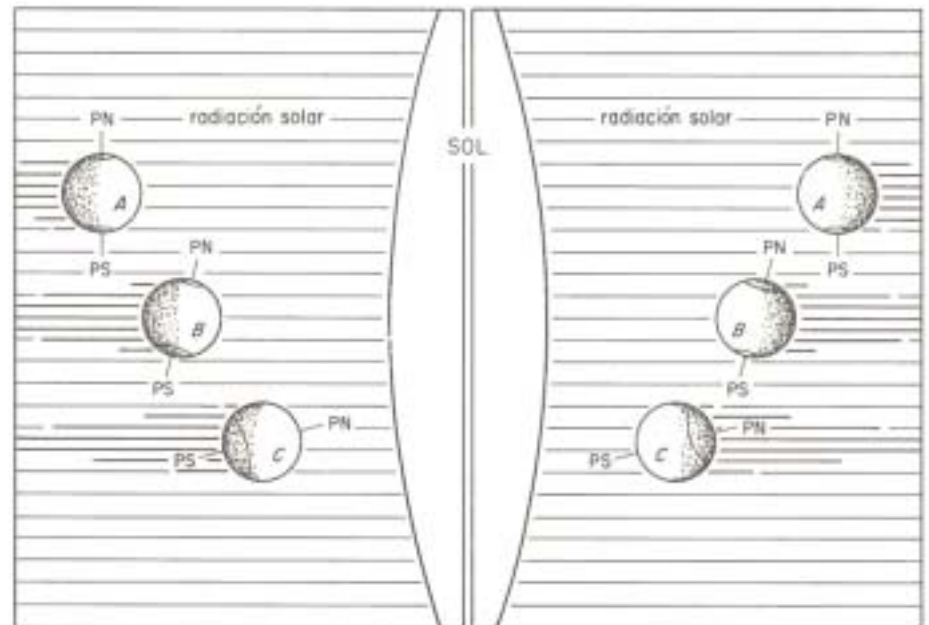


Figura 1.

Alberto García

## Las salidas y puestas de el Sol

Aunque sabemos que la Tierra gira alrededor del Sol, sentimos que el Sol es el que da vueltas en torno a la Tierra. Así, es posible seguir la trayectoria del Sol por los cielos de nuestro planeta o de cualquier otro de nuestro sistema solar. Desde diferentes planetas, imaginemos dónde estaría colocado el Sol a medio día durante las distintas estaciones, tanto en el ecuador, como en alguno de los polos. Los habitantes de otras regiones registrarían situaciones intermedias.

**Primero Júpiter.** A medio día un habitante del ecuador vería siempre el Sol encima de su cabeza, mientras que un habitante del Polo, lo vería siempre cerca del horizonte, independientemente del día del año.

**Ahora Urano.** En el verano un habitante del polo Norte vería que el Sol está encima de su cabeza todo el día, aunque el planeta rote. En la primavera el Sol estaría en el horizonte, y en invierno no saldría para nada ya que, por más vueltas que diera el planeta, el Sol no dejaría de estar en dirección opuesta a sus pies.



Cuando es primavera en Urano, un habitante del Ecuador, vería que el Sol está encima de su cabeza a medio día, y que, conforme transcurre el año, el Sol se va acercando al horizonte, hasta llegar el invierno en que estaría pegadito a él. Así, un reloj de Sol en algún polo de Urano, serviría de muy poco, tanto en invierno como en verano. En pleno verano, no proyectaría sombra, ya que el Sol siempre estaría encima de la cabeza del observador, y en invierno ni siquiera saldría.

En la Tierra, un habitante del ecuador tendría al Sol encima de su cabeza a medio día, 23.5 grados hacia el norte durante el verano y corrido en el mismo ángulo hacia el sur en el invierno.

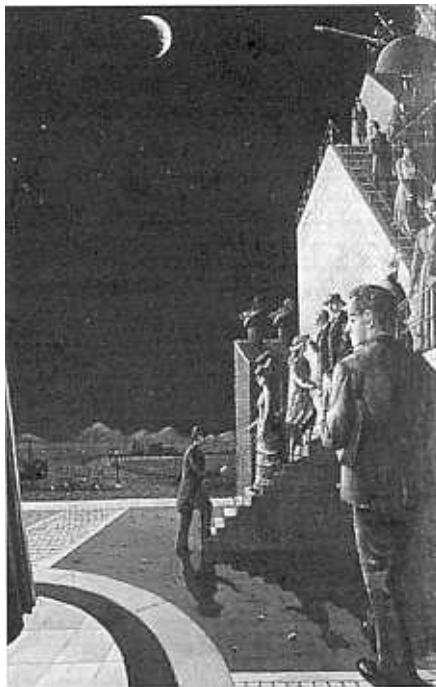
De igual manera que, visto desde la tierra el Sol parece estar en distinta posición a medio día durante el año, así varía la posición del lugar por donde sale y por donde se mete. Esto depen-

de también de las estaciones, es decir de la inclinación del eje de rotación de la Tierra.

### El tiempo sideral

Las mediciones del tiempo astronómicas, están basadas en la rotación y traslación de la Tierra; movimientos que marcan el paso de los días y de los años. En la actualidad se utilizan dos pasos sucesivos de una estrella por el meridiano del observador para medir un día, y las posiciones de las mismas estrellas en el cielo para medir el año. Sin embargo, en este artículo preferimos referirnos a las mediciones del tiempo utilizando al Sol porque pensamos que son más intuitivas. ●

Julietta Fierro: Instituto de Astronomía, UNAM.



Las fases de la luna (detalle) Paul Delvaux