

La medición del tiempo

J. Rubén Morones Ibarra

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL

rmorones@fcfm.uanl.mx

RESUMEN

La necesidad de ubicarnos en el tiempo dio origen a su medición y como consecuencia de esto, al desarrollo de los primeros relojes. Así mismo las necesidades prácticas de la determinación de la hora forzaron la invención de relojes mecánicos cada vez más precisos. Posteriormente, cuando el tiempo se incluye en las teorías científicas como un parámetro o como una variable fundamental, se requirió medir el tiempo con mayor precisión, lo que trajo como consecuencia el desarrollo de equipos de medición del tiempo cada vez más sofisticados. Por otra parte, el desarrollo de la física nuclear proporcionó a la ciencia una técnica para estimar edades de objetos antiguos y de rocas. La comparación de edades de rocas terrestres, aerolitos y rocas lunares, permitió estimar la edad de nuestro sistema solar.

PALABRAS CLAVE

Tiempo, relojes, cronómetros, medición.

ABSTRACT

Originally, the measure of time arises as a necessity of locating ourselves in time. Later on, the practical necessity of determining the time pushes the invention of more accurate clocks. Far after, when time became an important parameter in scientific theories, it was required that time was measured in a very precise way. The radioactive decay phenomena provided scientist with a powerful technique to date ancient materials and estimate the age of earth and our solar system.

KEYWORDS

Time, clocks, chronometer, measurement

INTRODUCCIÓN

El concepto tiempo surge en la conciencia del ser humano como resultado de los cambios que observa en la naturaleza. El paso del tiempo trae como consecuencia la idea de medirlo, para poder hablar del pasado y hacer observaciones sobre el futuro, para ubicarnos en el tiempo y poder decir, por ejemplo: “hace cinco años” o “dentro de tres semanas”, requerimos el uso de unidades de tiempo. Este fue el propósito inicial de la medición del tiempo.

Es probable que la primera estimación de intervalos de tiempo haya sido la duración de un día. Cada nuevo amanecer o anochecer marcaba un intervalo natural de tiempo. Inicialmente, el paso del tiempo se estimaba mediante la observación visual directa de las diferentes posiciones del Sol. Posteriormente,



cuando la hora del día empezó a cobrar importancia, aparecieron los relojes de sol, después vendrían los relojes de agua, y los de arena.

Intervalos de tiempo más largos requirieron de observaciones un poco más elaboradas. Las unidades naturales de tiempo a escala humana son el día, el mes y el año, asociadas todas ellas con fenómenos astronómicos. El día es el intervalo de tiempo entre dos posiciones sucesivas equivalentes de la posición del Sol en el cielo, dos posiciones sucesivas en el cenit, por ejemplo. El mes es el intervalo de tiempo entre dos fases lunares sucesivas, por ejemplo, dos lunas llenas. En cuanto al año, este es el tiempo de una revolución completa de la Tierra alrededor del Sol.

Las unidades de tiempo anteriores quedan establecidas por ciclos astronómicos, sin embargo, el número de horas de un día es arbitrario y podríamos dividirlo en cualquier número de partes. En un sistema decimal la división del día en diez horas sería algo natural, sin embargo, históricamente no ocurrió así, adoptándose un sistema de base 24 que conservamos todavía.

LA MEDICIÓN DEL TIEMPO EN LA ANTIGÜEDAD

El aspecto fundamental que hay que considerar para medir el tiempo es que se cuente con un movimiento periódico. Los primeros fenómenos periódicos o repetitivos que se observaron fueron los relacionados con observaciones astronómicas, es natural entonces que las primeras mediciones del tiempo hayan comenzado con la duración de ciclos astronómicos. El día y la noche, las fases de la luna, las estaciones del año, el movimiento de los planetas, etc., fueron los antecedentes para registrar el paso del tiempo. Primero se contaron los días y después los años. Posteriormente, cuando el ser humano se empezó a preocupar un poco más por el tiempo, fue necesario realizar divisiones del día.

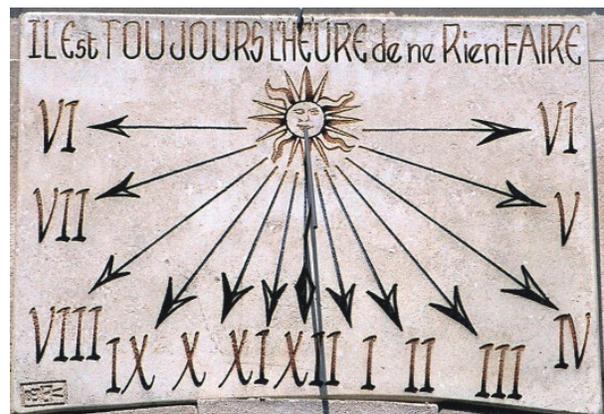
La forma más primitiva de estimar la hora fue mediante la observación de la posición del Sol. Después apareció el reloj de Sol, para lo cual se colocaron postes de madera que permitían indicar la hora mediante la posición de la sombra de éstos, se realizó la primera división del día marcando el movimiento de las sombras y dividiéndolo en doce partes (doce horas) para hacerlo corresponder con los doce meses del año.¹

Después de los relojes de sol aparecieron la clepsidra o reloj de agua y los relojes de arena, que posibilitaron la medición del tiempo durante el día y la noche. Mucho tiempo después surgiría el reloj mecánico. El primer reloj mecánico de que se tenga memoria, se conoció en Milán, Italia en el año de 1335, y fue construido a base de pesas y engranajes.²

La división del número de horas de un día se originó en Babilonia, hace cinco mil años. En el proceso general de contar, se utilizó inicialmente la base diez, pero la observación de que el año tiene aproximadamente 360 días, provocó un cambio hacia la base sesenta, dividiendo el círculo del cielo en 360 grados (escalones). Por otra parte, los matemáticos de Babilonia sabían que el radio de un círculo dividía a la circunferencia en seis arcos de círculo de igual tamaño. Estos dos hechos, los 360 días del año y la división en seis arcos iguales de un círculo de 360 grados, hizo que los babilonios convirtieran al número 60 en un número místico. Este fue el motivo por el cual los babilonios tomaron como base para contar los divisores de 360.³

Junto con este misticismo, nace también la astrología, como consecuencia de la creencia de que la vida en la Tierra debería ajustarse a los fenómenos astronómicos. Se trataba de explicar lo que ocurre a los seres humanos con lo que se observa en los cielos. No ha sido fácil desprenderse de esas ideas, pues aún con todos los desarrollos científicos y tecnológicos, todavía persisten fuertes influencias de aquellos tiempos.

Históricamente la medición del tiempo se realizó con base al sistema sexagesimal, persistiendo hasta nuestros días, sin embargo, no hay razón alguna por la



cual no podamos medir el tiempo con base al sistema decimal; de hecho, ya se hace en la actualidad, pero sólo con los submúltiplos del segundo; así tenemos el milisegundo, microsegundo, nanosegundo y el picosegundo. Podríamos introducir también el día de diez horas y siguiendo la idea que se introdujo en México con los Nuevos Pesos al quitarle tres ceros a la moneda, hablaríamos de Nuevas Horas, donde el día tuviera diez Nuevas Horas, con una Nueva Hora equivalente a 2.4 horas actuales. Similarmente la Nueva Hora dividida en cien Nuevos Minutos y el Nuevo Minuto en cien Nuevos Segundos. Después de que haya pasado algún tiempo y que la gente se haya acostumbrado a las nuevas unidades o las nuevas generaciones solo conozcan las horas, los minutos y los segundos actuales por información histórica en los libros, le quitamos la palabra “Nueva” a todas las unidades y nos quedamos con horas, minutos y segundos como lo hicimos en México con los Nuevos Pesos. Siguiendo con esta misma línea de razonamientos, se podría dividir la circunferencia en cien Nuevos Grados y similarmente para los minutos y segundos, eliminando totalmente el sistema sexagesimal.

RELOJES MODERNOS

El descubrimiento de Galileo de las oscilaciones isócronas del péndulo, permitió la invención de relojes mecánicos cada vez más precisos y con mecanismos más sofisticados. Con la invención de los relojes el concepto tiempo adquiere otro significado, convirtiéndolo en algo abstracto que se mide con aparatos. En esa época, las nuevas técnicas para la medición del tiempo sientan las bases para el estudio del movimiento, introduciendo el tiempo como una variable en la física, es decir, como una cantidad física medible.

Como consecuencia de la posibilidad de medir el tiempo aparecen los conceptos de velocidad y aceleración. La idea aristotélica sobre la caída de los cuerpos posiblemente no fue puesta en duda debido a que no se le dio en esa época la importancia que el tiempo podía tener en la descripción del fenómeno del movimiento, ya que no se había desarrollado un marco teórico para hablar de la velocidad y menos de la aceleración. Posiblemente se pensaba que los objetos

caían con velocidad constante, pero es realmente difícil especular sobre esto porque no se tenían concepciones teóricas para hacer este tipo de análisis. Newton requirió el empleo de mediciones precisas de tiempo, llevadas, aunque solo fuera teóricamente, a intervalos muy pequeños. El cálculo diferencial lo inventó Newton porque necesitaba una herramienta para estudiar la evolución temporal de los sistemas físicos y definir los cambios para intervalos muy pequeños de tiempo. De hecho, el cálculo diferencial es considerado como la ciencia de la variación y del cambio.

Las técnicas experimentales para medir el tiempo iniciaron con precisiones de segundos, como los latidos del corazón, que fue lo que Galileo utilizó para determinar la isocronía de las oscilaciones de un péndulo. El reloj de péndulo, inventado por el físico holandés Christian Huygens, en el año de 1657, se apoyaba en la propiedad de este aparato descubierta por Galileo, que consiste en que sus oscilaciones son casi isócronas, esto es, son periódicas con duraciones casi iguales. Después de que se desarrollaron los relojes de péndulo y de engranes se pudieron medir hasta décimas de segundo. Algún tiempo después, con la introducción de los impulsos eléctricos se pudieron medir milésimas y hasta millonésimas de segundo. Posteriormente se descubrió el fenómeno de la oscilación de la molécula de amoníaco, que se utilizó como medida del tiempo desde 1948, introduciendo una precisión sin precedentes en la medida del tiempo. Con la aparición de los láseres se pudieron medir hasta nanosegundos (milmillonésimas de segundo) y posteriormente hasta picosegundos (billonésimas de segundo).

El punto esencial del funcionamiento de un reloj es contar el número de ciclos u oscilaciones del sistema periódico que se esté empleando como mecanismo del reloj. En un reloj de cuarzo estas oscilaciones se cuentan electrónicamente mediante circuitos integrados (sistema de transistores). Mediante un sistema de señales eléctricas muestran, en una pantalla luminosa, el resultado del conteo, ya convertido en la hora en forma digitalizada.

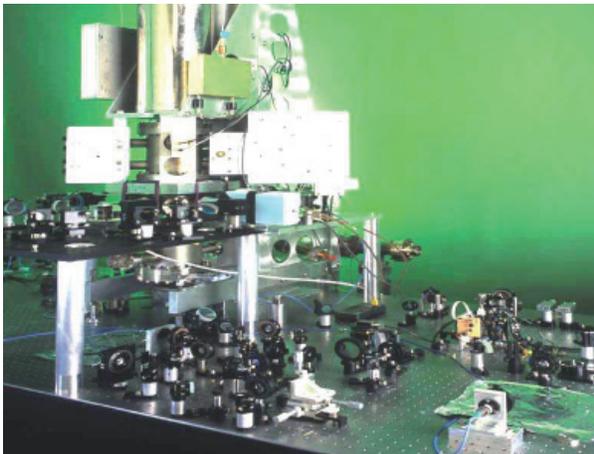
Los relojes actuales de uso comercial o personal de mayor precisión, usan cristales de cuarzo y su funcionamiento está basado en el efecto piezoeléctrico.

RELOJES ATÓMICOS Y LA NUEVA DEFINICIÓN DEL SEGUNDO

Un reloj atómico es un instrumento que utiliza la frecuencia de oscilación entre dos estados de energía de un átomo o de una molécula. Una característica de estas oscilaciones es que, dentro de límites muy amplios, no son afectadas por agentes externos. Estos relojes se usan como patrones para establecer la calidad de otros relojes y se encuentran solamente en los laboratorios o instituciones oficiales que vigilan los estándares en las medidas.

El reloj de átomo de cesio es el que se ha tomado para establecer la definición de la unidad estándar de tiempo. La unidad de tiempo, el segundo, se definió inicialmente con base a observaciones astronómicas. El segundo se definió como $\frac{1}{86400}$ del día solar medio para un período de un año. Siendo el día solar el intervalo de tiempo entre dos posiciones sucesivas del Sol sobre el mismo meridiano. Por otra parte, la Tierra no es un cuerpo sólido que mantenga fija la distribución de la materia que la forma. Las corrientes de agua en los ríos y en los mares, las variaciones de los casquetes polares en el verano y el invierno, las mareas, los vientos y otros efectos relacionados con la variación de la orientación del eje terrestre, hacen que la rotación de la Tierra tenga pequeños cambios. Este hecho hizo que en el año de 1967 se abandonara la definición del segundo mencionada arriba y que se adoptara una definición atómica.⁴

El avance en el conocimiento de la estructura atómica y en la tecnología condujeron a una definición más precisa del segundo, el cual se define de la siguiente manera: un segundo es la duración de 9,192,631,770 vibraciones del átomo de cesio 133.



Por otra parte, un reloj de cesio, divide las 24 horas del día en pequeños intervalos con una precisión de tres millonésimas de segundo por día, lo cual significa que el reloj de cesio se atrasa o adelanta aproximadamente un segundo cada mil años.

No se piense que el reloj de cesio usado para definir la unidad estándar es un reloj de carátula con manecillas o algo que se parezca a un reloj ordinario. Son muy voluminosos y pesados y por supuesto no son de uso personal. Este reloj es un sistema muy complicado y costoso que consiste de muchos instrumentos y solo se le encuentra en pocos laboratorios del mundo.

LA IMPORTANCIA DE LA PRECISIÓN EN LA MEDICIÓN DEL TIEMPO

La precisión en la medición del tiempo depende, como toda medida, de los propósitos de la medición. Un reloj de pulsera, por ejemplo, que se atrase o adelante un segundo por mes sirve perfectamente para propósitos de llegar con puntualidad al trabajo o a una cita de naturaleza social. Nos podemos preguntar ¿para que queremos relojes de alta precisión como el reloj de cesio? La respuesta es que tanto en la investigación científica como en la ingeniería y en las comunicaciones se requiere una elevada exactitud. Como caso particular, en la industria eléctrica se requiere una gran precisión en los valores de la frecuencia del flujo eléctrico, ya que de este valor dependen muchos aparatos, en particular relojes eléctricos que se conectan a la fuente de corriente del servicio eléctrico comercial. Si esta corriente alterna no tuviera una frecuencia precisa, afectaría el funcionamiento de los aparatos y de los relojes conectados a ella.

EL CONCEPTO DE LA HORA EXACTA

Supongamos que queremos poner a tiempo un reloj, ¿qué hacemos?. Por supuesto que consultamos otro reloj, ¿pero cómo sabemos si este segundo reloj marca la hora correcta?, entonces sintonizamos una estación de radio o de televisión para enterarnos de la hora. Sin embargo, el problema es el mismo, no sabemos si estos relojes marcan la hora correcta.

Primeramente habría que definir qué es la hora correcta y quién se encarga de determinarla. La respuesta la daremos a través del concepto de

“hora legal” en cada país. En Estados Unidos de Norteamérica, existe en la ciudad de Washington un telescopio fijo, vertical, apuntando al punto cenital. Este aparato sirve para determinar la duración de un día sideral o estelar que se define como el intervalo de tiempo entre dos pasos sucesivos por el cenit de la posición de este telescopio, de una estrella muy lejana que ha sido previamente seleccionada. Esta estrella, por estar muy alejada de la Tierra, se mantiene fija en el espacio, aun considerando dos posiciones distintas de la Tierra en cualquier época del año. La hora se define a partir de la posición de esta estrella en el cenit.

La información de la hora determinada en este observatorio se transmite a estaciones meteorológicas, otros observatorios, edificios oficiales, estaciones de radio y TV, etc. Esta es la hora oficial en EU, así que cuando alguien pregunta por la hora, la respuesta la puede obtener de una estación de radio oficial. Actualmente existen en el mundo varias decenas de estaciones de radio que envían señales con la hora correcta.

INTERVALOS DE TIEMPO MUY CORTOS

Con el descubrimiento de la radiactividad aparecen los primeros fenómenos que ocurren en millonésimas de segundo, como el decaimiento radiactivo de algunos núcleos atómicos. Después se encontraron otros núcleos radiactivos con períodos de semidesintegración mucho más cortos. Posteriormente se descubrieron partículas subatómicas inestables con tiempos de decaimiento del orden de 10^{-8} - 10^{-16} segundos. La forma de medir estos tiempos es totalmente indirecta. Se sabe que estas partículas viajan a velocidades cercanas a la de la luz y dejan huellas de varios centímetros en una cámara de burbujas antes de desintegrarse en otras partículas. Con estos datos se puede calcular su tiempo de vida, desde que se producen hasta que se desintegran, usando la fórmula que relaciona la velocidad $v \approx c$, la distancia recorrida d , que corresponde a la huella en la cámara de burbujas y el tiempo de vuelo t .

Como un caso particular, consideremos que la huella que deja una partícula, desde su formación hasta que se desintegra, es de un centímetro, entonces su tiempo de vida se estima mediante la relación:

$$t = \frac{d}{c} = \frac{1 \text{ cm}}{30000000000 \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = 3 \times 10^{-11} \text{ s}$$

Durante la década de 1960 se observaron experimentalmente un tipo de partículas con un tiempo de decaimiento tan corto que no dejaba ninguna huella en la cámara de burbujas. Estas partículas, llamadas resonancias, son los fenómenos de tiempo más cortos que se han observado hasta el momento.

La estimación, no la medición del intervalo de tiempo de vida de las resonancias, se hace también de manera indirecta. En este caso se utiliza una relación que ha probado ser correcta, ya que se le emplea para describir procesos a escala atómica dando resultados satisfactorios. Esta relación se conoce como relación de incertidumbre entre el intervalo de tiempo Δt y la energía ΔE del sistema que se observa. La relación es $\Delta t \Delta E \approx \hbar$. El tiempo Δt es lo que dura la resonancia, ΔE es su energía y \hbar es una constante conocida como constante de Planck. Determinando ΔE , se obtiene que $\Delta t \approx 10^{-23}$ segundos.

En relación con los intervalos de tiempo, debemos distinguir dos aspectos distintos. Una cosa es el intervalo de tiempo que podemos medir, siendo el más corto de estos intervalos el de 10^{-18} segundos y otro asunto es el suceso de menor duración que se ha observado. La medición del intervalo de 10^{-18} segundos se logró mediante el uso de pulsos láser. En cuanto al tiempo de vida de las resonancias, 10^{-23} segundos, este fue estimado, no medido, mediante la relación de incertidumbre mencionada. Para darnos una idea de la pequeñez de este intervalo de tiempo, diremos que 10^{-23} segundos es el tiempo que tarda la luz en recorrer una distancia equivalente al diámetro de un núcleo atómico. Un tiempo increíblemente corto, que escapa por mucho a la capacidad de imaginación de cualquier persona.

Como ya se mencionó, el intervalo más corto que se ha logrado medir es el de 10^{-18} segundos realizándose la medición con pulsos láser. Los cristales de cuarzo, usando el efecto piezoeléctrico, y el cesio, se usan también para medir intervalos de tiempo muy cortos.

Es probable que existan fenómenos de duración todavía más corta pero no se podrían medir. Desde el punto de vista conceptual, el intervalo de tiempo más corto físicamente aceptable es el tiempo de

Planck, que es del orden de 10^{-44} segundos. Este valor se obtiene mediante una consideración dimensional de una relación entre las constantes fundamentales de la naturaleza, G , \hbar y c , siendo G la constante gravitacional, \hbar la constante de Planck y c la velocidad de la luz.

Viendo los refinamientos que se han hecho en las mediciones del tiempo, resulta que el tiempo aparenta ser un continuo que se divide en días, horas, minutos, segundos y fracciones de segundo sin imponerse ninguna restricción en cuanto a qué tan pequeño puede ser un intervalo temporal. El espacio, similarmente, se puede dividir en metros, centímetros, milímetros, y fracciones de milímetro, sin que parezca existir ningún límite inferior para la magnitud de los intervalos espaciales. Sin embargo, este análisis puede no ser correcto a escalas muy pequeñas de tiempo y espacio. Es posible que el tiempo esté fragmentado o cuantizado, como lo están la energía y otras cantidades físicas, como el momento angular que cuantiza al espacio.

LA MEDICIÓN DEL TIEMPO EN DIVERSAS CIRCUNSTANCIAS

Técnicas radiactivas

En la paleontología, la hidrología, y otras áreas del conocimiento, se requiere estimar edades de objetos antiguos, aguas subterráneas, etc. Las técnicas nucleares mediante el uso de radioisótopos permiten estimar estas edades.

El principio en el que se basa la estimación de edades mediante técnicas radiactivas es la población relativa entre núcleos producto de un decaimiento radiactivo y sus progenitores, medidos en un cierto tiempo inicial en el pasado y la relación en el presente.

La técnica para estimar las edades de objetos que contienen materia orgánica y que tienen una antigüedad menor a 50 mil años es la del carbono 14. Para estimar edades en otros intervalos, las técnicas radiactivas son también adecuadas y emplean diversos isótopos.

Con el fin de explicar los principios físicos fundamentales que apoyan la técnica de fechamiento radiactivo es conveniente introducir algunas ideas básicas. Para describir el tiempo que una muestra

radiactiva mantiene su actividad de desintegración, los físicos usan un concepto estadístico conocido como “vida media”.

En el año de 1899, tres años después de que se descubrió la radiactividad, los científicos se dieron cuenta de que la actividad de una muestra radiactiva decaía con el tiempo y encontraron la ley de decaimiento radiactivo. Observaron que cada tipo particular de isótopos radiactivos tiene asociado un valor característico de tiempo al que se le llama vida media del isótopo. La vida media de un isótopo es el tiempo que tiene que transcurrir para que la mitad de los núcleos radiactivos de una muestra de este isótopo se desintegren. La escala de tiempos que abarca la vida media de los diferentes isótopos tiene un rango gigantesco que puede ir desde las milésimas de segundo hasta los miles de millones de años. No existe ninguna otra cantidad física que abarque un intervalo de valores tan enorme.

Una aplicación específica del uso de técnicas radiactivas para estimar edades la encontramos en el empleo del carbono 14. Esta técnica se apoya en el hecho de que el carbono 14, que es un isótopo radiactivo y el carbono 12, que es estable, se encuentran en la atmósfera en una proporción constante. Un ser vivo intercambia en su alimentación o en la fotosíntesis carbono con la atmósfera, de tal manera que la proporción entre carbono 14 y carbono 12, en el ser vivo es la misma que la de la atmósfera. Al morir un organismo, deja de intercambiar carbón con la atmósfera y el carbono 14 que conserva en su cuerpo al ir decayendo modifica la proporción con respecto al carbono 12, el cual no decae. La medida de la proporción entre ambos carbonos, nos indica cuánto hace que murió un organismo.⁵



ESTIMACIÓN DE TIEMPOS GEOLÓGICOS

Para determinar edades de objetos que contienen material orgánico más antiguo que 50 mil años, la técnica del carbono 14 no es adecuada porque la cantidad de este isótopo que permanece en la muestra después de tiempos mayores que ésta cantidad, es muy pequeña. La precisión de los instrumentos actuales no nos permite hacer una estimación confiable de la edad de estos objetos. Para medir la antigüedad de objetos más viejos que 50 mil años deben usarse núcleos radiactivos que tengan vidas medias adecuadas a la edad de los objetos que queremos fechar.

Entre los objetos más antiguos de la Tierra tenemos por supuesto las rocas. Para medir las edades de las rocas se emplean radioisótopos de vida media del orden de miles de millones de años, los cuales resultan adecuados para estimar sus edades. Uno de los isótopos con el que se ha desarrollado una técnica para medir la edad de objetos con tiempos geológicos, como las rocas, es el uranio 238, U(238), cuya vida media es de 4,500 millones de años.

Se ha encontrado que el U(238), después de una serie de desintegraciones termina en un núcleo estable de plomo (206); abreviado: Pb(206), lo que se aplica para estimar la edad de las rocas, desde su formación hasta el presente. La suposición fundamental en este cálculo es que, en el momento de la formación de una roca, ésta no contenía Pb(206). Se ha observado que en todas las muestras de rocas que contienen mineral de U(238) se encuentra también presente el Pb(206), por lo que la edad de la roca se puede calcular a partir de la relación entre Pb(206) y U(238).

Con esta técnica del U(238) se puede estimar la edad de la Tierra. Aquellas rocas que se formaron primero serán las que contienen una relación de Pb(206)/U(238) mayor y esta nos dará la mejor estimación de la antigüedad de la Tierra. El resultado de estos cálculos lleva a que la edad de la Tierra es aproximadamente 4,500 millones de años.

Existe un procedimiento similar pero usando diferentes radioisótopos, que conduce al mismo resultado para la edad de la Tierra. El argón 40, abreviado A(40) es un gas que se encuentra en la atmósfera. Se piensa que el 99.6% del A(40) de la atmósfera proviene de la desintegración del potasio 40, abreviado P(40), un isótopo radiactivo de vida

media igual a mil trescientos millones de años. El argón, por ser un gas, se libera de las sales o productos naturales de potasio donde se produce la desintegración de éste, y se integra a la atmósfera. Encontrando la relación de A(40) presente en la atmósfera y de P(40) presente en las sales de potasio de los continentes o en el agua del mar, entre otras, se puede estimar la edad de la Tierra. El resultado obtenido concuerda con el que arrojan los cálculos de la relación Pb(206)/U(238). Mediante pruebas similares realizadas en meteoritos, se ha encontrado que tienen una antigüedad que es del mismo orden de magnitud que la edad de la Tierra.

Por otra parte, al estimar la edad de las rocas lunares mediante los mismos procedimientos radiactivos se encuentra que todas tienen edades del orden de 4,500 millones de años. De aquí se llega a la conclusión que la formación de nuestro sistema solar ocurrió hace 4,500 millones de años.

EL PRINCIPIO DEL TIEMPO

En el año de 1929 el astrónomo norteamericano Edwin Hubble observó con el telescopio más poderoso del mundo de entonces, que las galaxias más distantes de la Tierra se alejaban entre sí. Observó también que las galaxias se alejaban de nosotros con una velocidad que era mayor cuanto más lejanas se encontraban de nosotros. Hubble expresó estos hechos observacionales en una ley que hoy lleva su nombre, y que matemáticamente se escribe como

$$v = Hr \quad (1)$$

Donde v es la velocidad de alejamiento de la galaxia, $H = \frac{23\text{Km/s}}{\text{millones de años luz}}$ es conocida



como constante de Hubble y r es la distancia que nos separa de la galaxia.

Evidentemente, si en el presente el universo se está expandiendo, en el pasado las galaxias estaban más juntas. Podemos suponer entonces que en un pasado muy remoto el universo se encontraba concentrado en una región relativamente pequeña con una masa de muy alta densidad. La hipótesis aceptada hasta el presente, es que una gran explosión, a la que se llama El Gran Estallido (Big Bang), provocó la expansión del universo como lo observamos en la actualidad. El momento de la explosión marca el origen del universo y este momento resulta ser el inicio del tiempo. Por esta razón a algunos científicos les gusta identificar la historia del universo con la historia del tiempo.

ESTIMACIÓN DE LA EDAD DEL UNIVERSO

Supongamos que la velocidad de expansión del universo se ha mantenido constante desde el Gran Estallido (Big-Bang), entonces el tiempo que las galaxias más alejadas han tardado en recorrer la distancia r que las separa de nosotros es $t = \frac{r}{v}$. Sustituyendo la ecuación (1) en esta expresión obtenemos, que $t = \frac{r}{Hr} = \frac{1}{H} \approx 1.3 \times 10^{10}$ años, siendo ésta la edad aproximada del universo.

Diremos de paso que con este dato se puede estimar también el radio r del universo, usando la fórmula elemental $r = vt$. Se han observado algunos cuasares, que son las galaxias más distantes, alejándose a la velocidad v con valores hasta de $v = 0.96c$, siendo c la velocidad de la luz. Sustituyendo esta velocidad en la fórmula anterior, el radio del universo resulta ser del orden de $r = 10^{26} m$.

OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE LA MEDICIÓN DEL TIEMPO

El propósito de las ciencias naturales es el conocimiento de la naturaleza mientras que el objetivo de la ingeniería es el dominio y control de la naturaleza. En la historia de la tecnología moderna la medición precisa del tiempo jugó un papel fundamental. De hecho el reloj es una obra de ingeniería y es, en la historia de las máquinas, la primera máquina de precisión.

La invención del reloj mecánico en la Edad Media tuvo una influencia notable en el desarrollo

tecnológico. La influencia psicológica que tuvo la invención del reloj no fue menos importante que su influencia en la tecnología propiamente dicha. El paso de las horas marcado por el reloj mecánico provocó en muchos hombres la necesidad de administrar el tiempo y representó un acicate para desarrollar y terminar sus labores en tiempos preestablecidos.

Aunque las investigaciones que realizan los científicos no son impulsadas por la utilidad práctica que puedan tener éstas sino por la curiosidad y el deseo de conocer y comprender a la naturaleza, a los ingenieros y a las personas pragmáticas sí las mueve la aplicación que pueden tener los conocimientos. En todas las épocas el interés por las máquinas ha sido impulsado por el espíritu utilitarista, la necesidad de supervivencia, la defensa y el deseo de conquista del ser humano.

Existen equipos científicos que requieren del grado de precisión que proporcionan los relojes de cesio (tres millonésimas de segundo por día), ya que un pequeñísimo error en la medición del tiempo repercute en resultados experimentales en los que no se puede confiar. También en las plantas de energía eléctrica donde se utilizan decenas o cientos de generadores que tienen que funcionar en forma sincronizada, el uso de relojes de alta precisión es fundamental. Todos los sistemas de información, así como los mismos relojes eléctricos y los aparatos eléctricos requieren precisión en la medida de los intervalos de tiempo.

En la navegación marítima la precisión en la medida del tiempo es crucial. Sabemos que es posible conocer la posición de un punto sobre la superficie de la Tierra con sólo conocer la hora de manera exacta. Las coordenadas geográficas, latitud y longitud, determinan la posición. El problema de precisar la latitud es bastante simple, pues los navegantes tienen mapas de la bóveda celeste que con solo observar la posición de las estrellas o del sol pueden precisar la latitud a la que se encuentran. Saben que el desplazamiento hacia el norte o hacia el sur cambia la posición del Sol, dependiendo de la estación, o de las estrellas. Realizando estas observaciones y comparando con los mapas determinan la latitud. Tomando como referencia una estrella fija, como la estrella polar, se mide con un sextante la altura sobre el horizonte a la que se encuentra la estrella y esto

determina su latitud con una precisión hasta de una fracción pequeña de grado.

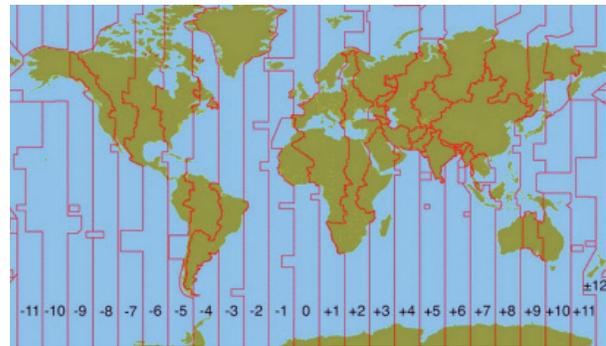
Por otra parte, la determinación de la longitud, puede hacerse con un reloj que marque la hora correcta. Puesto que la rotación de la Tierra dura 24 horas, podemos dividir la circunferencia de la Tierra en 24 partes, cada una de 15 grados, definidos por los meridianos, que nos dan lo que conocemos como husos horarios. El meridiano de referencia es el de Greenwich.

También se puede determinar, sobre la superficie del mar, la distancia entre dos puntos en la misma latitud, con solo conocer la diferencia de hora entre ambos puntos.⁶

EL TIEMPO EN LA NAVEGACIÓN

Los meridianos terrestres indican el valor de la longitud. Marcando los meridianos con intervalos de 15 grados de arco, la separación entre cada uno de ellos indica una diferencia de tiempo de una hora, ya que el Sol, en su movimiento de este a oeste, cruza por cada punto directamente sobre la superficie de la Tierra avanzando con una rapidez de 15 grados de arco por hora. Esta rapidez equivale a un grado de arco cada cuatro minutos.

Una convención internacional en el año de 1884 marcó oficialmente la división de la Tierra en meridianos. En esa época Inglaterra dominaba los mares, y se adoptó como meridiano que marca el origen de la longitud, el meridiano de Greenwich, que pasa por el observatorio astronómico de esta ciudad que se encuentra cerca de Londres, Inglaterra. Si tenemos un reloj que marque la hora correcta en Greenwich y nos encontramos en un lugar del cual queremos determinar la longitud, basta con determinar la hora del lugar por observación del sol para saber la longitud. Comparamos la hora local con la de Greenwich, que marca el meridiano cero, y calculamos la diferencia de horas. Puesto que cada cuatro minutos de diferencia en el tiempo, corresponden a un grado de arco, con solo multiplicar la diferencia de horas en minutos podemos determinar la longitud con un error de pocos grados. Si queremos más precisión, medimos el tiempo con mayor exactitud, segundos o décimas de segundo en la hora local y podemos precisar la longitud local.



La clave para ubicarnos y determinar la longitud con precisión, es traer siempre un reloj que marque la hora del meridiano de Greenwich y observar la hora local astronómicamente. Los marinos, desde hace poco menos de 300 años, saben que con determinar la hora con precisión pueden conocer la ubicación de su barco. Sir Isaac Newton fue quien dio la pauta.

La historia se remonta al año de 1714, cuando el gobierno de Inglaterra, desesperado por las cuantiosas pérdidas que ocasionaban la pérdida de rumbo de sus barcos, ofreció un premio de 20,000 libras a quien propusiera un método para determinar la longitud con una precisión de medio grado. Isaac Newton, dio la respuesta, pero no la solución. Dijo que el problema consistía en contar con un reloj que marcara la hora con exactitud.

La idea de un reloj preciso era la clave de la solución. En esa época el mismo Newton agregó: “Por razón del movimiento del barco, las variaciones del calor y el frío, la humedad y la sequedad, y las diferencias de gravedad en las diversas latitudes, no puede tener esa exactitud ningún reloj hecho hasta ahora”.⁶

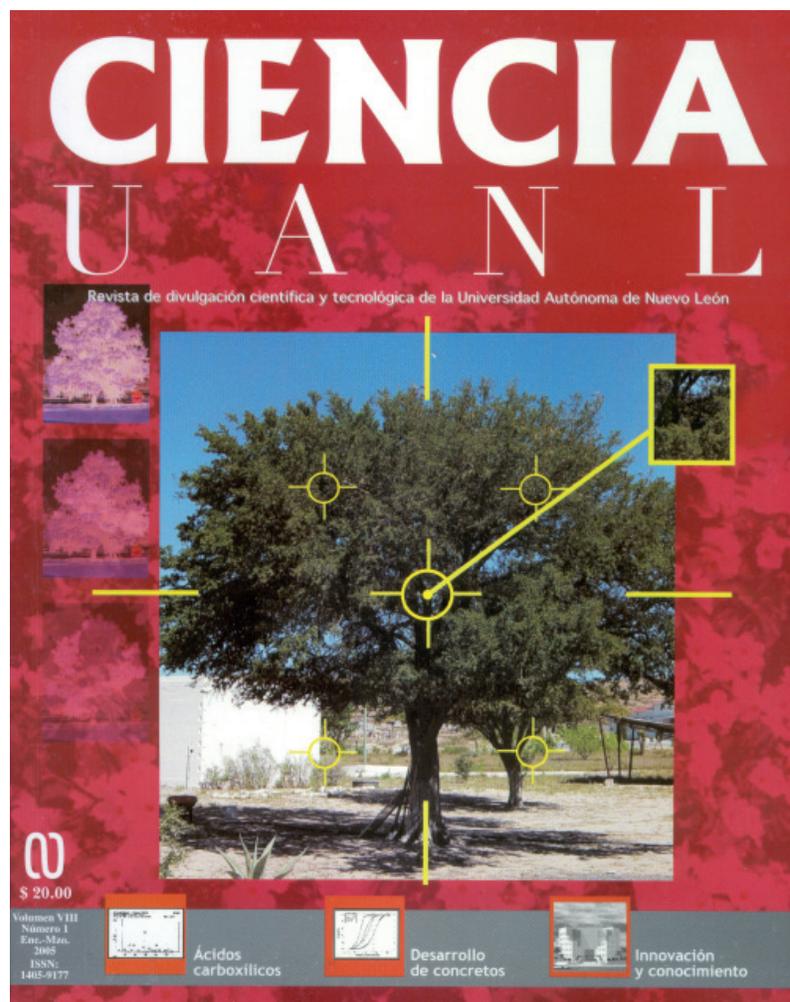
Por supuesto que un reloj de péndulo era inadecuado para tales propósitos pues el balanceo de los barcos y los efectos citados por Newton lo descalificaban totalmente. El relojero británico John Harrison fue quien ganó el premio en 1761. Después de más de treinta años de intentarlo, construyó un reloj de más de 32 kilogramos de peso, basado en un complicado mecanismo.

El hecho de que se pueda determinar el lugar sobre la superficie terrestre en el que nos encontramos, a partir de la hora, volvió imprescindibles los relojes en la navegación. Si durante una tormenta un barco pierde su rumbo puede ubicarse con un reloj

que marque la hora correctamente en un lugar de referencia, el meridiano de Greenwich, por ejemplo y el cálculo de la hora local por la posición de los astros. En la actualidad cada marino trae su propio reloj, tan preciso que puede ubicar su barco con un error de pocos segundos de arco de longitud.

REFERENCIAS

1. John D. Bernal, Historia de la Física Clásica, Siglo XXI, 1972.
2. Máquinas, Colección Científica Time-Life, 1974.
3. History of Mathematics, D. E. Smith, Vol. II, Dover, 1958.
4. El Fantasma cuyo andar deja huella, Antonio Sarmiento, Fondo de Cultura Económica, Colección La Ciencia Para Todos, 2003.
5. Introductory Nuclear Physics, Kenneth S. Krane, John Wiley and Sons, 1988.
6. El Tiempo, Colección Científica Time-Life, 1974.



<http://www.cienciauanl.uanl.mx>

rciencia@mail.uanl.mx

Tel. 01 (81) 8329 4236, Fax 8329-4090 Ext.6623