

Astronomía y medida del tiempo

Cualquiera que sea la definición de tiempo que uno quiera dar, o la postura filosófica en que pretenda encuadrar su noción del mismo, es indudable que todos los humanos tenemos percepción, o mejor una experiencia interior, del paso del tiempo ¹. Ello nos lleva a preguntarnos si es que nuestras vidas están inmersas en él o si es más bien el tiempo lo que está en lo más íntimo de nosotros.

Y éstas son a grandes rasgos las dos posturas fundamentales respecto al problema: La objetiva y la subjetiva, es decir, si el tiempo constituye una componente de la realidad o si no es más que una mera elaboración de nuestra mente.

Si designásemos el tiempo como *una ordenación irreversible de las variaciones que sufren las cosas*, es claro que en esta definición estaríamos tratando de dar sus rasgos fundamentales, pero también estaríamos tomando postura desde el punto de vista filosófico. Y es que en el fondo todos escogemos entre una u otra tendencia, y la nuestra es que el tiempo es sobre todo una relación y como tal no tiene más existencia que la de las relaciones, por lo que no se le debe adjudicar la existencia propia de las realidades. Es claro por tanto que

¹ Nos estamos refiriendo al tiempo como categoría «física», prescindiendo de su dimensión «histórica».

nos hemos colocado entre los que niegan su realidad y participamos de los que creen que es una elaboración de nuestra mente, o como diría Kant, que es algo fenomenológico y no nouménico.

En el tiempo, dando por sentada la experiencia dicha del paso del mismo, podremos distinguir el instante o momento, por un lado, y la duración, por otro. También la Filosofía ha tratado de indagar cuál de estos dos rasgos constituye la esencia del tiempo, pues para unos, entre los que se encuentran todos los filósofos de la Escolástica, no es más que el transcurrir continuo de dichos instantes, y para otros, como Bergson, no son los instantes sino más bien ese discurrir lo que define al tiempo. Por eso Bergson ponía la esencia del tiempo en la duración. Y aquí nos viene a la memoria que Machado estaba leyendo *Los datos inmediatos de la conciencia* cuando escribió su *Poema de un día*, y califica de tuno a Bergson en un glorioso ripio, con lo cual se evidencia no que el filósofo estuviera desprovisto de razón, sino sencillamente que el poeta había tomado ya postura filosófica respecto al problema ².

Otro de los rasgos definitorios del tiempo, que es el cambio, ha hecho también correr ríos de tinta, ya que desde la negación misma del cambio en Parménides, hasta la exaltación del mismo como esencia de la realidad en Heráclito, ha habido de todo. Pero desde Aristóteles el tiempo se ha definido como medida del cambio o del movimiento, y a través de la Escolástica penetró con esta acepción en la Ciencia moderna, donde se estudian los cómo y los porqués de los cambios tratando de encuadrarlos adecuadamente en el tiempo.

2 El ripio de que hablamos lo expresa así:
 ¿Esto es
 otro embeleco francés?
 Este Bergson es un tuno
 ¿verdad, maestro Unamuno?

A. Machado, *Campos de Castilla*, Poema de un día. Meditaciones rurales. Poesías completas, 9ª ed. (Espasa Calpe, Madrid 1962) p. 142.

Quienes estén interesados en la Historia de la Ciencia no dejen pasar la ocasión, si la tuvieran, de leer *Cronología y Reportorio de la razón de los tiempos* del Licenciado Rodrigo Zamorano, que fue Cosmógrafo, Piloto Mayor del Rey y Matemático de Sevilla en tiempos de Felipe II³, por el interesante modo que tiene de contarnos estas cosas, como ilustraremos después.

Por último nos queda decir algo de la irreversibilidad, en este breve repaso filosófico. Es cierto que a lo largo de la Historia se ha encontrado siempre quienes pensaban en la posibilidad de dar marcha atrás a la máquina del tiempo, aun cuando no fuese sino a través de las creencias orientales en la metempsicosis o reencarnación, es decir, en un tiempo cíclico o recurrente, pero nuestra postura se define como partidaria de la irreversibilidad, o lo que con palabras más poéticas se ha expresado como el paso inexorable de los años, y en libros más científicos como la flecha el tiempo, lo que significa que el tiempo es unidireccional en lugar de cíclico, aunque nadie niega que existan simetrías temporales y procesos cíclicos evidentes.

En todo caso parece que la mayoría de los historiadores de la Ciencia coinciden en señalar la fractura ideológica que tuvo lugar en el nacimiento de la ciencia moderna, al decantarse ésta por un tiempo lineal, abierto e irrepitable, prescindiendo totalmente de la idea de un tiempo cíclico.

En el terreno físico podemos decir que ha habido también dos posturas fundamentales (si prescindimos de la Física Cuántica). La que defiende un tiempo absoluto cuyo transcurrir es continuo y al cual se pueden referir todos los sucesos, que vendrán por tanto ordenados de manera irreversible de lo anterior a lo posterior. Y la que sostiene que hay un tiempo relativo porque la ordenación no es la misma desde todos los puntos de vista (o sistemas de referencia) ya que la Relatividad, al cuestionar la noción de simultaneidad nos dice

³ R. Zamorano, *Cronología y Reportorio de la razón de los tiempos* (Sevilla 1594).

que dos sucesos pueden ser simultáneos en nuestro sistema de referencia, pero no lo serán en todos los sistemas.

En ambos casos se trata de posturas objetivas, porque el científico cree (y se equivoca muchas veces) que las teorías científicas están definiendo la realidad y no meros subjetivismos. Y aunque el tiempo sea una mera relación, es indudable la importancia en Física de su medida, porque lo que no ponemos en duda es que las relaciones pueden cuantificarse, y por lo tanto medirse.

Ya hemos sostenido en otra parte ⁴, hace unos años, que lo que posee la existencia propia de las realidades no es el tiempo, porque en la realidad sólo existen relojes; o, dicho de otra manera, que todos los seres, componentes de lo que llamamos realidad, son relojes, ya que el tiempo no es sustancialmente algo distinto de aquello con lo que lo medimos. Un reloj es en esencia todo aquello en lo que hay unos cambios, y por tanto un transcurrir, y un algo que nos indica dichos cambios. Medir el tiempo no es más que acompasar los infinitos relojes de la Naturaleza al ideal de un reloj en el que los cambios posean completa regularidad y la indicación sea, además de clara, precisa. Ese reloj ideal es lo que la *vox populi* identifica con el tiempo, y que en la Mitología venía representado por el viejo Cronos, de quien Rodrigo Zamorano nos dice:

«Pintaron los antiguos poetas al Tiempo, un viejo anciano que tenía alas, y una hoz, o guadaña en la mano: significando por las alas la presteza y velocidad, con que huye y passa: y por la vegez, ser este el que mas dura de todas las cosas, que se acaban: porque començo con el mundo, y no fenecera hasta que el mundo se acabe: por la hoz significavan ser el tiempo el que consume y

⁴ Notas sobre el tiempo, *Hermest* (Rev. Universit. de Ciencia y Filosofía, Facultad de Ciencias, Valladolid 1981) pp. 4 y ss.

acaba las cosas de este mundo: las cuales todas tienen su tiempo, con que comienzan, duran y acaban»⁵.

Y continúa luego:

«Y si queremos comparar el tiempo hallaremos que tiene la propiedad de los ríos, que jamás nunca vuelven atrás: y assi despues de passado, bien se puede perder la esperança de bolvelle a cobrar: por lo cual dixo el Poeta, que el tiempo bolava y era irrevocable»⁶.

Nuestro sentido común, que no difiere mucho del sentido común de los antiguos —si es que no se ha estropeado con el paso de los siglos—, nos pide que utilicemos los objetos astrales como los relojes más accesibles y más aparentemente regulares, dejando sólo a los sabios la determinación de la precisión en la medida del tiempo.

El astro más cercano a nosotros es la Luna, en la que se puede observar fácilmente la duración del ciclo de sus fases. Lo que ha conducido, como sabemos, a la definición del mes y a los calendarios lunares de los semitas.

El siguiente astro a tener en cuenta es el Sol. Al cual no sólo debemos el día y la noche sino la energía de la que depende la vida de nuestro Planeta, y esto es conocido desde la más remota antigüedad. Pero el movimiento del Sol en el cielo no sólo era diario, lo que dio origen a los gnomos o relojes de sol, es decir a una clase de instrumentos de medida del tiempo, sino que también había un movimiento estacional que se podía claramente observar en las diferentes posiciones del Sol en el horizonte tanto al orto como al ocaso del astro. Y ello lo sabían con toda exactitud los que, por ejem-

5 R. Zamorano, op. cit., Lib. I, cap. 1, fol. 2.

6 Ibid.

plo, erigieron el monumento magalítico de Stonehenge, en el Condado de Wiltshire al sur de la Gran Bretaña ⁷.

A consecuencia de la observación del movimiento del Sol en la bóveda celeste se llegó a la definición del año y al establecimiento de calendarios solares, como el de los egipcios.

La unidad fundamental del tiempo a partir de estos dos astros, el Sol y la Luna, será el día, como unidad natural. Y aquí empiezan ya las diferencias, pues unos miden el día como el tiempo transcurrido desde la salida a la puesta del Sol, con el inconveniente en latitudes mediterráneas (se implantó esto en Egipto) de días de cambiante duración, o bien se consideraba el tiempo transcurrido desde dos ortos (o dos ocasos) consecutivos, lo que hacía los días más regulares.

Cuando se pasó a observaciones más científicas se definió el día como el tiempo que transcurre entre dos pasos del Sol por el meridiano del lugar, ya que con ello se obviaba la variación estacional en los puntos del horizonte de salida o puesta del Sol. Científicamente se dirá que el azimut del orto y ocaso es variable con los días, mientras que el paso por el meridiano viene medido por un azimut fijo.

El día se dividió en un cierto número de intervalos (a los que llamamos horas) que, en general, fueron de igual duración, aunque para los egipcios, cuyo día estaba definido como hemos dicho por la luz solar, estas horas eran más largas en verano que en invierno.

Una pregunta interesante sería la que indagase por qué tenemos veinticuatro horas cada día. Y aunque no hemos leído en ningún sitio una explicación adecuada, ni siquiera en el sorprendente Zamorano, quien dice cosas tan peregrinas como:

«Otros fueron de parecer que se derivava el nombre hora de Ureo [verbo Griego], que es orinar, porque estando Hermes en el

⁷ No deja de haber discusión sobre si el monumento es un observatorio astronómico primitivo o un mero monumento religioso para culto o enterramientos, pero creemos que en las dos hipótesis su carácter solar es evidente.

Templo de Serapis, dudoso de la distribución natural que tenía el Día, le fue revelado, ser dividido en doce partes iguales: lo cual el conjeturo, por un animal que estaba en aquel templo, que orino doce veces en un Día. Y así halló después por experiencia que el Día se debía partir en doce partes iguales, y en otras tantas la noche»⁸.

Nosotros creemos plausible que esta división esté relacionada con los doce signos de Zodíaco, y que haya una explicación matemática ya que veinticuatro es un número útil debido a la cantidad apreciable de divisores que contiene. Esta creemos que es también la ventaja fundamental del sistema sexagesimal sobre el decimal, y ello podría explicar su persistencia cuando se trata de tiempos (o de ángulos, que de todo hay en la viña del Señor).

Ya tenemos la hora, el día, el mes y el año como unidades del tiempo, y esto era suficiente para la vida civil. Porque si la hora, en un sentido muy amplio, era necesaria para la vida doméstica, y en algunos casos para la social, en realidad en ésta lo importante eran los días, pues bastaba determinar los festivos y los feriados para las transacciones del mercado. Se dejaba el cómputo de los años para las actividades relacionadas con la agricultura, donde se tendría que determinar la idoneidad de los tiempos para la siembra y la cosecha.

Por cierto que es curioso que nos fijemos en que en castellano, y en algunas otras lenguas, tenemos la misma palabra *tiempo* para designar también el estado meteorológico o climático. Todos sabemos que no ocurre lo mismo en los países sajones, en que utilizan dos palabras distintas. Pero, al parecer, la equívocidad moderna del vocablo no ha existido siempre: En Zamorano hemos podido observar que habla de la calidad de los tiempos o de la mudanza de los tiempos, en plu-

8 R. Zamorano, op. cit., Lib. I, cap. 11, fol. 92.

ral, cuando se refiere al estado meteorológico, hablando en singular cuando se trata de la otra acepción ⁹.

Las celebraciones que seguían a la buena recolección, o a la vendimia, dieron origen a muchas de las fiestas civiles (cuando no eran por motivos religiosos más o menos conectados con la Naturaleza) mientras las autoridades pertinentes se preocupaban y encargaban de cobrar las tasas de un modo regular, para lo cual no fue de poca ayuda el establecimiento de los meses civiles. Esto nos llevaría al calendario y a sus reformas, de lo que no es nuestra intención tratar aquí. En lo que sí insistiremos es que las regulaciones y reformas del calendario se hicieron con el asesoramiento de los astrónomos, y son precisamente las observaciones astronómicas las que exigieron una mayor precisión, no sólo para la consignación de los eventos (eclipses, cometas, novas, etc.), sino también para el cálculo de las Efemérides (tablas de posición de los diversos astros en los diferentes tiempos del año).

Cuando los astrónomos advierten que el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano no coincide con el transcurrido entre dos pasos de una estrella fija de la bóveda celeste por el mismo, tienen que introducir dos clases de tiempo: el tiempo solar y el tiempo sidéreo.

El día sidéreo, definido en principio por los pasos consecutivos de una estrella por el meridiano, y hoy por el paso del punto vernal por el mismo ¹⁰, es ligeramente más corto que el solar, definido como ya sabemos por el paso del Sol, ya que el año tiene 366,25 días sidéreos en lugar de los 365,25 solares, pues lo cierto es que la Tierra da 366 vueltas y pico sobre su eje mientras transcurren sólo 365 días civiles.

⁹ Nos hemos percatado también que los griegos utilizan la palabra *hora* en singular para indicar una parte del tiempo y en plural para el clima o la temperatura. Por eso se distingue el tiempo de la sazón estacional de los tiempos.

¹⁰ El punto vernal es uno de los dos puntos nodales o de intersección de la curva eclíptica con el plano del ecuador terrestre. El sol está precisamente en ese punto el 21 de marzo, es decir en el equinoccio de primavera. A este punto vernal se le llama también punto Aries, pues estuvo en esa constelación antiguamente, aunque hoy se encuentre en la constelación de Piscis debido al fenómeno de la precesión de los equinoccios.

No se acaban aquí las complicaciones. Cuando se dispone de relojes mecánicos fiables, a partir de la utilización del péndulo en la fabricación de los mismos, tal como lo sugirió Christian Huygens en su *Horologium*¹¹ (1656) se encuentran los astrónomos con que tampoco son iguales todos los días solares. Los hay que duran sobre un cuarto de hora en más o menos respecto a la duración media, y a estas variaciones y por tanto a las correcciones consiguientes que hay que introducir, lo llamaron la Ecuación del tiempo. Por eso en muchos relojes de sol viene indicada una curva correctiva conveniente o una alusión equivalente, que permita la corrección.

Contra lo que pudiera parecer, los astrónomos no se asustan mucho por esto. No se trata de flagrantes irregularidades en la rotación de la Tierra, sino de la consecuencia lógica de la inclinación de la eclíptica respecto al plano del ecuador, combinada con la diferencia de velocidades orbitales prevista por la ley areolar de Kepler: Las áreas barridas por un radio vector en tiempos iguales son iguales, mientras que no son iguales los arcos recorridos en la órbita.

Pero entonces es preciso e imprescindible distinguir entre día solar verdadero o aparente (en el sentido de que esto es lo que se nos aparece) y día solar medio, como si existiese un sol ficticio con un movimiento más regular sobre la bóveda celeste, y que además tuviese en cuenta el conocido fenómeno de la precisión de los equinoccios, lo que daría lugar a la definición de año trópico, como el tiempo transcurrido desde el paso de ambos soles, el verdadero y el ficticio, por el punto vernal dos veces consecutivas, y que tiene precisamente 365,2421987 días solares medios o civiles.

Parece por tanto que en la medida del tiempo, los relojes mecánicos han ganado la carrera de la regularidad a los relojes naturales que definían el día y el año. Y por supuesto el mes, porque conviene decir que la variación en los movi-

¹¹ El reloj mecánico es anterior, pues parece que existen aún hoy en funcionamiento relojes de torre con mecanismo de escape, que provienen del s. XIV.

mientos de la Luna es aún mayor que la observada en el Sol. Pero, por otro lado, los relojes mecánicos adelantan y atrasan, como todos sabemos, y por tanto hay que volver a la Física para fijar una unidad de tiempo que sea la fundamental para las medidas científicas.

Como es preciso un proceso cuantitativo para poder definir el que los físicos llamamos tiempo dinámico, tendremos que fijarnos en dos procesos fundamentales, uno el que deriva de las leyes de la gravitación, que debemos a Newton; y otro, el que se apoya en las leyes de Maxwell. Ello dará origen a dos clases de tiempo, el tiempo de efemérides TE y el tiempo atómico TA. El primero se basa en que cualquier cuerpo astral del sistema solar sometido a las leyes de Newton, tendrá en su órbita un movimiento perfectamente determinado por esas leyes, de forma que los astrónomos podrán predecir cuantitativamente la posición del mismo en cada momento. Así se construyen las Efemérides, que no son sino detalladas tablas de la posición calculada en función del tiempo, y por ello nos indicarán inmediatamente el tiempo correspondiente a cada posición.

El tiempo atómico o electromagnético se deduce de las leyes de emisión electromagnética en los átomos, ya que con ellas deducimos la frecuencia de emisión, o sea el número de oscilaciones de la radiación. Bastará un artificio de recuento de las oscilaciones para tener perfectamente definido el tiempo atómico. Los relojes atómicos son por hoy los mejores en el sentido de ser los más precisos y los más estables. Y se escoge como patrón el reloj de Cs133, pues aún cuando los puede haber más precisos o más estables, sin embargo éste es por ahora el de mayor fiabilidad.

Y éste es el momento de definir la unidad fundamental del tiempo, el segundo. Para conseguirla no hay más que dividir el día solar medio en 86400 partes, es decir en el producto de multiplicar 24 por 60 por 60. Los ángulos se medían como sabemos en grados, los cuales constaban de 60 minutos (o partes menudas), divididas a su vez en 60 segundos (o par-

tes menudas de segunda especie). Por ello se tendió a dividir la hora en 60 minutos de tiempo, los cuales se dividieron en 60 minutos segundos. No es fácil decir si el segundo se acompasó con la pulsación humana, de forma casual, o si se buscó a propósito, aunque sí sabemos que Galileo determinó la ley del péndulo ayudándose como reloj de sus propias pulsaciones.

En consecuencia de lo dicho, tendremos ya el *segundo de efemérides*, por un lado, que estará completamente determinado en las Tablas de Efemérides y, por otro, *el segundo atómico*, determinado por la emisión electromagnética de ciertos átomos. Ambos deberían coincidir si todas las leyes en que se fundan estuviesen correctamente estatuidas. Pero se constató en seguida, (los primeros relojes atómicos son de los años 30 de este siglo), que ambos tiempos no coincidían a causa de irregularidades en la rotación de la Tierra, es decir en movimientos no bien determinados del eje polar, por lo que habría que determinar un patrón de corrección. Pero antes tendremos que hablar de otros tipos de tiempo.

Todos sabemos que el Sol no sale al mismo tiempo para todos los hombres ni en todos los países, y ni siquiera en los diferentes puntos de un país. Si la hora solar fuese válida, es decir si no tropezáramos con las dificultades que hemos visto antes, es claro que cada lugar de nuestro Planeta tendría su hora local, sin perjuicio de que hubiese ciertas coincidencias. Por otro lado es notorio que el meridiano del Observatorio de Greenwich ha tenido siempre una cierta preeminencia, explicable por múltiples razones. El paso del Sol por este meridiano determinaría las 12 del mediodía, y por ende el paso del Sol en las antípodas, o sea en el meridiano 180° , sería el comienzo del día para los astrónomos de ese Observatorio. La necesidad civil de mantener prácticamente la misma hora en cada país, hizo que se dividiese el Planeta en 24 husos horarios, que comprenden 15° de longitud. Y aunque las horas locales cambien en función de estos husos y con dependencia de las determinaciones legales, sin embargo el

tiempo solar medio de Greenwich queda como tiempo universal al que se referirán todos los acontecimientos astronómicos de un cierto día. Después veremos las correcciones que se hacen con el fin de obtener la máxima precisión. Pero por ahora detengámonos un poco en el tiempo universal TU, o TMG, si se prefiere recalcar que es tiempo solar medio medido en Greenwich.

El TU determina las horas civiles, conforme a los husos horarios admitidos, pero aquí debemos decir dos cosas: Una que no siempre es la misma hora en los diferentes países de una zona horaria, bien por determinaciones de conveniencia política o bien por razones de conveniencia económica, como la corrección que se hace en verano con el fin de ahorrar energía, y que se implantó ya en la I Guerra Mundial, y otra que en países muy extensos puede haber varias horas civiles, como sucede en EE.UU., y en España con la diferencia entre Canarias y la Península.

Sin embargo hay general acuerdo en que los cambios, sean los que fueran, deben hacerse por horas completas (hay excepciones en ciertos países orientales, en que se introducen las medias horas). No sucedía así a principios de siglo, pues en nuestro país nos regíamos por el meridiano de Madrid, lo que daba un retraso de un cuarto de hora respecto al de Greenwich.

Otro problema relacionado con el TU es el cambio de fecha. Es claro que, prescindiendo de la ecuación del tiempo, el paso del Sol por el meridiano de Greenwich determina las 12 del mediodía de un día cualquiera en TU. Pero en las antípodas, o sea en el meridiano que es a la vez longitud 180° Este y 180° Oeste, serán a la vez las 0 horas de un día y las 24 horas del mismo día, y por tanto las 0 horas del siguiente. Por consiguiente es lógico que en este meridiano se realice el cambio convencional. Sin embargo, la línea de demarcación del cambio de fecha no sigue exactamente el meridiano, pues se pretende que esta línea afecte lo menos posible a los países, y para ello se procura que esté delimitada en el mar. Y

sólo queda por obviar el inconveniente de que los barcos o los aviones que pasen esta línea tendrán que cambiar automáticamente de fecha de calendario. Supongamos por ejemplo, que en TU son las 20 horas del 27 de enero, entonces en el meridiano 180° son las 8 de la mañana del día 27 para los que están al Este del mismo y las 8 de la mañana del día 28 para los que están al Oeste, con lo que los pasajeros que estén en ruta hacia América ganarán un día y los que estén en ruta hacia la China o Japón lo perderán. Unos y otros pasajeros tendrán que tener en cuenta la sencilla regla que hemos dicho para saber la fecha en que realmente se encuentran, y lo que deberán hacer es preguntárselo al capitán o a la azafata (¡es lo más fácil!).

Resumiremos ahora para saber el punto en el que estamos:

Existe por un lado una medida del tiempo debida a la rotación de la Tierra, y se llama tiempo rotacional. En este tiempo rotacional se pueden incluir, con sus ligeras variantes, el tiempo local, el sidéreo y el solar medio, que ha dado lugar al tiempo universal TU conforme a un convenio generalmente seguido. Este TU se mide fácilmente en cualquier observatorio astronómico con la ayuda de un telescopio que observe el paso de una estrella por el meridiano local, y haciendo las correcciones pertinentes.

Prácticamente se siguen las definiciones básicas de determinación del tiempo que da la *Unión Astronómica Internacional*, mientras que es *Le Bureau International de l'Heure* en París quien se encarga de reducir y coordinar las informaciones, es decir los diversos TU de diferentes observatorios. Al tiempo obtenido se le llama $TU\emptyset$. Si se corrige $TU\emptyset$ para salvar las irregularidades del movimiento del eje polar, se tendrá $TU1$, y por último, si se tienen en cuenta los cambios anuales en la velocidad de la Tierra se pasará a $TU2$ ¹².

¹² *Efemérides Astronómicas*, 1988. Real Inst. y Observ. de la Armada, San Fernando (Cádiz) pp. 434 y ss.

Sin embargo el segundo que se toma como patrón en Física no viene determinado en principio por TU2, sino por TU0 que en combinación con el llamado año trópico, o tiempo transcurrido para que el Sol pase dos veces consecutivas por el punto vernal, permite definir el segundo como $1/31.556.925,9747$ del año trópico.

En cuanto al tiempo de efemérides TE, los astrónomos nos hablan de tiempo dinámico terrestre TDT y de tiempo dinámico baricéntrico TDB. Pero prescindimos de esta división porque se trata de precisiones técnicas que nos apartan de lo que nos hemos propuesto. Únicamente queremos advertir que existen estas diferencias a los que manejen Tablas de Efemérides.

Por el otro lado hemos dicho que el tiempo atómico se fundaba en la frecuencia de la radiación electromagnética de los átomos, y también que el reloj atómico de Cs133 era el más aceptado en cuanto a conjugar estabilidad y precisión, y por ello se define el segundo atómico como el tiempo en que se realizan 9.192.631.770 oscilaciones de la radiación debida a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del susodicho Cs133.

Prácticamente el tiempo atómico se obtiene de la coordinación de unos 50 relojes atómicos dispersos por los observatorios del mundo. Con ello se obtiene el tiempo de un reloj atómico ideal, que habrá de ajustarse a una época para contar a partir de ella los segundos transcurridos. Pero como a la larga puede haber diferencias apreciables entre el TA y el TU2, ya que el movimiento rotacional no es tan regular como regulares son las oscilaciones del átomo, se establece que el tiempo atómico ha de permanecer cercano al TU2. Y a este tiempo atómico ajustado a TU2 se le llama tiempo universal coordinado TUC, que es el tiempo que se utiliza en comunicaciones para transmitir las señales horarias. Este TUC tendrá la frecuencia de un reloj atómico, pero como a partir del 1º de enero de 1970 se acordó mantener este tiempo dentro de un margen de 0,5 seg. respecto a TU2, lo que se hace

es corregir los relojes de TUC si es necesario. En general se suelen retrasar un segundo por año. Y el día en que hay que hacerlo lo determina *Le Bureau International de l'Heure*.

Según esto el segundo atómico es por ahora más corto que el segundo medio solar, que se define en función del año trópico. De hecho

$$1 \text{ seg. m.s.} = 1/86400 \text{ día m.s.}$$

$$1 \text{ seg. at.} = 1/86400,0026 \text{ día m.s.}$$

$$1 \text{ seg. m.s./1 seg. at.} = 1,000000003$$

Pero por si tantas cifras nos marean ¹³, insistamos sólo en que los astrónomos han ganado la carrera a los físicos atómicos por cuanto parece por hoy más importante el movimiento rotacional de la Tierra, no tan regular, que el movimiento aparentemente regular de los relojes atómicos. Sin embargo no propugnamos ninguna guerra entre científicos, porque hemos querido demostrar, por el contrario, que para llegar al punto de precisión, en la determinación de la medida del tiempo, a que hemos llegado hoy, es necesaria la colaboración de astrónomos prácticos que realicen precisas observaciones, de astrónomos teóricos que determinen las ecuaciones que permiten elaborar las Tablas de Efemérides, de físicos capaces de determinar, teórica y prácticamente, medidas espectroscópicas precisas y de ingenieros que consigan la realización técnica consiguiente que llega a la construcción del reloj atómico.

Un mundo, desgraciadamente aparte, lo formarán los filósofos que tratan de explicarnos qué es el tiempo, tanto en la filosofía oriental como en la occidental, o los psicólogos que estudian los mecanismos de aprehensión de la idea del tiempo, tanto en los niños como en edades adultas. Pero todos ellos contribuyen a ir desvelando ese tiempo que el saber popular ha hecho de oro, que se nos escapa entre los dedos, y

¹³ Esa diferencia entre 1,00000003 y la unidad, que se expresa como 3×10^{-8} , significa que cada año hay una diferencia de un segundo, que es lo que se corrige.

que en ciertas actividades parece trascurrir de manera veloz y en otras de manera muy lenta.

Los humanos hemos logrado, como se ha visto, precisar la medida del tiempo hasta límites inimaginables, pero sin embargo creemos que siempre planeará sobre nosotros el enigma del tiempo, ya que de ningún modo podremos llegar a dominarlo ¹⁴, porque dominar el tiempo supondría controlar y gobernar los infinitos relojes del cosmos.

FERNANDO MUÑOZ BOX

¹⁴ No estamos de acuerdo de ningún modo con quienes propugnan la posibilidad, con el avance de la ciencia, de encontrar la máquina del tiempo. Y somos los primeros en sentirlo.