

ganda en la mente de los humanos; pero mientras subsista el peligro de guerra, la natalidad no será limitada, por el contrario será estimulada.

BIBLIOGRAFIA

- Dr. S. Swarsop, Epidemiological Statistic Report 1951. Citado Mauricio Goldsmith, Redactor Científico de la UNESCO.
- Prof. Julian Huxley, Revista Horizon, Director General de la UNESCO. ¿Sobra gente en este mundo?
- British Medical Journal, Nov. 3 de 1956. Editorial denominado World Population.
- Hernán Romero y Ernesto Medina, Revista de la Confederación Médica Panamericana, 12 de enero 1957. Aspectos Demográficos de América Latina.
- Bangsee Liu, "El Correo de la UNESCO", marzo 1958. ¿Hay ahora más analfabetos en el mundo?
- Serafina Ljuvimova, "El Correo de la UNESCO", marzo 1958. La más vasta campaña de alfabetización de la historia.
- Garciatello, Congreso Médico Nacional Peruano, Lima 1954. El Sexto Riesgo Vital, la Intemperie.
- Timotey Emereyev, en su visita a Chile, Miembro del Consejo Central de Sindicatos de la URSS. Datos directos.
- Gastón Ossa, Ingeniero. "El Mercurio", de Valparaíso. Cálculo sobre déficit y costo de viviendas populares en Chile. 1956.
- Luciano Cruz, Diario "el Siglo" 29 de julio 1958. Cómo vive y muere el pueblo de Chile. Jornadas de Desarrollo Económico organizadas por la Asociación de Ingenieros Comerciales.
- J. Murray Luck, Discurso sobre el aumento de la población del mundo a nombre de la Asociación Americana para el progreso de la ciencia. Conferencia Mundial de Biología celebrada en California, 1958.

LA MEDIDA DEL TIEMPO Y LOS RELOJES DE CUARZO EN NUESTRAS EXPERIENCIAS

por CLAUDIO ANGUITA
Astrónomo del Observatorio Nacional

"El tercer punto de la señal indicará las... horas. Hora oficial, controlada por el Observatorio Astronómico de la Universidad de Chile". Escuchamos estas palabras del locutor de alguna de las emisoras santiaguinas y probablemente llevamos la vista a nuestros relojes para comprobar si marcan la hora de acuerdo con la señal irradiada. Todo esto lo hacemos sin pensar mayormente en el proceso que ha sido necesario para proporcionarnos esa señal horaria que permitirá uniformar nuestras actividades. Nos hemos formado, así, conciencia del transcurso del tiempo, tal como lo apreciamos en el correr del segundo y del minuto; pero, muy pocos conocen, además de los especialistas, el reloj patrón por el cual se regulan y, menos aún, los principios en que se basa la medida del tiempo.

Ante todo, la *medida del tiempo* es, esencialmente, el proceso de contar la recurrencias de un fenómeno periódico. Cualquier fenómeno periódico cuyas recurrencias pueden ser contadas es, en sí, una medida del tiempo. Podríamos citar, como ejemplos familiares, al latir del corazón, el paso de los trenes por una estación, la vibración de un diapasón o la oscilación de un péndulo. Es evidente que no todos estos fenómenos son igualmente apropiados para estos fines. El corazón de distintas personas no late con el mismo ritmo e incluso, el de una misma persona, varía en distintas épocas y... finalmente... se detiene. El paso de los trenes por una estación, quizás sea más apropiado que el corazón para estos propósitos; pero, ni aún el diapasón o el péndulo son lo suficientemente apropiados para las aplicaciones más precisas. Entonces ¿qué hace que una medida de tiempo sea buena o mala? y ¿qué debemos escoger como patrón fun-

damental de tiempo, de manera que sirva no solamente para los propósitos de la vida civil, sino, también, para todos los experimentos científicos?

Una medida ideal de tiempo debe ser *invariable* y *accesible*. No es necesario dar una definición de estos términos, pues basta la intuición para darse cuenta de lo que ellos significan. Estos requerimientos para una medida ideal de tiempo: invariabilidad y accesibilidad son, generalmente, incompatibles, tal como sucede con todos los patrones de Física. Hasta estos últimos años se había dado más importancia a lo accesible de un patrón de medida, pero el perfeccionamiento de las técnicas de observación y la demanda consiguiente de una mayor precisión en los patrones, han obligado a poner una mayor atención en la invariabilidad.

En los primeros tiempos, los hombres no tenían necesidad de ningún reloj mejor que el movimiento diurno del Sol, al que consultaban a simple vista primero y más tarde, con los cuadrantes solares. Transcurrieron muchos siglos antes que el hombre inventara máquinas para conservar el tiempo; aunque estas máquinas o relojes han llegado a ser cada vez más complejas y exactas, nunca han sido utilizadas como patrones fundamentales de tiempo, porque no eran suficientemente invariables. Estaban sujetas a detenciones ocasionales, e incluso, no eran suficientemente invariables, aun cuando estuviesen funcionando. Aunque no es tan fácil darse cuenta de lo que significa que un reloj sea invariable, es fácil ver que no es precisamente uno que esté sujeto a detenciones. Por estos motivos, hasta 1955, el patrón fundamental de tiempo era el segundo solar medio.

El *segundo solar medio* es definido como la 1/86.400

parte del día solar medio. El día solar medio es definido como el intervalo medio entre dos pasajes consecutivos del Sol medio ficticio por el meridiano de un lugar. Para hacer esta definición completamente comprensible, se requeriría casi un tratado de Astronomía. Sólo necesitamos decir que, el segundo solar medio, es una fracción bien precisa del período de rotación de la Tierra en torno a su eje. Ahora bien, el segundo solar medio será invariable, solamente si la velocidad de rotación de la Tierra es uniforme. Por otro lado, si ésta varía, el segundo solar medio variará en la misma proporción.

La determinación práctica del tiempo consiste en comparar un reloj mecánico con la rotación de la Tierra. Esta rotación puede ser observada con bastante exactitud, solamente cuando los nublados no impiden la visión de los objetos celestes; de aquí, que necesitamos de los mejores relojes para conservar el tiempo durante el intervalo transcurrido entre las observaciones astronómicas. Para estos fines ya no se utilizan los relojes de péndulo, pues, desde hace unos veinticinco años, los relojes de cristal de cuarzo los han superado como instrumento de interpolación del tiempo, a causa de su mayor estabilidad y precisión. El principio de operación de estos relojes es el siguiente: un cristal de cuarzo es hecho vibrar mecánicamente por medio de una excitación eléctrica. Las vibraciones del cristal, del orden de 100.000 por segundo, son convertidas en corriente alterna, digamos 1.000 ciclos por segundo, que se utiliza para hacer andar un motor eléctrico síncrono y un tren de engranajes semejante al que se puede encontrar en cualquier reloj. Estos relojes tienen una falla (además de detenciones ocasionales) que los inhabilita como patrones de tiempo durante períodos muy largos: ellos aceleran constantemente, debido a un envejecimiento de los cristales. El valor de esta aceleración debe ser determinado para cada reloj, por medio de una serie de observaciones astronómicas. Después de tomar en cuenta esta aceleración, los mejores de estos relojes pueden conservar el tiempo, durante un intervalo de más o menos un año, con un error máximo de 0,02.

Actualmente, existen en el mundo alrededor de 30 servicios horarios que poseen relojes de cuarzo, entre los que se cuenta el del Observatorio Astronómico de la Universidad de Chile. La mayoría de los servicios horarios transmiten por radio, señales horarias basadas en la hora de sus propios relojes, los que han sido corregidos, cada vez que el tiempo lo permite, por medio de observaciones astronómicas y, además, comparados diariamente entre sí. Las observaciones para determinar la corrección de los relojes se realizan de noche, ya que el tiempo puede ser calculado con mucha mayor precisión observando las estrellas en lugar del Sol. En el Observatorio Astronómico Nacional se usa un telescopio, llamado *instrumento de pasajes*, que tiene movimiento solamente en el plano del meridiano; de tal manera que sólo se pueden observar estrellas en el momento de su tránsito por el meridiano. Una observación consiste en anotar el tiempo preciso, de acuerdo a uno de los relojes de cuarzo, llamado entonces *reloj patrón*, del paso de una estrella por el meridiano del lugar. En una determinación de hora se observan 10 estrellas con las que, después de cálculos que demoran algunas horas, se determina en cuánto está atrasado

o adelantado el reloj usado como patrón. De esta manera, la rotación de la Tierra, corregida de una de sus irregularidades llamada estacional, sirve para regular los relojes. Estos, a su vez, controlan las señales horarias radiotelegráficas que proporcionan el tiempo a todos aquellos que lo necesitan, ya sea con propósitos civiles o científicos. La corrección necesaria, para tomar en cuenta esta irregularidad estacional de la rotación de la Tierra, es del orden de 30 milésimos de segundo en su valor máximo, por lo que, para los propósitos de la vida civil, no tienen la importancia que adquiere para la técnica y la investigación científica.

La recepción de las señales horarias internacionales, realizada en cada Servicio Horario, permite comparar las horas calculadas en los distintos observatorios, según sus propias determinaciones astronómicas. La hora promedio de los mejores relojes de cuarzo de cada observatorio, constituye lo que se llama hora *semi-definitiva* del mismo. Esta hora semi-definitiva, ha sido corregida de las irregularidades introducidas por el movimiento del polo en la superficie terrestre. En efecto, el polo se mueve dentro de un círculo de radio aproximado de 12 metros, lo que se traduce en una variación de la latitud y longitud geográficas de un lugar. Esta corrección, tiene por efecto uniformar el tiempo determinado en cualquier punto de la superficie terrestre. Desde 1956 se corrige, además, esta hora de ciertas irregularidades periódicas de la rotación de la Tierra; la finalidad de esta corrección es la de proporcionar un tiempo apropiado en todos los casos en que los requerimientos científicos y técnicos exijan una precisión de una parte en 10 millones (1×10^{-7}).

La hora semi-definitiva de la recepción de señales horarias es comunicada al Bureau International de l'Heure (B.I.H.), con sede en París, que, bajo los auspicios de la Unión Astronómica Internacional (U.A.I.), compara los resultados de los distintos servicios horarios y los coordina, calculando una hora promedio, llamada *Hora Definitiva*. Para tener una idea de lo minucioso de estos cálculos, basta saber que ahora, en marzo de 1960, recién se conocen, a través de los Boletines Horarios del B.I.H., las correcciones de la hora semi-definitiva correspondiente al mes de mayo de 1958. Estos boletines contienen las correcciones diarias, que cada observatorio debe aplicar a su hora calculada, para obtener la Hora promedio mundial. La variación máxima de esta corrección para la Hora semi-definitiva de nuestro servicio horario, en mayo de 1958, fue de 15 milésimos de segundo. El promedio anual de las correcciones de la hora semi-definitiva corresponde a la corrección de la longitud convencional del observatorio en relación a la longitud del Observatorio Medio, esto es, al conjunto de observatorios con cuyas horas se determina la Hora Definitiva. Las desviaciones de las correcciones respecto del promedio anual, se deben a errores accidentales y estacionales (meteorológicos) de la determinación de la hora, propios de cada lugar. La recepción de señales horarias, además de servir de enlace entre las determinaciones de hora de los distintos servicios horarios, tiene gran importancia en el estudio estadístico de la velocidad aparente de propagación de las ondas hertzianas, principalmente las decamétricas.

En cuanto al interés científico que puede tener el servicio horario del Observatorio Astronómico Nacional, basta citar textualmente al Dr. N. Stoyko, Director del B.I.H., quien en respuesta a los primeros resultados enviados, dice: "*La situation de votre Observatoire est très importante pour l'étude des différents questions liées avec la Terre et sa rotation. Votre service horaire est unique dans l'Amérique du côté de l'Océan Pacifique, tandis qu'il existe 6 services horaires du côté de l'Océan Atlantique (Ottawa, Washington, Richmond, Rio de Janeiro et Buenos Aires (2)). Comme la latitude de votre observatoire ne diffère pas beaucoup de celle de Buenos Aires, les erreurs du catalogue fondamental seront les memes sur les deux liex et les variations des longitudes des station pourront montrer les flexions relatives de l'écorce du côté des océans Pacifique et Atlantique (variation de la deviation de la verticale), en plus de la question de la rotation de la Terre.*"

Ahora bien, quien necesita el tiempo con mayor exactitud es el astrónomo. Sobre todo en el estudio de los movimientos de la Tierra y de los cuerpos celestes. Para esto se necesita conocer el tiempo con una precisión de un milésimo de segundo, aproximadamente. El tiempo exacto se requiere, también, en los barcos y aviones, que viajan guiándose por los cuerpos celestes, pero aquí es suficiente la exactitud de más o menos un segundo. El físico y el ingeniero necesitan, en cambio, una precisión mayor aún que la requerida por el astrónomo aunque, en realidad, lo que necesitan no es el tiempo en sí, sino un patrón de frecuencia.

Una frecuencia es el número de recurrencias de cualquier fenómeno en la unidad de tiempo; más exactamente, es la razón entre dos medidas de tiempo diferentes. Cuando los ingenieros eléctricos usan esta palabra, dan a entender la frecuencia de una corriente alterna en ciclos por segundo. Para saber cuántos ciclos tiene una corriente alterna por segundo es necesario, por supuesto, conocer la duración de un segundo; para esto, el físico y el ingeniero deben recurrir al astrónomo. Los patrones de frecuencia tienen una importancia fundamental, no solamente en la ciencia sino, también, en nuestra vida diaria. Sin ellos no existiría la radio, la televisión, ni el radar que presta tantos servicios importantes a la navegación. Por supuesto, éstos son solamente unos pocos ejemplos. Lo importante que hay que hacer notar en relación a la frecuencia, es que dos frecuencias pueden ser comparadas entre sí con gran precisión, sin necesidad de saber el tiempo, esto es, la época en que se realiza la comparación. Si se observa, por ejemplo, que una frecuencia gana un ciclo por segundo en relación a un patrón de frecuencia y si se sabe que la frecuencia del patrón es de 100,000 ciclos por segundo, resulta evidente que la otra frecuencia es de 100,001 por segundo. Lo mismo sucede con el patrón de frecuencia: el astrónomo no necesita decirle al ingeniero la hora en que ha hecho su medición sino, solamente, cuánto está ganando o perdiendo su patrón de frecuencia o, en otras palabras, cuál es la frecuencia exacta. De hecho los mismos relojes de cuarzo son usados como patrones secundarios de hora y de frecuencia. Hasta hace muy poco tiempo, el patrón fundamental usado en ambos casos era la *velocidad de rotación de la Tierra*. Hemos dicho al principio de este artículo que el se-

gundo solar medio sería invariable solamente en el caso de que la velocidad de rotación de la Tierra fuera uniforme. Sin embargo, la velocidad de rotación tiene tres tipos de variaciones:

a) Una *variación periódica o estacional*, que ya hemos mencionado en relación a la Hora Semi-definitiva. La Tierra, considerada como reloj, se atrasa 0'.030 en relación a un tiempo uniforme en la primera parte del año y se adelanta, aproximadamente en la misma cantidad, en la segunda parte. Esta variación produce una desviación de 0'.001 del día en relación al día medio. La importancia de los relojes de cuarzo se puede deducir del hecho de que estas variaciones fueron descubiertas analizando el comportamiento de dichos relojes. Actualmente, comparando las horas de los relojes de cuarzo de los distintos servicios horarios, se pretende probar si la Tierra gira como un bloque sólido o no. La causa de esta variación no está determinada; aunque recientemente se ha calculado el efecto de los vientos sobre la rotación de la Tierra y parece existir un acuerdo bastante razonable entre estos cálculos y la observación astronómica del período anual.

b) Una *variación secular*. Analizando las épocas de los antiguos eclipses, se descubrió que la duración del día aumentaba un milésimo de segundo por siglo. Aunque la duración del día aumenta tan lentamente, el efecto sobre la medida del tiempo puede alcanzar a varias horas en 2,000 años. Hasta hace muy poco tiempo, se creía que esta variación secular era el efecto de la fricción de las mareas en los mares estrechos y poco profundos. Ahora, sin embargo, se ha pensado que es probable que las mareas atmosféricas producidas por el Sol puedan acelerar, a su vez, la rotación de la Tierra equilibrando el efecto anterior.

c) Una *variación irregular*. A través del estudio de las posiciones calculadas y observadas, durante los tres últimos siglos, del Sol, la Luna y los planetas interiores, se determinó, en 1939, que la Tierra, considerada como reloj, se había alejado en ambos sentidos de la lectura de un reloj perfecto en 30 segundos aproximadamente. Estas variaciones no siguen ninguna ley y no se les puede asignar, tampoco, ninguna causa particular. Parece bastante bien establecido, sin embargo, que son efectos acumulados de aceleraciones y retardaciones pequeñas, bruscas, fortuitas, las que producen la mayoría de las variaciones progresivas de la velocidad de rotación de la Tierra. Estas variaciones pueden producir un error en la determinación del tiempo de una parte en veinte millones (5×10^{-8}). Como hemos visto, la rotación de la Tierra no es uniforme y el segundo solar medio tiene variaciones que pueden alcanzar hasta una parte en 10 millones (1×10^{-7}). Pero los astrónomos y, particularmente, los físicos en sus mediciones de frecuencia, necesitan actualmente una precisión mucho mayor, debido principalmente a que los patrones atómicos de frecuencia alcanzan ya una precisión de una parte en 10,000 millones (1×10^{-10}). Para darse cuenta de lo que significa esta estabilidad en la frecuencia, basta mencionar el hecho de que si este patrón de frecuencia funcionara sin interrupciones, tendría una variación de sólo un segundo en 300 años respecto de las lecturas de un reloj perfecto. Esta variación del segundo solar medio presenta el inconveniente de que la precisión de la medida de una cantidad (en este caso, la frecuencia)

en términos del patrón fundamental, supera en mucho (1.000 veces) la precisión con que el patrón mismo puede ser definido. Esto ha obligado a los astrónomos a abandonar la rotación de la Tierra como patrón fundamental de Tiempo, para reemplazarla por la revolución de la Tierra alrededor del Sol. Es el *Tiempo de las Efemérides* (T.E.), que toma su nombre de las tablas que dan las posiciones calculadas de los cuerpos celestes para distintas épocas. El segundo que corresponde a este tiempo, teóricamente uniforme, fue definido por la Unión Astronómica Internacional en 1955, en su reunión de Dublín y confirmado al año siguiente por el Comité Internacional de Pesos y Medidas. El segundo de las Efemérides fue definido como la fracción $1/31.556925,9747$ del año trópico para 1900 enero 0 a 12^a T.E. Técnicamente, el uso de la palabra segundo sin adjetivo calificativo, significa actualmente el segundo de las efemérides. Las diferencias del segundo solar medio respecto de esta nueva unidad patrón pueden alcanzar hasta una parte en 10 millones (1×10^{-7}). El inconveniente que presenta este nuevo patrón de tiempo es que no es inmediatamente accesible, necesitando un plazo de más o menos cuatro años para ser determinado con la precisión requerida actualmente. Esto ha ocasionado polémicas entre los astrónomos y los físicos, ya que estos últimos necesitan comparar casi inmediatamente sus mediciones de frecuencia con la unidad patrón; y con este propósito han querido definir la unidad fundamental de tiempo en base a la frecuencia del patrón atómico de Cesio. Los *patrones atómicos de frecuencia*, llamados también *relojes atómicos*, están basados en oscilaciones atómicas en la región de las microondas hertzianas, con frecuencia en el rango de unos pocos miles de millones de ciclos por segundo, que pueden ser contados con gran precisión por las técnicas y equipos actuales. El átomo de Cesio, como la molécula de Amoníaco, tiene una vibración natural cuya fre-

cuencia pertenece a la región de las microondas; por lo que ha sido elegido para construir patrones de frecuencia de gran precisión. Recientemente se ha construido en Inglaterra un patrón de frecuencia de Cesio, cuya estabilidad es de una parte en 100.000 millones (1×10^{-11}), lo que facultaría para conservar la hora si funcionara, ininterrumpidamente, con una variación máxima de un segundo en... 3.000 años!

Es muy posible que esta exactitud extraordinaria en la medición de la frecuencia revele algún fenómeno inesperado. En realidad, no es evidente por sí mismo, que los tiempos conservados por los relojes atómicos y astronómicos se mantengan iguales indefinidamente. Ellos pueden diverger. En efecto, Dirac, Milne, Jordan y otros, han sugerido que las que generalmente se consideran como "las constantes de la Física" pueden cambiar en valores del orden de $1/T$ por año; donde T es la "edad del Universo" en años. Si T es alrededor de 6×10^9 años, se pueden medir cambios de este orden dentro de un intervalo de unos pocos años. Puede ser comprendida mejor, quizás, la naturaleza de la posible diferencia, describiendo el procedimiento usado para probar su existencia. La frecuencia de un patrón atómico de Cesio está siendo determinada, desde 1915, usando como unidad fundamental de Tiempo, el segundo de las Efemérides; y para el año en curso, se espera obtener un valor con una precisión de una parte en 1.000 millones (1×10^{-7}). Una segunda determinación realizada, digamos, 10 años más tarde, nos daría otro valor de esta frecuencia. Ahora bien, si la diferencia entre estos dos valores es superior a lo que podemos considerar como errores de observación, el tiempo atómico y el tiempo astronómico serán divergentes. Esta sola posibilidad, de un enorme interés científico, da mayor interés aún a los métodos de la conservación de la hora y, quizás, pueda permitir a los científicos dar una respuesta a la pregunta: ¿Está el Universo en expansión?

EN CHOUKOUTIEN, LA MORADA DEL HOMBRE DE PEKIN

En su visita a China, el Rector Juan Gómez Millas tuvo oportunidad de conocer Choukoutien, pequeña ciudad situada a 48 kms. al suroeste de Pekín, donde "habita" el Hombre de Pekín (*Sinanthropus pekinesis*).

Choukoutien produce la piedra caliza, que se extrae de la densa cama ordosiana formada por la espina dorsal de los cerros cercanos. Es en las cuevas y grietas de estos cerros donde finalmente fue descubierto el fósil.

Desde el comienzo de las excavaciones de Choukoutien en 1927 hasta el momento en que quedaron detenidas por el estallido de la guerra de 1937, se reunió una enorme cantidad de fósiles humanos, incluyendo cinco tumbas de calaveras casi completas, fragmentos de huesos faciales, 14 piezas de mandíbulas, 147 dientes y otros fragmentos. Poco después de la liberación de Pekín en 1949, se reanudaron las excavaciones. En 1949 y 1951, otras dos pequeñas excavaciones permitieron el hallazgo de 5 dientes y dos

fragmentos de miembros del Hombre de Pekín. Desde 1958 se han continuado excavaciones en gran escala y el año pasado se encontró una mandíbula bastante completa. Al presente, 23 lugares fósiles se han excavado en esta área.

A fines de 1953 fue creado un pequeño museo por el Instituto de Paleontología Vertebrada, Academia Sínica, con el objeto de ofrecer un conocimiento comprensible del Hombre de Pekín y sus ambientes. Brevemente describimos a continuación las ocho secciones de exposición y los dos lugares fósiles importantes de Choukoutien.

I El Hombre de Pekín y su cultura Se exhiben aquí vaciados en yeso de la mayor parte de los especímenes del Hombre de Pekín, sus utensilios de piedra, las evidencias de que usaban el fuego, etc. Los vaciados se complementan con materiales comparativos de recientes especímenes de hombre. La mayor anchura de la bóveda craneana del Hombre de Pekín