



LA MEDIDA DEL TIEMPO

1. Es obvio darse cuenta del ciclo diario: día-noche-día-noche... Es bueno conocer las regularidades porque permiten predecir (esperamos que mañana salga el sol otra vez). La medida del tiempo es la ordenación de sucesos periódicos según un antes y un después (aunque sea una tautología, es una definición escueta y rica: "tic-tac").
2. Las personas necesitan medir el tiempo. Dice Isidoro de Sevilla: "Quítese al tiempo su cómputo y todo quedará envuelto en la ciega ignorancia, y en nada se diferenciará el hombre de los demás animales". Tempus=la llegada de la estación. Chronos=flujo inexorable (irreversible) de estaciones. Khronos=dios del orden (en la teogonía de Hesiodo), hijo de Gaea y Urano y padre de Zeus.
3. Es fácil sincronizar (adaptarse al periodo), grosso modo, la actividad diaria al ritmo diario: desayuno-trabajo-comida-trabajo-cena-dormir..., pues basta con asociar las comidas con el amanecer (o levantarse), el mediodía (Sol más alto), y el anochecer (o al acostarse). Aun así no es fácil coincidir a mediodía (sincronía < 1 hora).
4. Ya los egipcios conocían los ciclos diario (giro de la Tierra sobre sí misma), lunar (giro de la Luna alrededor de la Tierra) y solar (giro de la Tierra alrededor del Sol) antes del 5000 a.C. Por ser el ciclo más marcado, se eligió el día como unidad de medida. Hoy día se sabe también que el Sol gira alrededor del centro de la Vía Láctea (nuestra galaxia) cada $225 \cdot 10^6$ años, que la Vía Láctea gira alrededor del cúmulo de Virgo, etc.
5. Es fácil darse cuenta de que la luz del día dura más en verano que en invierno (se empezó explicándolo en base a la dilatación térmica).
6. No es evidente (ni verdadero) que el día más la noche (e.g. desde un amanecer hasta el siguiente) duren siempre lo mismo, pero es evidente que puede usarse el día como unidad aproximada para medir el tiempo.
7. Si se observan las fases de la luna, se ve que tienen un periodo de unos 29 ó 30 días (29,5306 días), lo que puede servir también para medir aproximadamente el tiempo (en lunas o meses).
8. Si se observa el movimiento del Sol (e.g. su altura angular al mediodía) puede establecerse una clara correlación entre las estaciones térmicas y pluviométricas de las regiones templadas y el ciclo solar anual, año, que es de unos 365 días (según la fineza de la medida puede ser de unos 350 ± 30 días o de $365,2422 \pm 0,00005$ días).
9. Aunque pocas actividades humanas están ligadas al ciclo lunar (las mareas), toda la agricultura en las zonas templadas está ligada al ciclo solar. Los primeros calendarios egipcios eran lunares, pero hacia el 4200 a.C. pasaron al solar de 365 días, basándose en que la estrella Sirio (la más brillante del cielo) justo precede al Sol en el amanecer cada 365 días, precisamente en la época en que comienzan las inundaciones del Nilo. El mes (lunar) se dividió en cuatro semanas (siete días) para corresponder a las cuatro fases lunares (luna nueva, cuarto creciente, luna llena y cuarto menguante), aunque ya el poeta griego Hesiodo (s. VII a.C.) dividía los meses (de 30 días) en tres décadas, como luego hicieron los promotores del sistema métrico decimal en Francia en 1791.

10. Es importante darse cuenta que ni el periodo lunar ni el solar son múltiplos enteros del periodo diario, ni aquéllos entre sí, luego un año no tiene un número de días entero ni de meses lunares entero. La relación año/mes/día varía secularmente porque la Tierra cada vez gira más despacio (dentro de unos $60 \cdot 10^6$ años el año sería de 360 días justos) y porque la Luna cae en espiral girando cada vez más deprisa.
11. Calendario, es el sistema de cuenta de los días y sus agrupaciones (meses, años, eras). Todos los calendarios son relativos a un origen arbitrario llamado era, que en el calendario actual es el año atribuido al nacimiento a Jesucristo (e.g. la llegada del hombre a la Luna fue el 1969 d.C., i.e. después de Cristo, o en latín AD, anno domini). Tratando de evitar connotaciones religiosas particulares, actualmente se prefiere designar el origen de este calendario como "Era Común" (EC), o era corriente, y decir 'antes de la era corriente' AEC en vez de antes de Cristo (a.C.). Historia del calendario:
- En el 5000 a.C. en Egipto ya usaban un calendario luni-solar de doce meses de 30 días (por lo que ni cada mes empezaba la luna en la misma fase, ni cada año empezaba el Sol en la misma posición).
 - En el 432 a.C. el astrónomo griego Metón calculó que 19 años solares tienen 235 meses lunares casi exactamente (en China ya se sabía un siglo antes, y se usaban 12 años de 12 meses y 5 de 13).
 - En el 46 a.C. Julio César, de vuelta de Egipto, mandó rehacer el calendario, según proponía Sosígenes de Alejandría, con el fin de aproximarse más al año trópico, adoptándose un año con 365 días y, en cada cuatro, uno con 366 (i.e. el año juliano de 365,25 días de media). El calendario romano empezaba el 1 de enero de cada consulado, y los historiadores referían estas eras al supuesto año de fundación de Roma (ab urbe condita, AUC, el 753 a.C.). El primer calendario romano tenía 10 meses: Martius (Marte), Aprilis (Aphrodite), Maius (Maja, mujer de Vulcano), Iunius (Juno), Quintilis (quinto), Sextilis (sexto), September (séptimo), November (noveno) y December (décimo); hacia el 713 a.C., Numa (segundo rey de Roma) añadió Ianuarius (el primer mes del año) y Februarius (mes de la purificación); en la reforma juliana, como el Quintilis ya no era el quinto, se llamó Julio en su nombre, a Sextilis Augusto, pero ya no se ha continuado). Aunque el vulgo contaba los días del mes por su ordinal, en el lenguaje culto se referían a las calendas (el primer día del mes era la calenda, originariamente el día de la luna nueva, de cuyo nombre deriva calendario) y a los idus (el 15º día del mes, algunas veces el 13º, originariamente el día de la luna llena). Los días de la semana se llamaban 'ferias' y eran Luna, Marte, Mercurio, Júpiter, Venus, Saturno y Sol.
 - En España se usó la Era Hispanica (con origen en 39 a.C.) hasta el 1384 (en Castilla); e.g. el CCCCVIII corresponde al año 381 a.D., no al 419).
 - En el 325, en el Concilio de Nicea, la iglesia adaptó el calendario Juliano y estableció que el domingo de Resurrección sea el primero tras la primera luna llena primaveral (i.e. coincidente o posterior al equinoccio de primavera, que en aquel año fue el 21 de marzo). Posteriormente en el 525 se cambió el origen del calendario (que entonces era la Era de Diocleciano), al nacimiento de Cristo, según los cálculos del monje romano Dionisio el Joven (o el Exiguo). Debido al ciclo luni-solar de Metón antes mencionado, cada 19 años el domingo de Resurrección cae el mismo día del mes.
 - Al no haber incluido como origen el año 0 sino el 1, aparece una paradoja: el tercer milenio empezaría el 01-01-2001 (aunque incluso el Vaticano lo celebre el 01-01-2000). Además, por no

usar números negativos y contar hacia atrás con el mismo criterio entre el año 1 a.C al 1 d.C. hay dos años 0 (del 01-01-0001 a.C. al 01-01-0001 d.C. transcurrieron $3 \cdot 365$ días).

- En 1582 una bula del Papa de la iglesia católica Gregorio XIII, corrigió el calendario Juliano (al jueves 4-10-1582 le siguió el viernes 15-10-1582), instaurando el año bisiesto, con un día extra que se añade a febrero porque el año litúrgico empieza en marzo. Como Rusia era ortodoxa, fue en 1918 cuando se pasó del 31-01-1918 al 14-02-1918 (las fiestas litúrgicas siguen desfasadas).
- Como con el año bisiesto el ciclo sería de 365,25 días y realmente son $365,2422 \pm 0,00005$ días, se excluye el año de la centuria (1800, 1900) de entre los bisiestos, perdiendo con ello 86400 s cada 400 años, aunque como sólo deberían perderse $(365,25 - 365,2422) \cdot 86400 \cdot 100 = 67400 \pm 400$ s, cada 4 siglos se retiene el de la centuria como bisiesto, luego el año 2000 y el 2400 serán bisiestos, quedando cada ciclo de 400 años un residuo sin compensar de $86400 - 4 \cdot (86400 - 67400) = 8000 \pm 1600$ s.
- Actualmente se usa el calendario Gregoriano, aunque ya los mayas hacia el 1000 a. C. tenían uno más exacto.
- El calendario musulmán empieza en nuestro año 622 y sus años duran un 3% menos, así que en el 2000 ellos iban por el $1419 = (2000 - 622) \cdot 1.03$.
- El calendario judío empieza en nuestro 3761 a.C. (creación del mundo, según el Génesis), y en media coincide con el año solar (el 30-09-2000 empezaron su año 5751).

12. Ya los egipcios 3000 a.C. contaban divisiones del día (con la sombra de altos obeliscos) y de la noche (con la posición de las estrellas). Ellos introdujeron la división de la noche en doce horas (Horus=dios del sol, hora=estación anual, que luego se aplicó también a las estaciones de la noche) correspondiendo a las doce constelaciones del zodiaco (en las noches del verano septentrional se ven salir y ocultarse doce grupos de estrellas por el horizonte). También puede ser que se eligiera el 12 porque el año se dividía en 12 lunas.

13. Estas horas no duraban igual en el día y en la noche, en invierno y en verano, ni aun durante una noche concreta, y sólo a partir del s. XVII se pasó (por necesidad de los relojes mecánicos) a la división del día en 24 horas iguales, aunque se siguió pensando que la hora verdadera era la solar diurna y a la otra se le llamó "hora de reloj" (*o'clock*). En las ciudades y monasterios había un encargado de la hora que usaba la campana para dar la hora (al principio sólo el mediodía). Hasta la llegada de los relojes mecánicos en el s XII no se automatizó la campana.

14. El comienzo del día se elegía al amanecer (Babilonia), al mediodía (astronomía de precisión), al anochecer (Italia), y finalmente se adoptó la medianoche.

15. No sólo las regularidades astronómicas pueden usarse para la medida del tiempo; otras regularidades podrían usarse, como la derrama de fluidos (reloj de agua y reloj de arena), la oscilación de masas sólidas (reloj de péndulo, reloj de muelle), o las oscilaciones microscópicas (reloj de cristal de cuarzo, reloj de átomo de cesio, o relojes de partículas subatómicas).

16. Reloj=horus-logo=estudio del tiempo=clock=clocca (onomatopeya)=campana= Artilugio para la cuenta de las divisiones del día. Historia:

- Reloj de sol (de sombra). Se basa en el cambio de dirección, no de longitud de la sombra. No funciona de noche ni en nublado, pero no necesita calibración. Vitrubio en el 30 a.C. describe 13 tipos de relojes de sol.

- Reloj de arena. Se calibra para una hora y se usaba para los cambios de guardia.
- Reloj de fuego (marcas en una vela o nivel de combustible). Se calibraba para 12 horas y se usaba muchísimo.
- Reloj de agua (clepsidra = ladrona de agua). Se llegó a precisiones de 15 minutos al día. El más antiguo se ha encontrado en la tumba de Amenotep I (1500 a.C.)
- Reloj mecánico (siglo XIII). Pesa o resorte, rueda de escape o catalina, trinquete o áncora, y balancín o péndulo. El primer reloj de péndulo lo construyó Hygens en 1675, y también se debe a él el reloj de muelle y balancín.
- Reloj de cuarzo (1928, W.A. Marrison, de la Bell), basado en el efecto piezoeléctrico, usándolo como oscilador autorregulado en un circuito eléctrico.
- Relojes atómicos, basados en la oscilación interna entre el núcleo y la nube electrónica de los átomos. Los primeros (1949, NBS) usaban moléculas de amoniaco y no superaban en precisión a los de cuarzo, hasta que en 1957 se desarrolló el de cesio (metal blando blanquecino, de densidad 1870 kg/m^3 , que funde a $28,5 \text{ }^\circ\text{C}$ y vaporiza a $705 \text{ }^\circ\text{C}$). El más sencillo es el de rubidio, donde se somete una ampolla con vapor de rubidio a una radiación de microondas, ajustándose la frecuencia de ésta para sintonizar con la de los átomos (la absorción es máxima). En los de cesio, se calienta el metal en vacío para generar un haz de átomos gaseosos, y con un campo magnético se separan los del estado energético fundamental, que son los que se usan para sintonizar la fuente de microondas, obteniéndose la resonancia a 9192631770 Hz .

17. El ajuste de un reloj puede hacerse comparando con el patrón por acumulación (tiempo) o por sintonía (frecuencia).
18. Si para el origen de cuenta del reloj se elige un evento solar (mediodía, medianoche, amanecer), la escala será local al punto terrestre de calibración (depende de la longitud, pero no de la latitud). Pese a ello, como la actividad humana es sincrónico-solar, el desajuste (desfase) no puede ser muy grande (e.g. menor de 3 horas) y ha de ser fácil de recordar. La solución se adoptó en 1844: los husos horarios, con un origen internacional (GMT). Todavía deja esto margen de maniobra para que los gobiernos modifiquen ± 1 hora (e.g. en el verano para sincronizar mejor con el amanecer).
19. Al usar relojes locales aparecen paradojas:
 - Un fax de Madrid el 01-01-1995 a las 0,15 h. llegaría a las Canarias el 31-12-94 a las 23,15 h., es decir, aparentemente antes de ser enviado.
 - Al cruzar el meridiano 180° hay que retrasar o avanzar la fecha un día (e.g. al 1 de enero al cruzar de Oeste a Este (así) le seguiría el 1 de enero otra vez, y al 1 de enero al cruzar de Este a Oeste (así) le seguiría el 3 de enero).
20. Además de para sincronizar las actividades humanas y para anotar eventos, ¿para qué sirve medir el tiempo? Lo más básico podría ser para ir detectando faltas de regularidad en los relojes (e.g. la no constancia del periodo diurno, ni del día solar, ni del mes lunar, ni del año solar, etc.), y también se ha usado para determinar la posición en alta mar, para comprobar modelos cosmológicos, para medir distancias (hoy día hasta el metro se define en función del tiempo de viaje de un rayo de luz), para localización todo terreno por satélite (GPS, Global Positioning System), etc..
21. Aplicación de la medida del tiempo a la medida de la posición (cartografía, navegación):

- La latitud local se calcula fácilmente midiendo con su sextante la altura angular del sol al mediodía (interpolando) y el calendario. Inversamente, se puede estimar la fecha sabiendo la latitud y midiendo la altura angular a mediodía.
- La longitud local se calcula por triangulación entre puntos visibles o midiendo la diferencia horaria entre los mediodía locales, lo cual exige transportar la hora en un reloj (desde 1851 se transmitió la hora por telégrafo, y desde principios del s. XX se pudo transmitir por radio). Lo de transportar el reloj ya lo propuso en 1510 el español Alonso de Santa Cruz, aunque hasta 1760 no se dispuso de relojes que variasen menos de 10 s al mes: $10 \text{ s} (10 \text{ s}/86.400 \text{ s}) * 40.10^6 \text{ m} = 5 \text{ km}$ de desvío en el Ecuador). Fue el inglés John Harrison en 1761 quién lo consiguió, ganando el premio de 20 000 £ que desde 1710 ofrecía el Imperio (marítimo) Británico. Curiosamente, Newton había dicho que nunca se lograría llegar a esta precisión. En 1844, en la Conferencia Internacional del Meridiano, en Washington D.C., se adoptó el meridiano de Greenwich como origen de longitudes (GMT=Greenwich Meridian Time).

22. Para las medidas diminutas en la astronomía de precisión del s. XVI se dividió la hora en 60 minutos (1587 Tycho Brahe). Lo del 60 viene del sistema sexagesimal de los astrónomos babilonios, que dividían el grado de arco en 60 minutos de arco, y lo del minuto viene del 'primo minuto'. Pocos años después Galileo introdujo una segunda división, el segundo o 'secondo minuto' (1/60 de minuto).
23. Como unidad de tiempo se eligió el segundo y se definió como 1/86400 del día solar medio. Debido al giro anual, cada día solar medio dura casi 4 minutos más que el día sidéreo (86400/365 s). Además, ya Kepler se dio cuenta de que al ser la órbita elíptica, aun siendo el día sidéreo constante, el día solar verdadero (periodo entre pases por el meridiano local) sería menor en invierno (más cerca, más deprisa) que en verano. Debido a esta elipticidad y a la inclinación del eje de rotación, el sol no pasa a las 12:00 por el meridiano local ni siquiera en Greenwich donde no hay correcciones por latitud (en febrero pasa después de las 12:00 GMT y en noviembre antes); la diferencia entre el mediodía solar medio anual y el mediodía solar verdadero se llama ecuación del tiempo (corresponde a la posición horaria del sol en Greenwich a las 12:00 GMT).

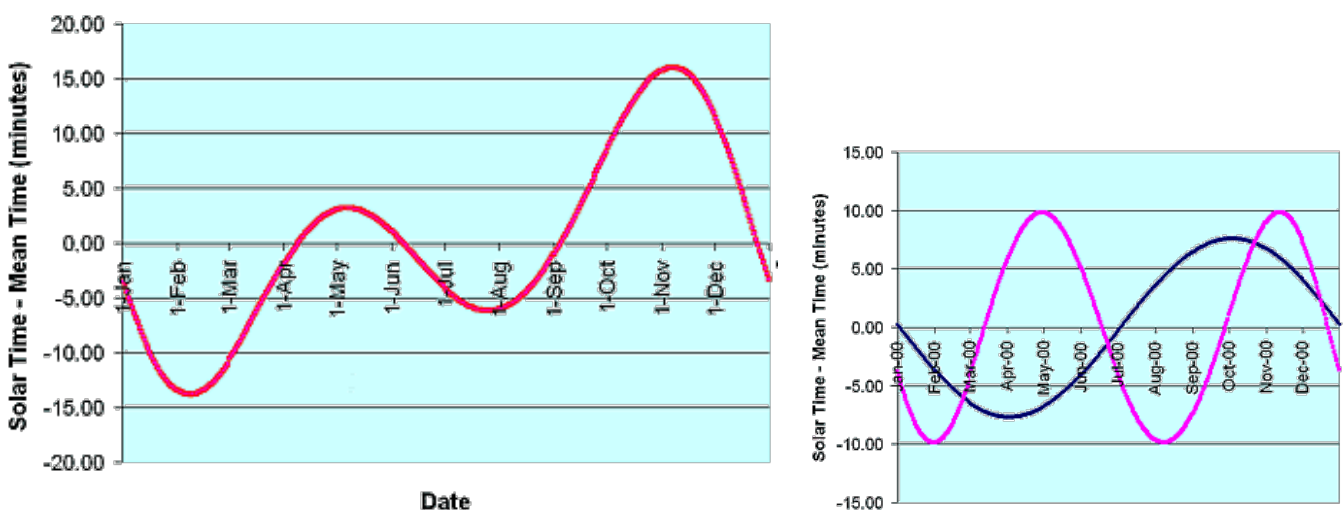


Fig. 1. Ecuación del tiempo, y sus dos contribuciones: la debida a la elipticidad (de periodo anual y nula en el perihelio y en el afelio) y la debida a la inclinación (de periodo mitad y nula en los solsticios y equinoccios).

24. Por eso en 1889 se redefinió $1 \text{ s} = 1/86400$ del día solar medio. Incluso se precisó más y luego se adoptó $1 \text{ s} = 1/31\,556\,926$ del año medio solar (año trópico) de 1900.
25. La excentricidad de la órbita y la inclinación del eje de rotación de la Tierra son causa también de que no coincida en el mismo día el amanecer más temprano, el atardecer más tardío, el día más largo y la distancia extrema al Sol (e.g. en el hemisferio Norte el día más corto es el 21 o el 22 de diciembre, el día que antes anochece es el 13 o el 14 de diciembre, el día que más tarde amanece es el 29 o el 30 de Diciembre, y el día que más cerca está el la Tierra del Sol es el 3 o el 4 de enero).
26. La hora exacta conlleva tres pasos:
- Determinación de un origen universal por triangulación de estrellas (e.g. el instante de paso del Sol por el plano ecuatorial, hacia arriba). Se llama punto vernal (primaveral) y también punto Aries (porque cuando Hiparco lo estudió hacia el 130 a.C. ese punto coincidía con la constelación zodiacal de Aries (hoy día, debido a la precesión de los equinoccios, cuyo ciclo es de 26 000 años, el punto Aries apunta a la constelación de Piscis y se va acercando hacia la de Acuario).
 - Mantenimiento de un contador uniforme (reloj de cuarzo, atómico)
 - Transmisión de la sincronía (sonido de campana, pulsos luminosos, pulsos eléctricos por cable (por telégrafo desde 1839), y señales horarias radioeléctricas desde 1905). La frecuencia es la única magnitud física que se transmite entre dos puntos fijos sin alteración (e.g. de la temperatura del medio transmisor (si hay movimiento relativo aparece el efecto Doppler).
27. En los años 1940 se desarrolló el sistema de navegación LORAN (Long Range) basado en relojes de cuarzo.
28. En 1967 se redefinió $1 \text{ s} = 9\,192\,631\,770$ periodos de 1_{133}^{133}Cs transición causada por la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del cesio ^{133}Cs . Por estas fechas empezaron a ser masivamente reemplazados los relojes mecánicos (industria tradicional suiza) por relojes de cuarzo a pilas de la industria japonesa.
29. En 1972 se adoptó el reloj atómico de cesio (la frecuencia fundamental es de unos $9.2 \cdot 10^9 \text{ Hz}$) para mantener la hora internacional (UTC=Universal Time Coordinated) y se transmite vía satélite con una incertidumbre de 10^{-6} s . La precisión en la determinación del origen es de 10^{-3} s , por eso cada 3 años se ajusta en 1 s un día (el 30-jun-85, el 30-jun-92, ??-ago-94).
30. Con los relojes atómicos se han descubierto fluctuaciones de 10^{-3} s en el período de rotación de la Tierra, debidas a cambios en el elipsoide de inercia por las mareas, las corrientes marinas y atmosféricas, las erupciones volcánicas y los terremotos. La incertidumbre relativa de los relojes de cesio es de 10^{-10} , mientras que la de los de cuarzo es de 10^{-6} (la del cronómetro de resorte de Harrison de 1761 ya era de 10^{-5}). En el año 2000 se llegó a precisiones de 10^{-14} con relojes atómicos de rubidio refrigerados hasta cerca de 0 K con láser, y se piensa conseguir 10^{-16} (i.e. una incertidumbre de 1 segundo en mil millones de años) con la misma técnica en microgravedad a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS).
31. En los 1980s se desarrolló el sistema de posicionamiento global por satélite GPS (*Global Positioning System*), basado en la recepción simultánea de 4 señales de relojes atómicos embarcados en sendos satélites (de una constelación de 24 a 20 000 km de altitud, para asegurar

cobertura permanente), lo que permite la localización tridimensional respecto a la posición de los satélites (difundida junto a la señal del reloj).

32. En sistema con movimiento relativo a velocidades, v , próximas a la de la luz en el vacío, c , los tiempos que medirían relojes ligados a dichas referencias estarían en la relación $\Delta t_2 = \Delta t_1 / (1 - (v/c)^2)^{1/2}$.
33. La medida del tiempo hacia adelante se llama cronometría y se basa en un evento (e.g. disparo), un contador (reloj) y otro evento (cinta de meta). La medida de tiempo hacia atrás se llama datación y se basa en un calendario y un método de comparación, que puede ser:
- Histórico (e.g. hundimiento de un galeón español fechado en el Archivo de Indias).
 - Arqueológico o paleográfico. Comparación de signos, herramientas y restos de seres vivos.
 - Estratigráfico. Capas de la corteza de un árbol, en el hielo, en los sedimentos.
 - Concentración. Por ejemplo, estimando el aporte de sales de los ríos al mar y la concentración en los estados inicial y final, Halley en 1715 dedujo que la edad de la tierra era de unos 10^8 años.
 - Desintegración del ^{14}C (Libby, 1946). Se calibra con hechos históricos. Sirve para $< 50\,000$ años, con una precisión de 2%. Se basa en las hipótesis siguientes:
 - La composición isotópica del C en la materia viva es uniforme y no varía con el tiempo, habiendo sido siempre la actual (0,989 de ^{12}C ; 0,011 de ^{13}C y 10^{-12} de ^{14}C) y siendo este último el único inestable, $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{F} + ^0_{-1}\text{e}$, con un periodo de semi-desintegración de $t_{1/2} = 5730$ años. La explicación es que la desintegración del ^{14}C parece compensarse con la producción de ^{14}C por radiación solar en la atmósfera, $^{14}_7\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{H}$, donde se mezcla bien y pasa en el CO_2 a las plantas y de éstas a los animales.
 - La materia orgánica muerta ya no intercambia ^{14}C con el ambiente y por tanto su concentración decae a ritmo conocido.
 - Desintegración del ^{238}U (Rutherford, 1905). Según $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8^4\text{He}$ con $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ años (e.g. 1 kg de ^{238}U al cabo de $4,5 \cdot 10^9$ años pasaría a 0,5 kg de ^{238}U + 0,40 kg de ^{206}Pb + 0,06 kg de ^4He). No es muy exacto, pero si se analizan a la vez varias cadenas de desintegración ($^{230}\text{Th} \rightarrow ^{226}\text{Ra}$ con $t_{1/2} = 75 \cdot 10^3$ años, $^{10}\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{B}$ con $t_{1/2} = 1,5 \cdot 10^6$ años, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ con $t_{1/2} = 0,7 \cdot 10^9$ años, $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ con $t_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$ años, $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ con $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ años, etc.), la precisión aumenta mucho.

34. Edades:

- del Universo: $(13 \pm 2) \cdot 10^9$ años.
- del Sistema Solar: $(4,6 \pm 0,2) \cdot 10^9$ años.
- de la Tierra y la Luna: $(4,5 \pm 0,2) \cdot 10^9$ años.
- de la Vida: $(3,5 \pm 0,5) \cdot 10^9$ años.
- de la gran evolución de los animales: $(600 \pm 100) \cdot 10^6$ años.
- de la gran evolución de los mamíferos: $(60 \pm 10) \cdot 10^6$ años (tras la extinción de los dinosaurios).
- del Hombre: $(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^6$ años.
- de la Metalurgia: $(6 \pm 1) \cdot 10^3$ años.

35. Los elementos más pesados que el plomo no se generan en la Naturaleza ahora, sólo se desintegran; entonces ¿cuándo y cómo se formaron? Se forman durante las explosiones de las supernovas, y la última en la Vía Láctea fue hace $(8 \pm 1) \cdot 10^9$ años.
36. Hubble (1929) detectó que las estrellas se alejan (como si se tratara de una gran explosión, 'big bang') a una velocidad directamente proporcional a su lejanía, $v = k_H r$, con $k_H = 72$ (km/s)/Mps (1 ps = 3,26 años-luz), o bien $1/k_H = (15 \pm 6) \cdot 10^9$ años.
37. En 1965, Penzias y Wilson descubrieron que la radiación de fondo del Universo es isotrópica y corresponde a un cuerpo negro a 2,7 K, lo que también sirve para estimar la edad del Universo.
38. En 1994 con el telescopio Hubble se ha medido $1/k_H = (12 \pm 3) \cdot 10^9$ años.

Note 1. Finding out what day of the week July 4th, 1776 was, may be tricky:

- You need to be a little careful about dates when going back that far. Although the Gregorian Calendar was invented in 1583, it was not universally and immediately accepted.
- The British didn't adopt it until the second half of the 18th century and the U.S. after that (and not all states at the same time).
- In addition, the new year was moved from Mar 25 to Jan 1. George Washington's birthday was Feb 11, 1731 O.S. (old style), but was changed to Feb 22, 1732 N.S. (new style).
- China didn't change until 1912 and Turkey until 1917.
- The original accumulated error in 1583 was estimated to be 10 days, but this expanded to 11 and then 12 days the longer the country waited to adopt the standard.
- To change from old style julian dates to modern gregorian dates, add 10 days to dates oct 5, 1582 through feb 28, 1700; 11 days to dates through feb 28, 1800; 12 days through feb 28, 1900; and 13 days through feb 28, 2100.

REFERENCES

1. Zavelski, Ed. Mir, 1987.
2. Barnett, E., "Time's Pendulum: The Quest To Capture Time - From Sundials To Atomic Clocks", Plenum, 1998.
3. Andrewes, Vistas in Astronomy 28, p. 69, 1985.
4. Klein, H.A., "The science of measurement", Dover, 1974.
5. NewScientists 2094, p 89, 9 August 1997.
6. NewScientists 2106, "Time. A Special Report", 1 November 1997.
7. [Magnitudes, unidades y medidas.](#)