

# ASTRONOMIA FUNDAMENTAL

www.astronomia.edu.uy/depto/afyg

## Escalas de Tiempo.

Notas de Tabaré Gallardo.

Tiempo: es lo que medimos mediante la repetición de eventos como el tic-tac, culminaciones del Sol, oscilaciones atómicas, etc. Pero también es la variable independiente de una teoría dinámica o una coordenada del espaciotiempo, no necesariamente asociada a un reloj. Es fundamental conocer cómo se relacionan esas escalas de tiempo. Tenemos varios tipos de sistemas de tiempo de uso común:

1. **Tiempo Atómico.** Definido a partir de una frecuencia de transición electrónica. A partir de centenares de relojes atómicos distribuidos por la superficie del planeta se define estadísticamente un TAI Internacional medio válido para todos los puntos de la superficie terrestre. Está afectado por los efectos relativistas generados por la aceleración superficial de la gravedad y el movimiento orbital alrededor del Sol. Existe desde 1955 y se distribuye desde 1972. Los relojes que viajan a bordo de satélites (por ejemplo GPS) corren diferente al TAI pues están afectados de un campo gravitacional terrestre menor (se aceleran  $45 \mu s$ ) y una velocidad orbital mayor (se retrasan  $7 \mu s$ ) a los relojes localizados en la superficie terrestre.
2. **Tiempo Dinámico.** Representa la variable independiente de las ecuaciones de movimiento de los cuerpos del Sistema Solar. Por causa de efectos relativistas depende del origen del sistema de referencia. El TD-Baricéntrico es la variable tiempo en las ecuaciones referidas al baricentro del Sistema Solar. El TD-Terrestre o simplemente TT es la variable tiempo en las ecuaciones referidas al centro de la Tierra. Sería el tiempo que mediría un observador en el centro de la Tierra sometido a una aceleración  $g$  similar a la existente en la superficie terrestre. El TT corre paralelo al TAI y la relación se mantiene en  $TT = TAI + 32.184$  segundos. La relación TDB con TT es una pequeña oscilación que depende de la posición de la Tierra en su órbita, tiene amplitud 0.00166 segundos y es debida a las variaciones de velocidad orbital terrestre y del campo gravitacional solar debido a la variación de la distancia Tierra-Sol. El TT es la continuación de lo que era el Tiempo de Efemérides ya en desuso, tiempo medido desde el meridiano de efemérides que era un meridiano terrestre imaginario que rotaba con velocidad uniforme. Para cálculo de efemérides suele usarse el TT.
3. **Tiempo Coordenada.** En las ecuaciones relativistas el tiempo es una coordenada del espaciotiempo, esto da lugar al Tiempo Coordenada Geocéntrico (lo que mediría un reloj en el centro de la Tierra pero sin la Tierra) y el Tiempo Coordenada Baricéntrico (lo que mediría un reloj en el baricentro del Sistema Solar pero sin ninguna masa presente), pero no son observables, es decir no hay reloj que los siga. Como no sufren la dilatación temporal de los relojes en Tierra estos Tiempos Coordenada corren más rápido que el Tiempo Dinámico y que el TAI. Fueron introducidos en 1991 con fines teóricos. En rigor los tiempos coordenada también son dinámicos.
4. **Tiempo Sidéreo y Tiempo Solar.** Definidos por la rotación de la Tierra. El Tiempo Sidéreo es definido por Aries. TS Aparente es definido por Aries verdadero y TS Medio es definido por Aries medio y la diferencia es la ecuación de los equinoccios. La escala de TSidéreo es afectada de precesión y de las irregularidades de la rotación terrestre. El Tiempo Universal es la escala definida para las actividades civiles. Sigue el movimiento medio diario del Sol. La determinación precisa del Sol es impracticable por lo que se lo define a partir del TSidéreo. De la observación de estrellas y radiofuentes cada observatorio determina un UT0. Corregidos por movimiento polar se define estadísticamente el UT1 válido para todo el planeta. Desde 1984 el GMST (tiempo sidéreo medio de Greenwich) y el UT1 están relacionados por una fórmula pues ambos son afectados por la rotación terrestre. UT0 y UT1 se van apartando del TAI y TT debido al enlentecimiento de la rotación terrestre por lo tanto la escala no es uniforme. Por eso se define el TU Coordinado (TUC, no confundir con Coordenada) que es una escala que corre paralela al TAI y pega saltos de manera de nunca apartarse más de 0.9 segundos del UT1 agregando 1 segundo el 30 de junio o 31 de diciembre según sea necesario.

La diferencia  $\Delta T = TT - UT1$  crece debido al frenado de la Tierra y no puede ser prevista con anticipación. Los eventos se predicen en TT pero no es posible saber con igual precisión el instante de TU en el que se producirán, es decir, no es posible saber con precisión cómo estará girando la Tierra en el espacio. El frenado de la Tierra fue descubierto por Ferrel (1864) y Delaunay (1865) quienes interpretaron como intercambio de momento angular las discrepancias descubiertas por Adams (1853) en el alejamiento secular de la Luna que no podía ser explicado por perturbaciones gravitacionales. El Sol Medio fue introducido por Newcomb en 1895.

Length Of Day (LOD): es el exceso en la duración del día debido al enlentecimiento de la rotación terrestre. Es una cantidad positiva en milisegundos de tiempo pero que ha disminuido en los últimos años.

Antes de los relojes de cuerda la determinación precisa del tiempo se hacía con observaciones de la Luna por ser el astro que presenta mayor movimiento. La complejidad de su movimiento llevó a varios astrónomos a profundizar en la teoría del movimiento lunar y planetario lo que condujo al desarrollo de la Mecánica Celeste.

Fecha Juliana. Conteo de días desde el 1 de enero de 4713 ac. Puede ser contada en TDB, TT o en UT1. Las épocas fundamentales de los sistemas de referencia corresponden a instantes de TDB por lo tanto J2000.0 es enero 1.5 de TDB del año 2000 y corresponde a  $JD = 2451545.0$

Fecha Juliana Modificada:  $MJD = JD - 2400000.5$

Año Trópico: 2 pasajes del Sol por el punto Aries = 365.2422 días solares medios

Año Sidéreo: respecto a direcciones espaciales fijas = 365.2564

Año Anomalístico: perihelio a perihelio = 365.2596

Año Civil: número entero de días solares medios, en promedio en el calendario Gregoriano es 365.2425

Año Juliano: 365.25

Año Besseliano: en desuso, es el trópico pero con comienzo cuando  $\lambda_{\odot} = 280^{\circ}$ . B1900.0 fué en 1900 enero 0.813 de TE.

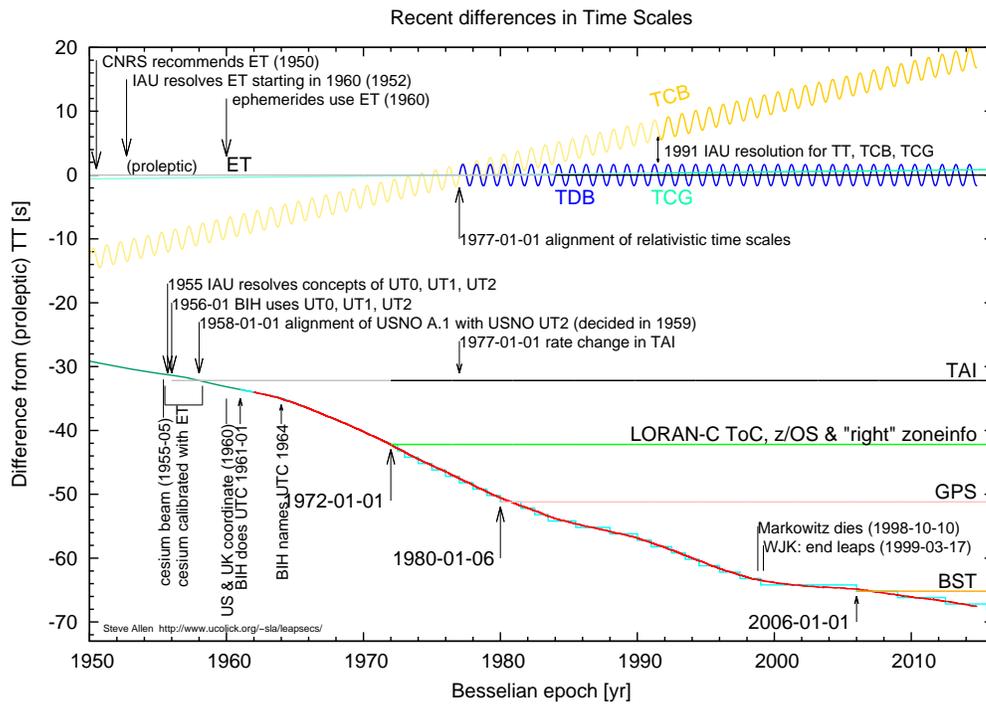


Figure 1: Las oscilaciones en TCB y TDB están exageradas 1000 veces. Notar la evolución en forma de escalones del Tiempo Universal Coordinado. Fuente: [www.ucolick.org/~sla/leapsecs/](http://www.ucolick.org/~sla/leapsecs/)

Bibliografía:

- Dennis D. McCarthy 2004, Precision time and the rotation of the Earth.
- [www.usno.navy.mil/USNO/time/master-clock/systems-of-time](http://www.usno.navy.mil/USNO/time/master-clock/systems-of-time)
- [www.iausofa.org/cookbooks.html](http://www.iausofa.org/cookbooks.html)