

## ESCALAS DE TIEMPO.

### 1. INTRODUCCIÓN.

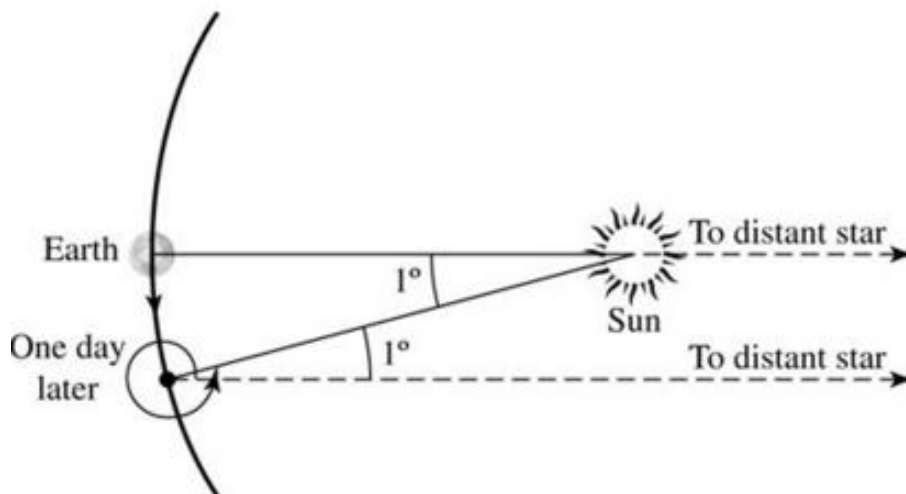
La de medir el tiempo ha sido una necesidad de toda la historia de la humanidad: determinar las estaciones, establecer las mejores fechas de siembra y cosecha...

Mediante la medida del tiempo se persiguen dos finalidades casi equivalentes: fechar (es decir, fijar el instante en que algo ocurre) y cronometrar (medir el intervalo de tiempo transcurrido entre dos acontecimientos).

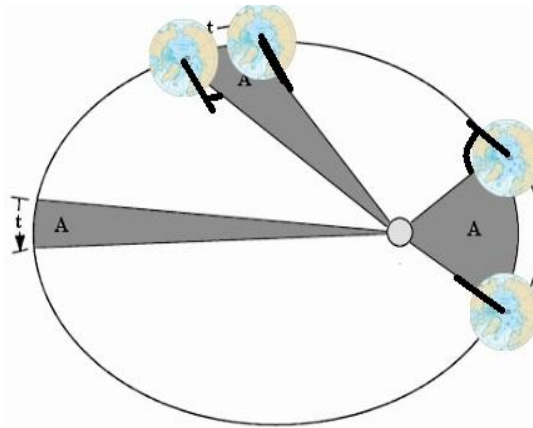
Para la primera finalidad se necesita un origen desde el que medir y, a partir de él, contar el número de veces que se repite una unidad patrón. Evidentemente, esta unidad ha de ser invariable y de ella se pueden definir múltiplos y divisores en función de las necesidades del usuario.

En un principio fue la naturaleza, en particular la astronomía, la que proporcionó al ser humano unidades periódicas “naturales” de medida: el día (período de tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta alrededor de su eje) y el año (tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta completa alrededor del Sol). A ellas se unieron unidades “artificiales”, creadas por el hombre, dependiendo del grado de precisión con que necesitara medir: hora, minuto, segundo –como divisores–; semana, lustro, decenio, siglo... –como múltiplos–. Esto sería suficiente si la Tierra girara de manera uniforme alrededor de su eje (algo cuya falsedad se empezó a sospechar en el siglo XVII) y si el número de días del año fuese un número natural, o al menos un racional “manejable”. Pero ni la definición anterior de *día* ni la de *año* son buenas.

Hemos dicho que *día* es el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta alrededor de su eje. ¿Entendemos “vuelta” como 360°? Si tomamos como referencia el Sol, tras ese giro de 360°, la Tierra se ha trasladado aproximadamente un grado. Por tanto, si un punto de la superficie terrestre “mira” hacia el Sol, hay que hacer un giro de  $\approx 361^\circ$  para que ese punto vuelva a “mirar” al Sol.



La definición de *día* como el tiempo transcurrido entre dos “miradas” de la Tierra al Sol, o de forma un poco más rigurosa como tiempo que tarda la Tierra desde que el Sol está en el punto más alto sobre el horizonte hasta que vuelve a estarlo (que es una definición antigua: tiempo transcurrido entre dos mediodías) tampoco es buena, porque, en virtud de la Segunda Ley de Kepler (ley de las áreas), la Tierra no se desplaza a igual velocidad a lo largo de su trayectoria. Por lo tanto, la Tierra no avanza lo mismo en su movimiento de traslación durante cada rotación. Por tanto, el *día* así definido no es igual a lo largo del año.



Para definir una escala de tiempo (es decir, un origen y una unidad) se han de exigir unas características imprescindibles:

*Uniformidad:* la unidad de medida ha de ser constante. Esto permite medir la longitud de un intervalo de tiempo mediante dos puntos de la escala.

*Permanencia:* ha de poder extenderse hacia el pasado y hacia el futuro.

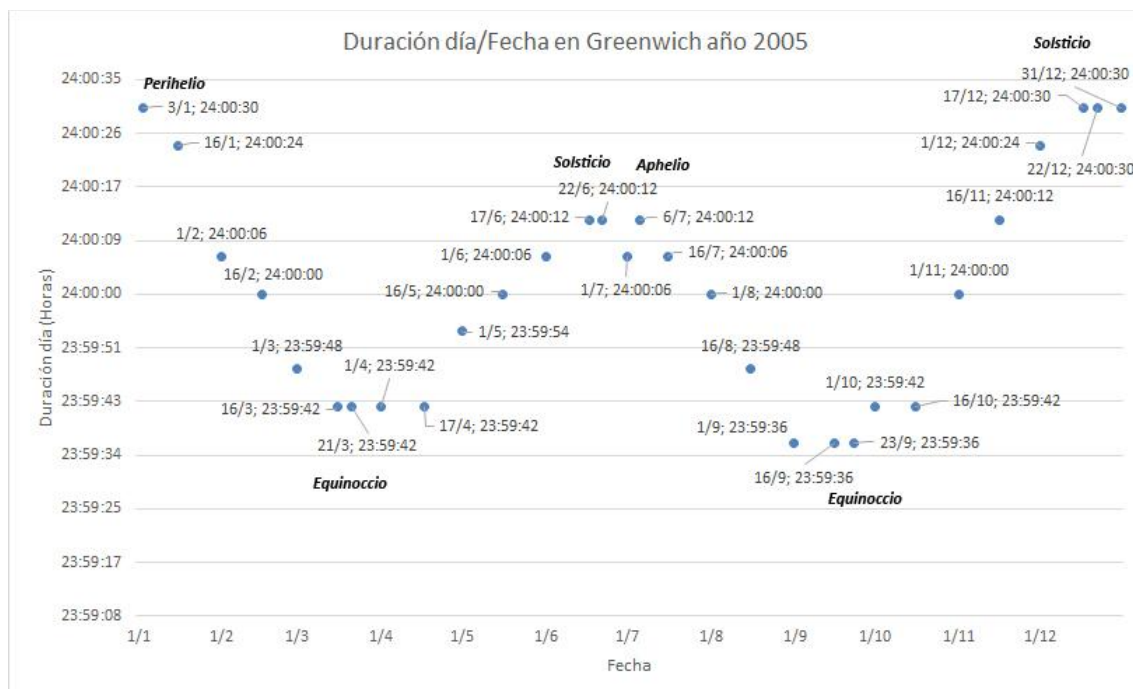
*Universalidad:* tiene que ser universalmente aceptada, lo que puede requerir cierto esfuerzo. Pensemos, por ejemplo, que diferentes calendarios tienen su origen en diferentes momentos históricos.

*Exactitud:* el origen de la escala y su unidad han de estar perfectamente definidos y las medidas han de ser lo más fieles posibles a dichas definiciones.

*Estabilidad:* la unidad de medida ha de mantenerse constante.

Por tanto, el día anteriormente definido no sirve como unidad por su variabilidad.

Como curiosidad:



## 2. ALGUNOS DATOS

La Tierra tarda 23 horas, 56 minutos y 4.0916 segundos girar 360° alrededor de su eje. Cada día que pasa, la Tierra tiene que girar un poco más para que el Sol pueda volver al mismo lugar en el cielo. ... Y ese tiempo extra es de casi 4 minutos. A su vez, orbita alrededor del Sol, invirtiendo 365 días, 5 horas, 48 minutos y 46 segundos en completar el recorrido.

En un *año trópico* la Tierra da 365,242189 vueltas en torno a su eje respecto al Sol, pero respecto a las estrellas da una vuelta más: 366,242189.

Debido a las mareas, a causa de las interacciones con la Luna, la duración de un día en la Tierra ha aumentado en alrededor de 1.7 milisegundos en los últimos 100 años. Los grandes terremotos también

pueden cambiar el tiempo de rotación de la Tierra unos pocos microsegundos en función de cómo empujan las placas tectónicas. También a causa de que los glaciares se derriten, la velocidad de rotación se ralentiza un poco más.

A partir de cálculos elaborados mediante métodos informatizados, la NASA ha constatado que, a causa del terremoto de febrero de 2010 en Chile, el eje de la Tierra se ha movido ocho centímetros y que la duración del día se debe haber acortado 1.26 microsegundos (millonésimas de segundo).

No es la primera vez que se detectan cambios similares tras un terremoto. El día se redujo en 6.8 microsegundos a finales de 2004 a causa del seísmo de 9.1 grados registrado cerca de Sumatra, que provocó el mayor 'tsunami' de la historia.

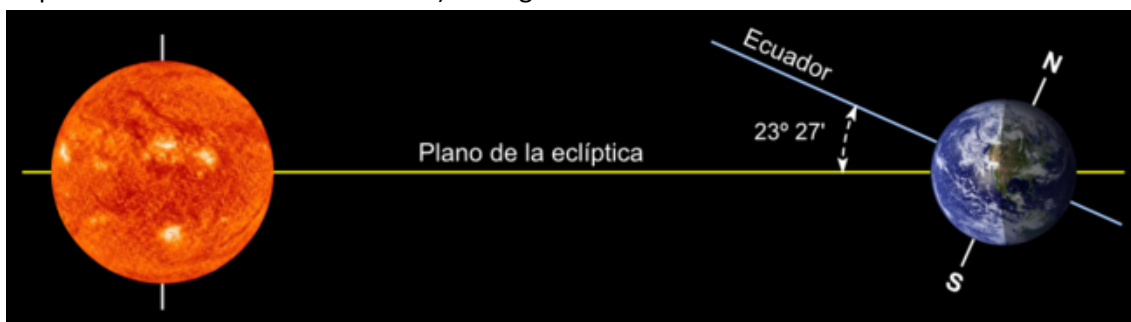
Más recientemente, tras el terremoto que afectó a Japón en marzo de 2011, los científicos de la NASA calcularon que el eje de la Tierra se inclinó unos 16 centímetros. Según Richard Gross, científico del Laboratorio de Propulsión Jet de la NASA, tras él la duración del día se redujo en 1.8 microsegundos.

El radio ecuatorial de la Tierra es de 6 378 Km, por tanto, un perímetro ecuatorial de unos 40 000 km. Con el movimiento de rotación, un punto sobre el ecuador recorre esa longitud en 24 horas, lo que hace a una velocidad de aproximada de 1 670 km por hora o 465 metros por segundo.

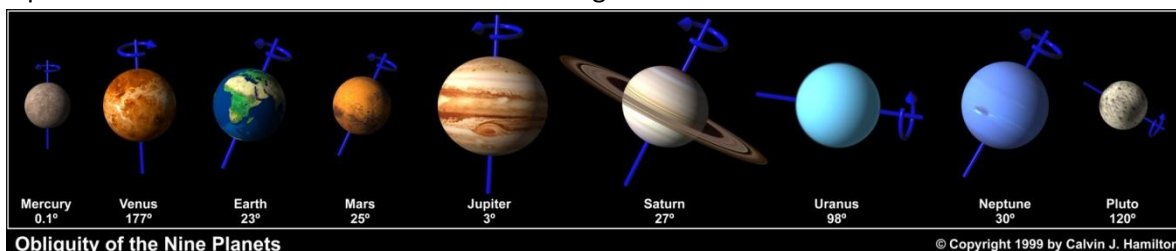
Como el resto de los planetas, en sus inicios, la Tierra giraba vertiginosamente. Como se ha dicho, a causa de las mareas, pero también de corrientes oceánicas y atmosféricas, se ha ido frenando de modo que su velocidad de rotación nunca ha sido constante. Al principio, hace 4 500 millones de años, rotaba aproximadamente a 6 400 km/h y el día apenas duraba 6 horas (actuales).

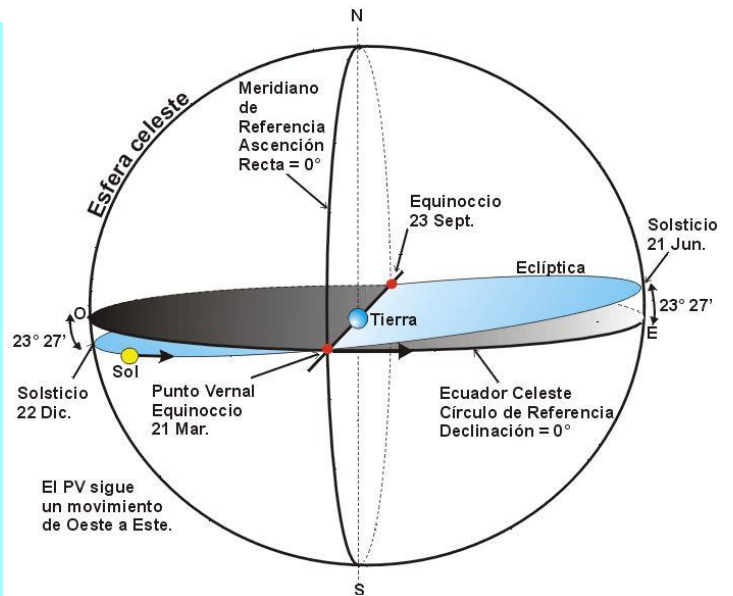
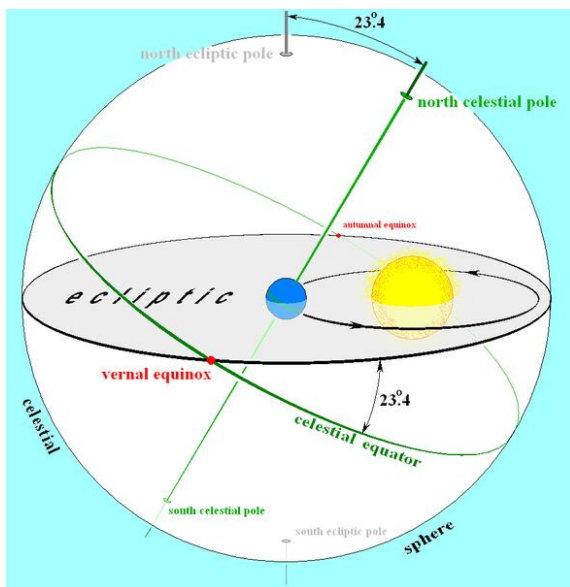
La órbita de la Tierra tiene un promedio de casi 150 millones de kilómetros del Sol y, por tanto, recorre unos 930 millones de kilómetros en un año. Así, su velocidad alrededor del Sol es de alrededor de 30 km por segundo.

Además, hay que saber que el eje de rotación de la Tierra está inclinado respecto del plano de la eclíptica (en el que orbita la Tierra en torno al Sol) un ángulo de  $23.4^\circ \approx 23^\circ 27'$ .



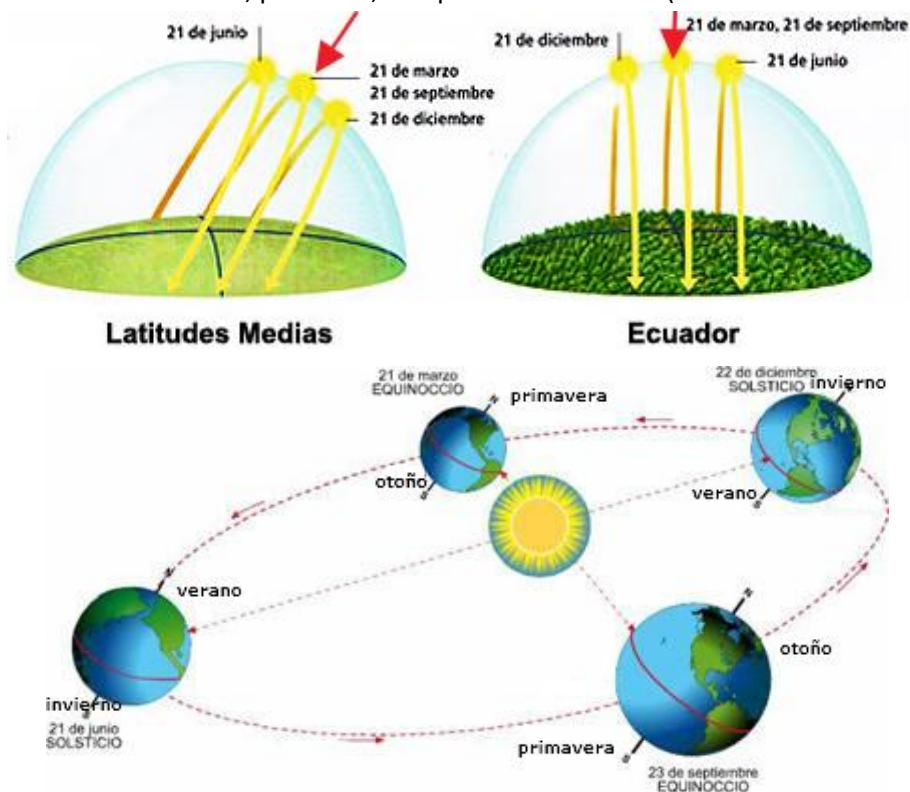
Todos los planetas tienen su eje más o menos inclinado respecto del plano de traslación, la siguiente imagen representa esa inclinación así como el sentido de giro:





Hagamos un pequeño esfuerzo intelectual. Hemos oído muchas veces que la Tierra se traslada en torno al Sol. Así, el plano ecuatorial terrestre se traslada (pero se mantiene siempre con inclinación constante) respecto de la eclíptica (plano en el que la Tierra orbita alrededor del Sol). Bien, si consideramos un sistema de referencia sobre la Tierra, el Sol orbita a su alrededor, el plano ecuatorial y la eclíptica son planos fijos, forman un ángulo de  $23.4^\circ$  y determinan una recta, llamada *línea de nodos*, que podría marcar una dirección constante en el universo. Sobre la Esfera Celeste, esta línea marca dos puntos: el Punto Vernal (o Punto Aries) y el Punto Libra. Parece que ya tenemos algo fijo sobre la esfera celeste que pueda servir de origen de coordenadas para medir tiempo.

El Punto Vernal se dice también Nodo Ascendente, porque en él el Sol está justo en el plano ecuatorial (lo que hace que tanto el día como la noche duren 12 horas, es decir, es el equinoccio) pasando de estar por debajo del plano ecuatorial a estar por encima (en la figura siguiente, la flecha roja señala dicho plano) para un observador en el Hemisferio Norte. En este momento comienza la primavera (en el Hemisferio Norte). El punto Libra es el Nodo Descendente, por tanto, el equinoccio de otoño (en el Hemisferio Norte).



3. LOS CINCO MOVIMIENTOS DE LA TIERRA.

<http://naukas.com/2010/07/10/los-cinco-movimientos-de-la-tierra/>

En la antigüedad se creía que la Tierra era plana y el centro del universo, gracias a grandes personajes de la historia, se demostró la falsedad de estas ideas. Esto, que hoy puede hacernos cierta gracia, se repite en nuestros días, pues nuestras escuelas siguen hablando de los movimientos de rotación y traslación. Únicamente de ellos, y hay algo más. Falta hablar de otros tres movimientos principales: precesión, nutación y Bamboleo de Chandler.

Y no queda ahí la cosa, además existen otros movimientos históricamente considerados secundarios como son variaciones del plano en el que se describe el movimiento de translación, variaciones en la excentricidad de la elipse descrita en este movimiento, o los movimientos que realiza la Tierra por estar dentro del Sistema Solar, o por estar dentro de la Vía Láctea.

Hagamos un rápido repaso de los cinco movimientos de la Tierra:

Sobre la rotación, no se puede decir que exista un único descubridor de la existencia de este movimiento, aunque el primero que hizo una propuesta firme al respecto fue Johannes Müller en el siglo XV, aunque no fue hasta más tarde, con Nicolás Copérnico e Isaac Newton, cuando la existencia de la rotación terrestre quedó totalmente demostrada. La Tierra rota en sentido antihorario, es decir, de oeste a este.

En su movimiento de translación, también en sentido antihorario, la Tierra describe una elipse de excentricidad muy pequeña:  $e=0.0167$  y con el Sol en uno de sus focos. Por definición, si  $a$  es el semieje mayor de la elipse y  $b$  el menor,

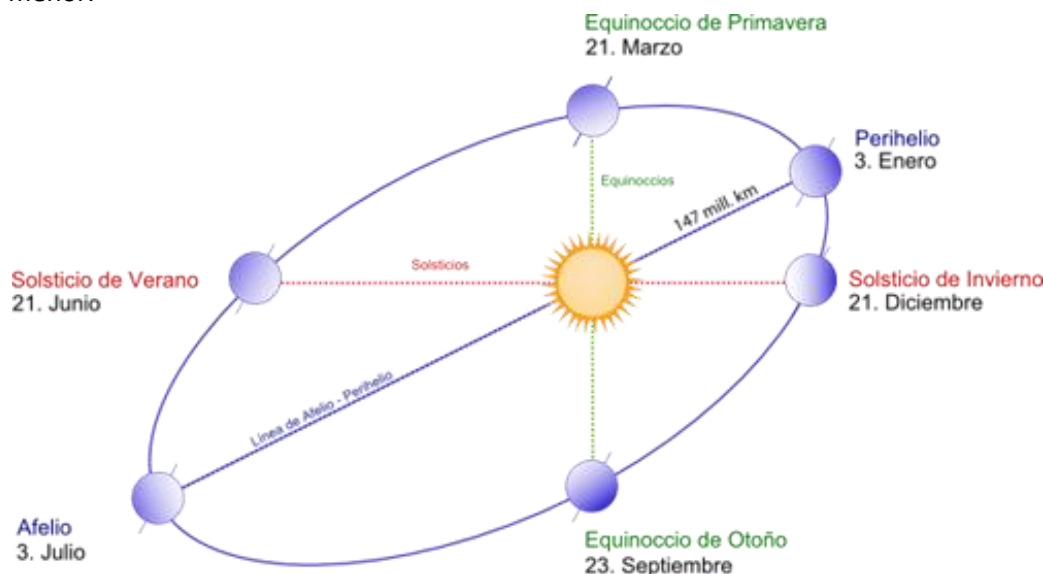
$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

entonces:

$$\frac{b}{a} = \sqrt{1 - e^2} = 0.99986$$

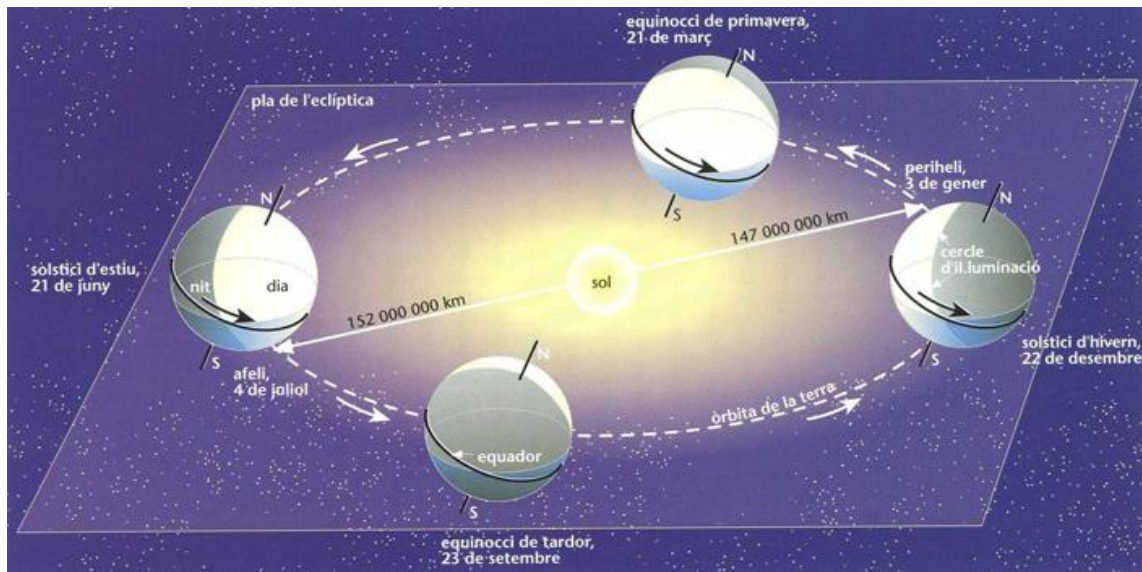
lo que podría hacer pensar que suponer una órbita circular sería una muy buena aproximación. Pero no es así, porque como  $a = 149,60$  millones de km, en el afelio (punto de mayor distancia al Sol), la Tierra dista  $a \cdot (1+e) = 152,098$  millones de kilómetros del Sol, mientras que en el perihelio (punto más cercano al Sol) la distancia es de  $a \cdot (1-e) = 147,098$  millones de km.

La siguiente imagen recoge los datos más interesantes de la Tierra en su movimiento de translación, aunque de manera no muy precisa. Por ejemplo, la distancia entre el equinoccio de invierno y el perihelio es mucho menor.

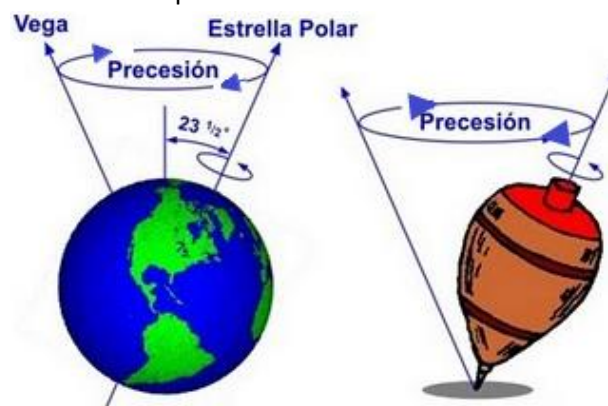




El primero en proponer firmemente la existencia del movimiento de traslación fue el griego Filolao de Crotona (ca. 470 a. C. – ca. 380 a. C.), aunque la teoría geocéntrica se mantuvieron hasta que en el siglo XVI Nicolás Copérnico revolucionó la astronomía con su modelo heliocéntrico que sí que fue el primero en recibir un gran apoyo y respeto por la sociedad de la época.



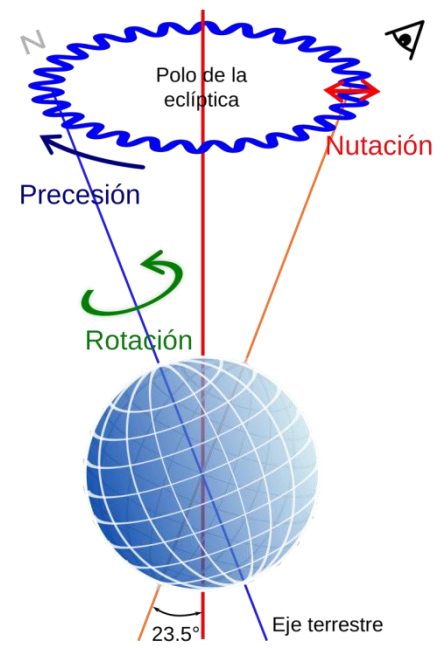
Ya se ha dicho que la Línea de Nodos sería una buena referencia con dirección fija en el universo. Pero no es así, la Tierra tiene más movimientos: el de precesión.



El movimiento de precesión, análogo al de una peonza, es el que describe el inclinado eje de la tierra de forma circular. Y si el eje de giro se mueve, el plano ecuatorial se mueve, y la línea de nodos precesiona, y con ella el punto vernal, el giro es en el sentido de las agujas del reloj.

Este movimiento fue descrito y calculado por primera vez en la antigua Grecia por Hiparco de Nicea (ca. 190 a. C.-c. 120 a. C.). Su causa física fundamental es el momento de fuerza gravitacional que ejercen el Sol y la Luna sobre la Tierra, aunque también se ve afectado por el movimiento de las placas tectónicas, por lo cual su periodicidad no es tan precisa como en el caso de los movimientos de rotación y traslación. Aún así, su duración estimada es de 25 780 años, lo que también es conocido como año platónico.

El eje de la Tierra se mueve de forma circular debido al movimiento de precesión, pero no son círculos exactos debido a la existencia del movimiento de nutación que lo que hace es generar oscilaciones haciendo que el eje de la tierra se incline un



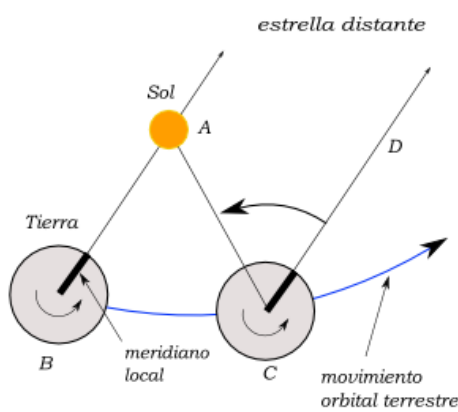
poco más o un poco menos respecto a la teórica circunferencia de precesión.

Este movimiento, fue descubierto en 1728 por James Bradly, pero se desconocía la causa. 20 años más tarde, distintos físicos y astrónomos determinaron que este movimiento era causado directamente por la atracción gravitatoria de la Luna. Podemos describir la nutación como una pequeña vibración, una oscilación completa supone 18'6 años, lo que implica que, en una vuelta completa de precesión, la Tierra habrá realizado 1 385 bucles.

El quinto y último movimiento principal es el Bamboleo de Chandler. Por si no eran pocos los cuatro movimientos ya existentes, en 1891 el astrónomo Seth Carlo Chandler descubrió una nueva irregularidad en la oscilación del eje de la Tierra. Se trata de un movimiento oscilatorio del eje de la Tierra que hace que se desplace hasta 9 metros de la posición predicha (teniendo en cuenta precesión y nutación) para un momento concreto.

La causa real de la existencia de este movimiento aún no ha sido averiguada a día de hoy, aunque ha habido varias teorías al respecto, desde los cambios climáticos –la más aceptada- hasta las variaciones de concentración salina en el mar. El máximo rango registrado por esta oscilación ocurrió en el año 1910, y por razones que aún se desconocen, este movimiento desapareció durante seis semanas en el año 2006.

#### 4. ALGUNOS AÑOS



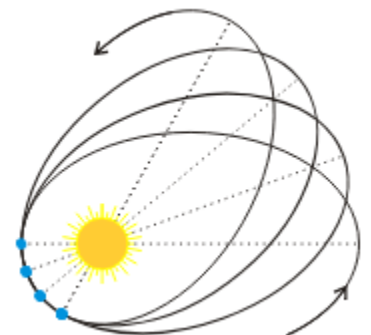
Ya se ha dicho que el Sol no es una buena referencia para medir el tiempo porque su movimiento aparente sobre la esfera celeste no es uniforme y porque tras una rotación de la Tierra aquél no se halla en el mismo sitio.

Podríamos tomar como referencia una estrella distante, ésta sí que está en la misma posición tras una rotación del planeta. Pero las estrellas tienen movimiento, que además es difícil de predecir y estudiar. Por ello, el *Tiempo Sidéreo* (ST) en lugar de una estrella se toma como referencia el Punto Vernal (cuyo movimiento se ve afectado por los de precesión y la nutación, que son bien conocidos).

Por tanto, el día sidéreo dura 23h 56 min 4.091 s, frente a las 24h. Y el Año Sidéreo (tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de la Tierra por un mismo punto de su órbita, tomando como referencia a las estrellas) tiene una duración es de 366,255936 días sidéreos y equivale a 365,2563631 días solares medios (365 días 6 horas 9 minutos 9,7632 segundos).

El *Año Trópico* es el que tiene en cuenta la corrección por precesión y nutación. Su duración es de 365,242189 días de tiempo solar medio (365 días 5 h 48 m 45,10 s). El motivo de que sea más corto que el sidéreo es que el movimiento de precesión (fundamentalmente) lleva el punto vernal a girar en el sentido contrario de la traslación de la Tierra, por tanto el año trópico acaba antes de cuándo lo haría sin precesión.

Otro “año” es el *Año Anomalístico*, es el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de un planeta por su perihelio (punto más cercano al Sol). La Tierra se encuentra en el perihelio el 3 de enero. La duración media del año anomalístico es: 365,259 635 864 días (365 d 6 h 13 min 52 s), ligeramente mayor que el sidéreo a causa de que la línea de los ápsides tiene un movimiento anual en sentido horario de 11,7 segundos de arco aproximadamente, lo que supone que lleva más tiempo cada año entrar en conjunción a La tierra alinearse col el Sol y el perihelio.



#### 5. ESCALAS DE TIEMPO.

Llamamos escala de tiempo a un sistema de asignar “fecha” a un instante, para ello se necesita un origen en la escala y una unidad de medida. Algo que varíe de forma periódica puede llevar a la construcción de una

escala de tiempo. Por ejemplo, el movimiento del sol en el cielo constituye una de las escalas de tiempo más conocidas. Con él tenemos el concepto de año y el de día (debido a la rotación de la Tierra). A partir de ahí hemos definido múltiplos y divisores de esas unidades.

Una escala de tiempo ha de tener las características imprescindibles enunciadas antes: *Uniformidad, permanencia, universalidad, exactitud y estabilidad*.

El tiempo, como magnitud inmaterial, ha de ser referida a algún fenómeno físico para ser medido. Eso nos lleva a dos tipos de escalas: las dinámicas y las integradas.

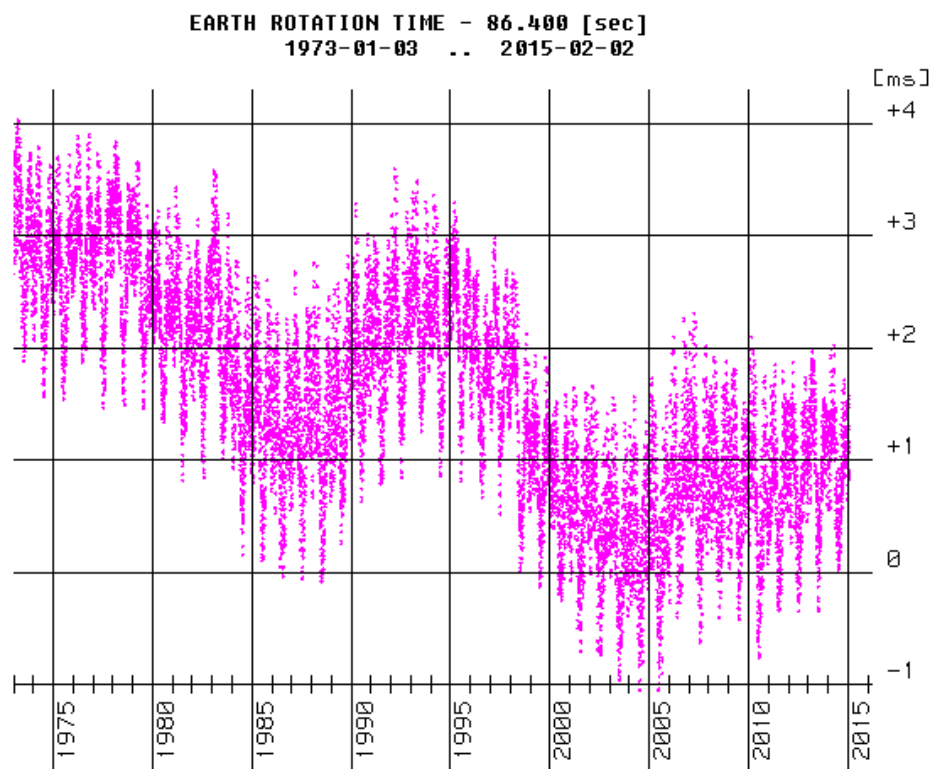
Las dinámicas se basan en el movimiento de un sistema físico cuyo modelo matemático se conoce, a partir de ahí se define el origen y la unidad de medida. En las integradas primero se definen el origen y la unidad y, a partir de ahí, se cuenta tiempo “acumulando” unidades.

La medida del tiempo tiene una antigüedad prácticamente igual a la del ser humano sobre la tierra.

La definición del segundo, unidad de tiempo del Sistema Internacional, ha cambiado radicalmente a lo largo de la historia. Por cierto, el símbolo del segundo es s, como no es abreviatura, no lleva punto ni admite mayúscula o plural (como el €: 1€, 7€).

Según Ricardo Soca en su libro “La fascinante historia de las palabras” La palabra *segundo* (como ordinal) proviene del latín *sequere* (seguir). En cambio, su origen como unidad de tiempo es como el del término *minuto*. Éste proviene del latín *minuta* (parte pequeña): una «*minuta de hora*» es una parte pequeña de la hora. La hora se dividía en 60 fracciones a las que se denominaba *pars minuta prima* (primera parte pequeña), a su vez éstas se dividían de nuevo en 60 partes llamadas *pars minuta secunda* (segunda parte pequeña).

Pero, ¿qué es un segundo? Hasta 1967 se definía como la fracción 1/86 400 de la duración que tuvo el día solar medio entre los años 1750 y 1890. Hasta ese momento, la definición del segundo se basaba en algo irregular: la rotación de la Tierra. La figura siguiente recoge la desviación, en milisegundos, del período de rotación de la Tierra.



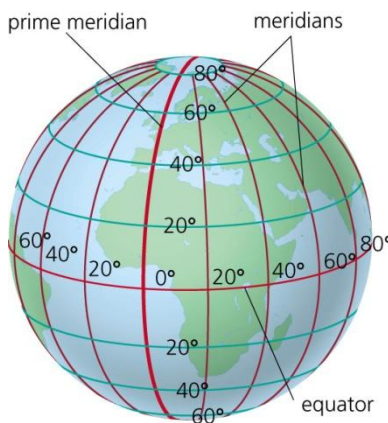


De forma general, puede decirse que hay cuatro formas de establecer el tiempo: Tiempo Atómico, Tiempo Universal, Tiempo Sidéreo y Tiempo Dinámico Terrestre.

Para entender un poco mejor la medida del tiempo hagamos un breve recorrido histórico de este aspecto del saber. En los primeros tiempos el sistema utilizado era la localización y observación de astros en el cielo. Después aparecieron “relojes” que progresivamente permitieron mejorar la regularidad en la medida hasta la actualidad, en que la utilización de propiedades atómicas permite generar una escala de tiempo mucho más uniforme que la obtenida a partir de patrones astronómicos.

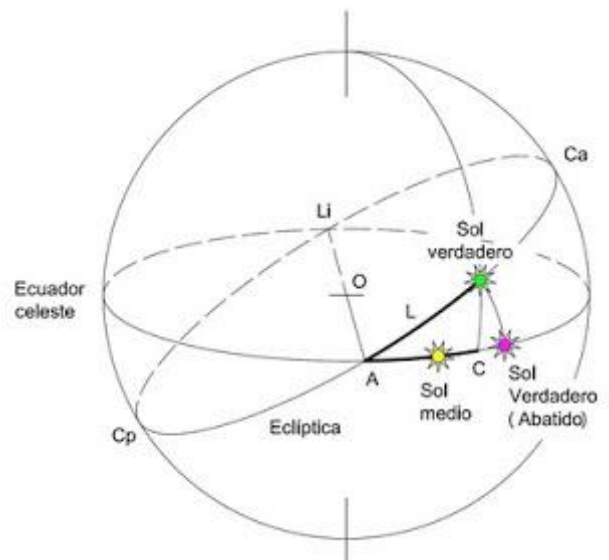
Durante siglos la forma de medir el tiempo se basó en la rotación de la Tierra sobre su eje que, como se ha dicho, es irregular y las observaciones astronómicas no tardaron en mostrarlo. Por tanto, las medidas efectuadas basadas en la posición del Sol dan el **tiempo solar aparente o verdadero** –por lo tanto, irregular-.

Así pues, el día solar verdadero es el intervalo entre dos pasos sucesivos del Sol por un meridiano local (todo observador en la Tierra está sobre un meridiano, si imaginariamente lo proyectamos sobre la esfera celeste, ese es nuestro *meridiano del lugar*. El *día solar verdadero* es el tiempo entre dos pasos consecutivos del sol por dicho meridiano).



Si la órbita de la Tierra alrededor del Sol fuera circular y la rotación fuera constante la duración del día solar verdadero también lo sería. Pero la órbita terrestre es elíptica, y la velocidad de la Tierra alrededor del Sol varía –como recoge la ley de las áreas de Kepler-. Por tanto, desde que un observador tiene al Sol en su meridiano hasta que vuelve a tenerlo al día siguiente, la Tierra tras girar 360° (de forma irregular, insistimos) ha de girar un poco más, y ese “poco más” no es igual a lo largo de toda la órbita. Así pues, el día solar verdadero no tiene duración constante.

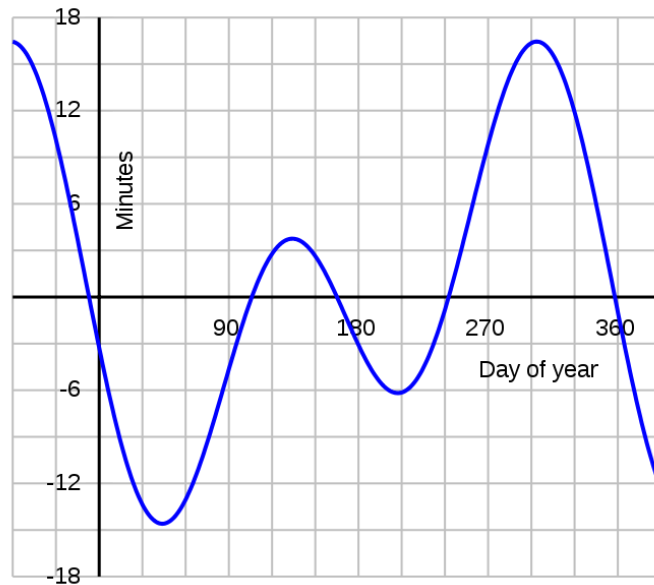
El “arreglo” viene a través de la definición de *día solar medio*: promedio de todos los días solares verdaderos de un año. Y se define el *segundo* como su 86 400-ava parte. Esto es equivalente a suponer que la órbita terrestre es circular, pero no elimina el efecto de la rotación irregular. Esto es equivalente a definir un *sol ficticio* que se mueva de manera uniforme sobre el ecuador celeste. Es decir, a partir del sol verdadero “inventamos” un sol verdadero proyectado (o abatido) sobre el ecuador celeste, con esto evitamos el problema de la inclinación de la órbita y después lo hacemos moverse con velocidad constante, con lo que resolvemos el problema de la elipticidad.



Por todo ello, el tiempo solar medio (el que mide un reloj) y el aparente o verdadero (el que da un reloj de sol) son diferentes. La **ecuación de tiempo** es la diferencia entre el tiempo solar medio y el tiempo solar aparente

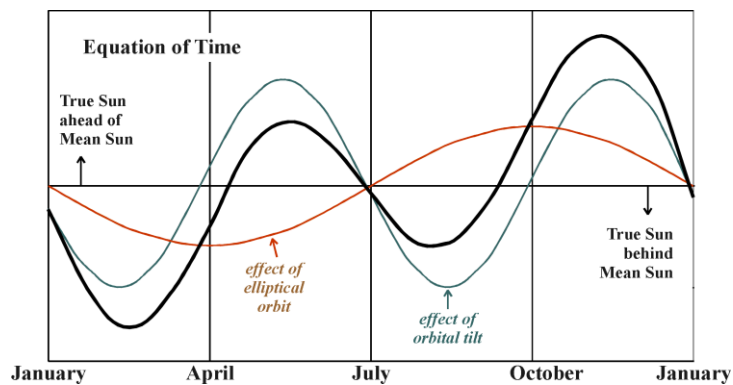
$$\text{Hora sol medio} = \text{Hora del sol verdadero} - \Delta ET$$

y viene representada en la gráfica siguiente:

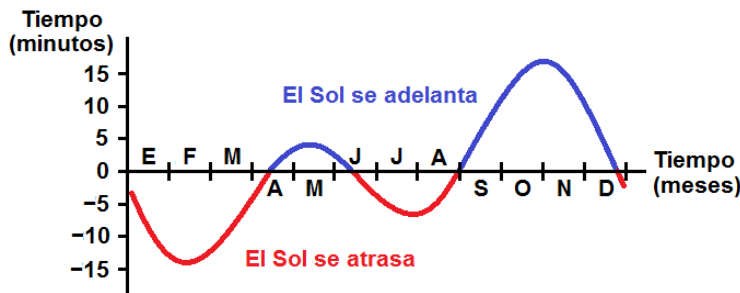


<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6961998>

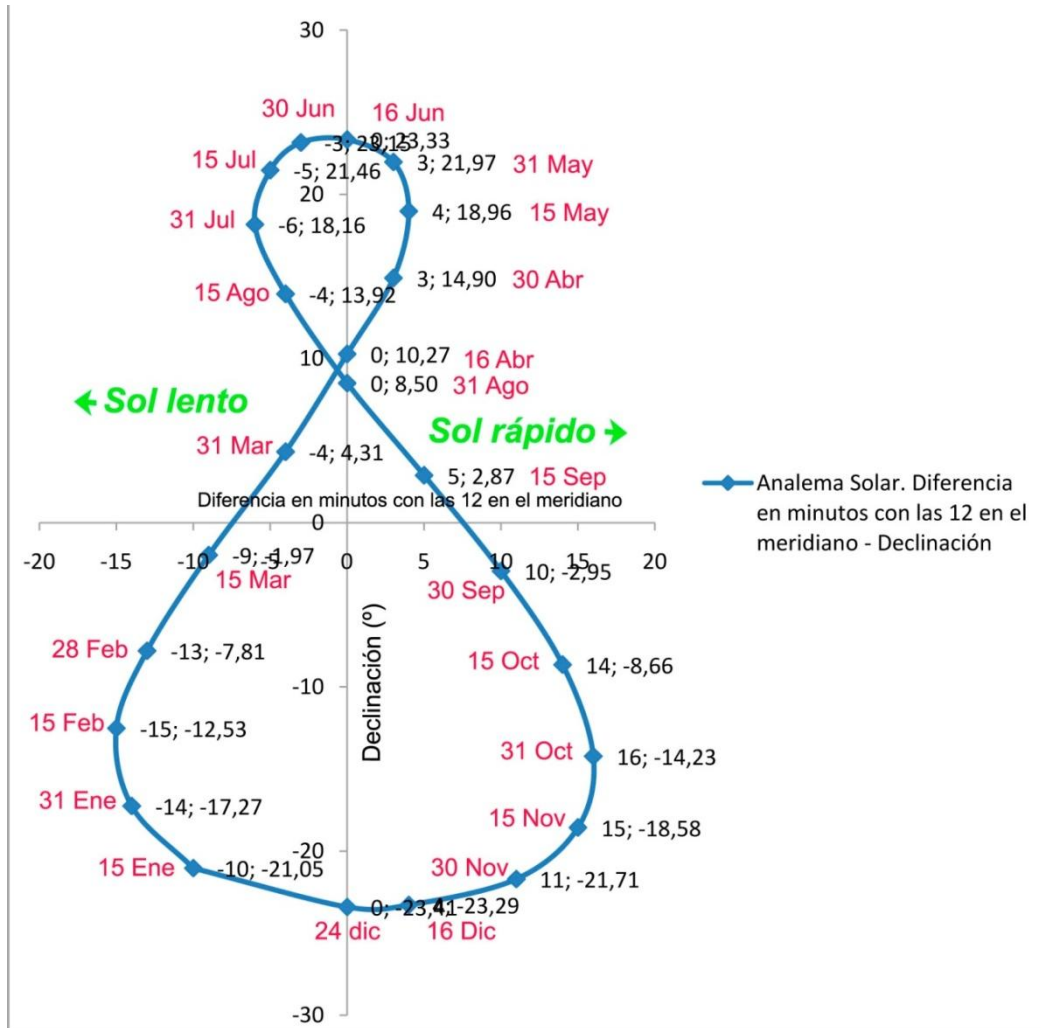
Esta gráfica es la suma de dos efectos periódicos: la elipticidad de la órbita (o, lo que es lo mismo, a velocidad no constante de traslación) y el hecho de proyectar el sol verdadero desde la eclíptica al plano ecuatorial.



Esta es la corrección que ha de hacerse a lo que marca un reloj de sol para saber la *hora media*. Ésta varía a lo largo del año y alcanza su máximo aproximadamente el 3 de noviembre, cuando el tiempo solar medio (reloj) está a 16 minutos 33 segundos por detrás del tiempo solar aparente (real), y a mediados de febrero, cuando el tiempo solar medio va más de 14 minutos por delante del aparente. Los ceros de la función se encuentran, aproximadamente, el 16 de abril, el 13 de junio, el 1 de septiembre y el 25 de diciembre. Hay que ser cuidadoso con las dos versiones de la gráfica:



La ecuación del tiempo puede recogerse también en un analema:



Para saber más de analemas: <http://materranya.ftp.catedu.es/materranya09.pdf>

**Nota curiosa:**

La ecuación del tiempo tiene varias fórmulas, la tomada de General Solar Position Calculations (NOAA) da  $\Delta ET$  en minutos

$$\Delta ET = 229.18 \cdot (0.00075 + 0.001868 \cdot \cos(x) - 0.032077 \cdot \sin(x) - 0.014615 \cdot \cos(2x) - 0.040849 \cdot \sin(2x))$$

Donde  $x$  se define en función del número de día  $N$  y la hora  $h$  mediante:

$$x = \frac{2\pi}{365} \left( N - 1 + \frac{h - 12}{24} \right)$$

**Nota curiosa:**

Hasta el 1 de enero de 1925, el Tiempo Solar Medio se contaba a partir del mediodía. Se denominaba *día astronómico* y empezaba doce horas después del mismo *día civil* –de calendario-. El tiempo solar medio, medido de mediodía a mediodía, medido sobre el Meridiano de Greenwich se denominaba como *Greenwich Mean Time*, abreviado GMT. Se eligió este meridiano porque es el que pasa por el Real Observatorio de Greenwich, en Greenwich, cerca de Londres, que en 1884 fue elegido por la Conferencia Internacional del Meridiano como el primer meridiano.





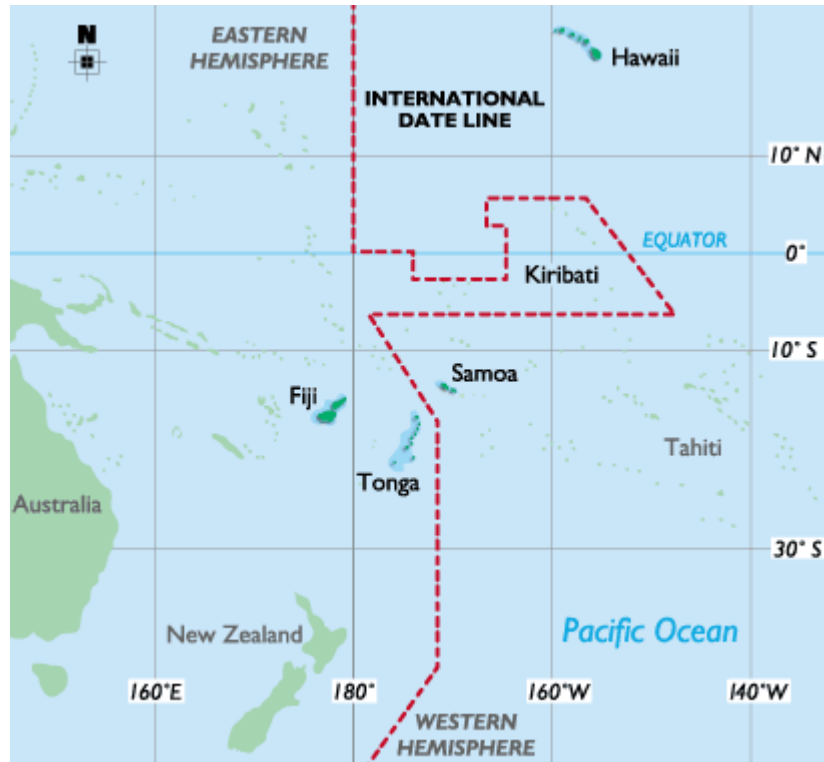
*Reloj de precisión del Real Observatorio de Greenwich, fuente original de la hora oficial*

A partir de ese momento, se pasó a contar el tiempo desde la medianoche (las 12 horas GMT del 31 de diciembre de 1924 –medianoche– pasaron a ser las cero horas del 1 de enero) y la hora GMT pasó a denominarse Tiempo Universal (UT).

En 1884 se había dividido la Tierra en 24 zonas horarias, cada una de 15° de arco, partiendo del meridiano de Greenwich hasta los 180° al este y al oeste. Se tiene así una “hora internacional” que cada país adapta a su “hora local” sumando o restando una cantidad (casi siempre) entera de horas.



*La línea internacional del tiempo o línea de cambio de fecha* –en la que se produce la discontinuidad de la hora, es decir, en la que cambia la fecha- se encuentra casi en su totalidad sobre el meridiano 180° (se desvía para no pasar por lugares poblados). La fecha cambia sobre este meridiano , así por ejemplo , cuando al oeste de la línea es el día 2 y lo es también en todo el resto del mundo , el primer lugar en donde la fecha cambia al día 3 es al este de la Línea.



Pero no, no hay 24 zonas horarias en el mundo, puesto que algunos países, para determinar su hora, suman o restan media hora a la de su huso (Irán suma 3 y media a la UT, Afganistán 4 y media, India 5 y media, Nepal 5 horas 40 minutos, Venezuela durante un tiempo restaba 4 y media...) existiendo más de 35 *regiones horarias* –este número varía pues hay incluso lugares con hora “no oficial”-.

Otra curiosidad es el *recorrido horario*: 26 horas. Es decir, la diferencia horaria entre el lugar más avanzado cronológicamente (el primer en entrar en cada nuevo día) y el lugar más rezagado es de 26 horas. Kiribati en 1994 decidió adoptar dos husos horarios más, el UTC+13 y el +14. Samoa omitió el 30 de diciembre de 2011, para situarse en el huso horario UTC+13. Lo que permite, por ejemplo, celebrar el Año Nuevo o cumplir años dos veces diferentes.

Sir Sandford Fleming (7 de enero de 1827 - 22 de julio de 1915) fue un ingeniero canadiense de origen escocés y un prolífico inventor, conocido especialmente porque propuso la creación de zonas horarias estandarizadas y un Horario Universal (Tiempo Universal, Universal Time o UT) y del sistema horario de 24 horas correspondientes a los 24 husos horarios contados a partir del meridiano de 180 grados (conocido como «antimeridiano» de Greenwich) y que se emplea ahora como línea internacional de cambio de fecha.

Después de perder un tren en Irlanda el año 1876 porque el horario impreso decía p.m. en vez de a.m., Sandford Fleming propuso un horario universal de 24 horas ubicado en el centro de la Tierra, no ligado a ningún meridiano superficial en particular.

Sugirió que los husos horarios podrían ser usados localmente, pero siempre subordinados a un horario único para todo el mundo. En una reunión realizada en el *Royal Canadian Institute* el 8 de febrero de 1879, Sandford Fleming propuso que el horario universal estándar tuviera como meridiano de origen al Antimeridiano de Greenwich, denominado ahora como el meridiano de 180°. Esta nueva proposición vino a solucionar el problema inicial, ya que los horarios de todo el mundo deben tener un único origen (un meridiano que se tome como origen) para ser un sistema coherente. Continuó promoviendo su sistema del horario universal en conferencias internacionales, incluyendo la *Conferencia Internacional del Meridiano* efectuada en 1884 en Washington (Estados Unidos). Esta Conferencia aceptó una versión diferente del Tiempo Universal, pero rechazó aceptar su concepto de zonas horarias, estableciendo que ello era un



asunto local que quedaba fuera de sus alcances. No obstante, hacia 1929, todos los principales países del mundo habían aceptado la división de nuestro planeta en zonas o husos horarios.

Los británicos no aceptaron de buen grado el cambio propuesto por Fleming, No sólo dejaban de ser el “centro” para el cambio de fecha, pasaban a ser el punto opuesto a dicho cambio. Aunque no lo parezca, seguimos usando la escala “Greenwich”. Cuando decimos, por ejemplo, que son las 18 horas, o un reloj marca 18:00 estamos hablando de Hora Universal, pero cuando decimos “las 6 de la tarde” o las 6 p.m., estamos hablando de hora GMT. Desde el año 2000 se denomina TIO (*terrestrial intermediate origin*) al punto del corte del Ecuador terrestre con el meridiano de longitud 0, es, por así decir, el origen en nuestra escala de tiempo.

Sandford Fleming no fue el primero en proponer el tiempo universal y zonas horarias estandarizadas. Ambas habían sido propuestas veintiún años antes por el político y matemático italiano Quirico Filopanti, pseudonimo de Giuseppe Barilli (20 abril 1812 – 18 diciembre 1894), en su libro *Miranda* publicado en 1858. Sin embargo, su idea era desconocida fuera de las páginas de su libro hasta mucho tiempo después de su muerte, de manera que no influyó en la adopción de husos horarios en el siglo XIX. Filopanti propuso 24 zonas horarias de una hora, que él llamó "días longitudinales", la primera centrada en el meridiano de Roma. También propuso un tiempo universal para usar en astronomía y telegrafía.

### Recapitulando ideas:

1. El movimiento aparente del Sol en torno a la Tierra no es uniforme.
2. Como necesitamos una manera uniforme de medir el tiempo, elegimos el movimiento medio del Sol (como unos días duran más que otros, elegimos el “día medio”).
3. Por un lado va el *Sol Real* y por otro el *Sol Medio*. Su diferencia la da la *Ecuación de tiempo*.
4. Si la Tierra sólo tuviera movimientos de rotación y traslación, tendríamos un punto fijo en el movimiento anual del Sol alrededor de la Tierra, el Punto Vernal, que podría servir para indicar el comienzo del año. Pero la precesión y la nutación hacen que éste varíe.
5. El Tiempo Universal (UT) es la “hora” del meridiano 180° para un Sol uniforme (Sol Medio) contada desde medianoche local.

### 6. EN BUSCA DE UNA UNIDAD DE TIEMPO.

Siendo prácticos comenzamos definiendo *día* como el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos de una cierta referencia espacial, situada en la esfera celeste, por un meridiano terrestre. Por ejemplo, el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano de Greenwich. Luego, marcamos meridianos cada  $360/24=15^\circ$ . Cada vez que el Sol cruce una, ha transcurrido una hora. Con ello, un *día solar verdadero* sería el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano del lugar. Nótese que, dicho así, el día comienza cuando el Sol está en lo alto, es decir, al mediodía.

Ya hemos mencionado los dos problemas de éste reloj: la rotación de la Tierra no es uniforme y la traslación tampoco. Una solución al segundo inconveniente ha sido “inventar” un *sol ficticio*: un sol imaginario que describe el ecuador celeste con velocidad angular constante en un tiempo igual al que tarda el Sol verdadero proyectado. Elegimos como “inicio” el Punto Vernal (o Punto Aries)

Bien, llegados a este punto, estamos midiendo el tiempo en la escala GMT. Es decir, tenemos un sol medio que se mueve uniformemente sobre la proyección del ecuador terrestre en la esfera celeste. Hasta el 1 de Enero de 1925 el día comenzaba cuando el Sol pasaba justo sobre el Meridiano de Greenwich. Ese día comenzó 12 horas antes. Desde entonces los días comienzan a medianoche y la escala GMT pasó a llamarse

Tiempo Universal (UT). Ya vemos que es un tiempo “local” –en Greenwich- que se adopta como “universal”, luego hay que hacer correcciones para obtener el tiempo en cada lugar del planeta (de ahí los husos horarios).

A veces se hace referencia al UT como *UT0* porque, con posterioridad en el tiempo, al UT se le aplicaron correcciones: *UT1* tiene en cuenta las variaciones del eje de giro de la Tierra. No es extraño que al *UT1* se le llame simplemente UT.

A partir de **UT1** se definió el **UT2** teniendo en cuenta variaciones periódicas de la velocidad de giro de la Tierra (sobre todo por el efecto de las mareas). Pese a todo aún quedan variaciones no contabilizadas, algunas son seculares (como el frenado de la Tierra por el frenado que sufre por el rozamiento de las aguas con el fondo marino) y otras esporádicas (por ejemplo, terremotos).

No olvidemos nuestro objetivo: una escala de tiempo uniforme. A finales del siglo XVII el astrónomo John Flamsteed sugirió que la velocidad de rotación de la Tierra varía. Investigaciones posteriores llevaron a la conclusión de que la Tierra se retrasa unos 30 segundos por siglo.

LA necesidad de una mayor precisión llevó, en 1960, a definir el Tiempo de Efemérides, **TE**, basado en el movimiento orbital de objetos del Sistema Solar y uniforme *per se*. El origen de esta escala se puso en la medianoche en que comenzó el año 1900. Y como definición de *segundo* adoptó la establecida en 1956 por la Unión Astronómica Internacional:  $1/31556925.975$  parte de año trópico 1900. Esta unidad se basó en que la duración del año trópico 1900 fue de 365.242198781 días medios. Por tanto, es independiente de la rotación terrestre.

En 1967 el TE deja de tener vigencia al ser sustituido por el Tiempo Atómico Internacional (TAI), que cambia la definición de segundo por: duración de 9.192.631.770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de Cesio-133. Éste es el segundo que es la unidad de tiempo en el Sistema Internacional.

En la actualidad, diversos laboratorios del mundo –unos 200- tienen relojes atómicos. De manera periódica, cada laboratorio indica al *Bureau International de l'Heure* (BIH) de París cuántas veces ha hecho *marca* su reloj. El BIH promedia estas marcas para producir el **Tiempo Atómico Internacional, TAI**. Así, el TAI es exactamente el número medio de marcas de los relojes de cesio 133, desde la medianoche del 1 de enero de 1958 (comienzo del tiempo), dividido entre 9.192.631.770.

Digamos que el TAI va contando segundos. Así, cada 60 segundos TAI se tiene un minuto, cada 60 minutos una hora, etc.

En 1984 fue sustituido por el Tiempo Dinámico Terrestre **TDT**. Y ese mismo año se instituyó el Tiempo Dinámico Baricéntrico, **TDB**. Todos ellos se utilizaban sólo para cálculos astronómicos y, fundamentalmente, se diferencian en dónde colocan el origen de coordenadas para localizar cuerpos del espacio.

Pero aún se crearon más escalas: el geocéntrico coordinado, el baricéntrico coordinado...

Pese a la cantidad de tiempos definidos, aún no hemos llegado al que usamos en nuestra vida cotidiana. Hemos dicho que el TAI es uniforme, puesto que va sumando segundos (todos iguales). Pero el giro de la Tierra no es uniforme. Por tanto, nuestros relojes han de recoger dicha irregularidad. Por ello, se define el Tiempo Universal Coordinado, UTC. De forma tal vez demasiado simple, podemos decir que es GMT, contando segundos del TAI y al que se le suma o resta un segundo cada vez que las irregularidades del giro de la Tierra la hacen adelantarse o retrasarse. La realidad es que la tendencia de la Tierra es a frenar, por tanto ha habido que añadir segundos intercalares (pasando de las 23:59:59 a las 23:59:60 o bien el 30 de junio o el 31 de diciembre, y luego a las 00:00:00 del día siguiente). También está prevista la eliminación de un segundo, teniendo un minuto de sólo 59 segundos, pero no ha sido necesario en el pasado y basándose en las predicciones para la rotación de la Tierra tampoco lo será en el futuro.

Es responsabilidad del IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) medir la rotación de la Tierra y determinar cuándo es necesario un segundo intercalar.

Recientemente ha habido propuestas de redefinir el Tiempo Universal Coordinado de modo que desaparezcan los segundos intercalares, el último de los cuales fue añadido el 31 de diciembre de 2016. En Zaragoza, el último segundo intercalar fue el domingo, 1 de enero de 2017, 0:59:60. La hora UTC fue el 31 de diciembre de 2016, 23:59:60.

Año	30 de junio 23:59:59	31 de diciembre 23:59:59	Año	30 de junio 23:59:59	31 de diciembre 23:59:59
1972	+1 segundo	+1 segundo	1989		+1 segundo
1973		+1 segundo	1990		+1 segundo
1974		+1 segundo	1992	+1 segundo	
1975		+1 segundo	1993	+1 segundo	
1976		+1 segundo	1994	+1 segundo	
1977		+1 segundo	1995		+1 segundo
1978		+1 segundo	1997	+1 segundo	
1979		+1 segundo	1998		+1 segundo
1981	+1 segundo		2005		+1 segundo
1982	+1 segundo		2008		+1 segundo
1983	+1 segundo		2012	+1 segundo	
1985	+1 segundo		2015	+1 segundo	
1987		+1 segundo			

Segundos intercalares adoptados

Desde el año 1980 se viene usando un nuevo tiempo, el llamado *tiempo GPS (GPST)*, que es el que utiliza el sistema de satélites de posicionamiento global. Comenzó a contar a las 0 horas del 6 de enero de 1980. También está medido por relojes atómicos y utiliza el segundo del TAI, pero no cuenta los segundos intercalares. *Galileo*, el sistema europeo de posicionamiento global, también ha definido su propio tiempo, el GST, también utiliza el segundo TAI pero con origen las cero horas del domingo 22 de agosto de 1999 y tampoco cuenta los segundos intercalares.

La Federación Rusa también tiene su sistema de satélites de posicionamiento global: GLONASS, también han definido su propio tiempo, basado en el UTC-SU (UTC de Rusia) y sí tiene en cuenta los segundos intercalares para cuya existencia hay propuestas firmes de desaparición.

China también tiene el suyo: BeiDou.

Si nos centramos en la hora UTC, la hora TAI va 37 segundos por delante y el GPST 18, también por delante.

Pongamos pies en tierra otra vez, donde hay una hora internacional aceptada, el horario UTC –es “la hora” en el antimeridiano de Greenwich-, a partir del cual cada país determina su *hora legal*. En España UTC+1 en invierno y UTC+2 en verano. El cambio se produce los últimos domingos de abril y octubre y es obligatorio para todos los países de la Unión Europea.

Otra cosa es el *tiempo civil*, responde a la siguiente situación: los relojes de los ayuntamientos de Zaragoza y Santiago de Compostela marcan (siempre) la misma hora –la legal, repetimos-, pero un reloj de sol no marca la misma. Por la diferencia de longitud en Zaragoza marca casi 30 minutos más. La longitud de Zaragoza es 0.88°W y la de Santiago 8.5°W, es decir, 7.4° de diferencia, y cada 15° de latitud significan una hora. Entre Coruña (8.35°W) y Gerona (2.75°E) la diferencia es de unos 45 minutos.

Para liar más la cosa: la *hora oficial* es la del huso horario. La legal modifica la oficial, principalmente para adaptarse a los límites o las fronteras. “Hora civil” tiene sentido astronómico, se trata de la hora solar media referida a la medianoche, aunque en la vida cotidiana se denomina “hora civil” al tiempo reglamentario o legal establecido por las autoridades civiles (un gobierno o una administración pública), o sea, el que indican los relojes que, correctamente, debería llamarse *legal*.

## 7. EL ORÍGEN EN LA ESCALA.

Y, para acabar, queda responder a la pregunta de dónde ponemos el origen desde donde iniciar la medida del tiempo. Como es de esperar hay varios. Por ejemplo, el calendario cristiano pone el origen en el 1 de enero del año 1, y, a partir de ahí, cuenta en sentido positivo y negativo (años después y antes de Cristo). Es un calendario irregular, basado en un calendario egipcio que Julio Cesar adoptó para el Imperio Romano: Años de 365 días, con la excepción de los múltiplos de cuatro que eran de 366. Posteriormente el Papa Gregorio XIII lo reformó en 1582. La reforma consistió en una sola cosa: un nuevo cómputo de los bisiestos (lo son los años múltiplo de 4 pero no de 100 –excepción que tiene excepción: no se aplica a los de 400-). Es decir, cada 400 años se “pierden” tres días, así en los 1250 años que tuvo de vigencia el Calendario Juliano se contabilizaron 10 días de más y hubo que corregirlo: al jueves -juliano- 4 de octubre de 1582 le sucedió el viernes -gregoriano- 15 de octubre de 1582, diez días desaparecieron.

El musulmán cuenta desde le Hégira (peregrinación de Mahoma de La Meca a Medina). El calendario musulmán cuenta con años lunares –divididos en 12 meses- de 354 días, 8h, 44m y 54 s, 33 años suyos equivalen a 32 años solares y 6 días, 8h y 41m. Sin embargo, intercala también 11 años de 355 días en cada ciclo de 30 años. Las intercalaciones se hacen añadiendo un día al final del mes de *du l-hiyya* (duodécimo del año) en los años 2º, 5º, 7º, 10º, 13º, 16º, 18º, 21º, 24º, 26º y 29º de cada ciclo de 30 años. El origen de este calendario es el día del inicio de la Hégira, que es 1 AH (Anno Hegirae), en el calendario gregoriano corresponde al 16 de julio de 622.

El año hebreo es lunisolar, también tiene 12 meses –de 29 ó 30 días- , uno de ellos, el segundo –Jeshván- unas veces de 29, otras de 30. Además tiene “años embolismales”, son años a los que se añade un mes de 30 días –inserta un sexto mes entre el quinto y el sexto-. Este calendario tiene ciclos de diecinueve años, de los cuales siete son embolismales, el 3º, 6º, 9º, 11º, 14º, 17º y 19º. Hoy, 9 de marzo de 2018 es el 22 Adar, 5778. El actual calendario judío empieza a contar, según la Biblia, a partir de la creación mítica del mundo. Esta fecha corresponde a, según la tradición judía, el día domingo 7 de octubre del año 3761 a. C.

Así hay cientos de calendarios, cada uno con su longitud y origen desde donde empezar a contar. Todos ellos con una característica: la irregularidad. Además, con el cambio de hora entre verano e invierno, tenemos instantes que o bien no existen o dos momentos diferentes tienen la misma hora.

Los astrónomos muchas veces necesitan fechar algún evento periódico. Para hechos que están muy alejados, como la aparición de un cometa, el calendario común no sirve, debido a las diferentes cantidades de días en meses, años bisiestos, reformas de calendarios (Juliano, Gregoriano) y otras cosas.

Por ello, Joseph Justus Scaliger, astrónomo francés (1540 - 1609) invento las Fechas Julianas o Días Julianos, nombrado así por su padre, Julius Scaliger, por tanto no tiene que ver con el calendario Juliano.

El inicio de los días Julianos, llamado el inicio de la era Juliana, se define al mediodía del primero de Enero, 4713 A.d.C. en el calendario Juliano (de Julio César, éste sí). Con esta fecha, todas las observaciones astronómicas históricas tienen número de día Juliano positivo, así que todos los cálculos son simplemente restas y sumas.

El *instante Juliano* es un número decimal. Así, las cero horas de hoy, 9 de marzo de 2018 es el instante 2458186.5 y al empezar esta charla, a las 18:15 es el 2458187.26042.

Como los dos primeros dígitos del día Juliano permanece constante durante tres siglos, algunas veces se usa la versión acortada, la *Fecha Juliana Modificada (MJD)* que pone el inicio en la media noche del 17 de Noviembre de 1858, y así  $MJD = JD - 2400000.5$

En astronomía, J2000.0 se refiere a la fecha juliana 2451545.0 TT (Tiempo Terrestre), o 1 de enero de 2000, mediodía TT. Es equivalente al 1 de enero de 2000, 11:59:27.816 TAI, o 1 de enero de 2000, 11:58:55.816 UTC. Esta fecha es usada ampliamente para indicar un instante en el tiempo estándar para la medición de las posiciones de los cuerpos celestes y otros acontecimientos estelares.

## 8. ANEXO

El cálculo de día juliano de una fecha dada puede llevarse a cabo siguiendo el siguiente algoritmo:

Sean a, m, d y h el año, mes, día y hora de la fecha.

Nota: Si la fecha de la que partimos es anterior a Cristo, hemos de sumarle un año. Por ejemplo, para el 125 a. C.,  $a = -124$ . Esto es debido al que no hubo año 0, se pasa de 1 a. C. al 1 d. C.

Si  $m = 1$  ó  $m = 2$ , entonces  $a' = a - 1$  y  $m' = m + 12$ , en otro caso  $a' = a$  y  $m' = m$

Si la fecha es posterior o igual al 15 de Octubre de 1582 (reforma gregoriana) se calcula:

$$A = \text{parte entera de } (y' / 100)$$

$$B = 2 - A + \text{parte entera de } (A / 4)$$

En otro caso  $B = 0$

Si  $a'$  es negativo se calcula:

$$C = \text{parte entera de } ((365.25 * a') - 0.75);$$

en otro caso  $C = \text{parte entera } (365.25 * a')$

Se calcula  $D = \text{parte entera de } (30.6001 * (m' + 1))$

El día Juliano será  $DJ = B + C + D + d + 1720994.5 + h/24$ .

Para ahora:  $a=2018$ ,  $m=3$ ,  $d=9$ ,  $h=19$ .

Como  $m \neq 1,2$ ;  $a'=2018$ ,  $m'=3$ .

Corrección por la reforma gregoriana:  $A = \text{parte entera } (2018/100) = 20$ ,  $B = 2 - 20 + 5 = -13$ .

Como  $a'$  es positivo:  $C = \text{parte entera } (365.25 \cdot 2018) = 737074$

$D = \text{parte entera } (30.6001 \cdot 4) = 122$

Por tanto, la fecha juliana es  $DJ = B + C + D + d = -13 + 737074 + 122 + 9 + 1720994.5$   
 $= 2458186.5$

Y, para la hora actual  $h=19$ , sumamos  $19/24 = 0.79167$ .

Como curiosidad, ahora es fácil saber qué día de la semana es determinada fecha juliana.

El mediodía de hoy es MJD58187, el resto de  $58187/7$  es 3. Así todos los viernes darán resto 3, los sábados 4, los domingos 5, los lunes 6, los martes 0, los miércoles 1 y los jueves 2.