

tiempo

el concepto de tiempo siempre esta relacionado con la idea de movimiento

la medida del movimiento consiste en correlacionar las posiciones de un sistema físico con las posiciones de otro. Así, se ordenan una serie de sucesos con respecto a otra serie de sucesos.

una serie de sucesos  una serie de posiciones de un sistema físico natural o artificial

por ejemplo, si queremos estudiar el movimiento de una pelota que se desplaza sobre el piso relacionamos las diferentes posiciones de la misma a lo largo de su camino con las diferentes posiciones de las agujas de un reloj.

una serie de posiciones de un sistema físico natural o artificial constituye una escala de tiempo si definimos una unidad de medida y un origen de la escala

podemos elegir una serie discontinua de sucesos periódicos, asumiendo que se repiten a intervalos regulares

o una serie continua de sucesos dada por las posiciones de un sistema con movimiento continuo, asumiendo que los intervalos de tiempo entre dos sucesos son iguales cuando los espacios recorridos son iguales (movimiento uniforme)

la medida del tiempo se reduce a medidas espaciales

ha sido siempre un problema astronómico: el sistema solar es nuestro reloj

el movimiento de rotación de la tierra sobre su eje origina diferentes escalas de tiempo ``rotacional`` según cómo se mida

las sucesivas posiciones de la tierra en su movimiento de rotación pueden determinarse midiendo el ángulo horario de algún objeto celeste



medida del tiempo se reduce a medidas de ángulos!

medida del ángulo horario del sol verdadero → tiempo solar verdadero

medida del ángulo horario del sol medio → tiempo solar medio

medida del ángulo horario del equinoccio de primavera → tiempo sidéreo

***unidad de medida de los tiempos rotacionales: día
(solar verdadero, solar medio o sidéreo)***

el movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol origina la escala de tiempo de efemérides

unidad de medida del tiempo de efemérides: segundo de efemérides

tiempo sidéreo (T_s)



ángulo horario del punto γ (equinoccio de primavera)

culminación superior del punto $\gamma \rightarrow 0h$ de tiempo sidéreo

unidad de medida : día sidéreo



intervalo de tiempo entre dos pasajes consecutivos
del punto γ por el meridiano superior del lugar
en un día sidéreo el ángulo horario del punto aumenta 360°

1 día sidéreo = 24 horas sidéreas

1 hora sidérea = 60 minutos sidéreos

1 minuto sidéreo = 60 segundos sidéreos

cómo se mide el tiempo sidéreo?



observando estrellas de ascensión recta conocida
en el momento de su culminación

$$T_s = t^* + \alpha^* \rightarrow T_s = \alpha^*$$

$t=0$

**el punto γ no es un punto fijo en la esfera celeste
debido a la precesión y a la nutación**



- 1) tiempo sidéreo verdadero (T_{sv}): ángulo horario del punto γ_v**
- 2) tiempo sidéreo medio (T_{sm}): ángulo horario del punto γ_m**

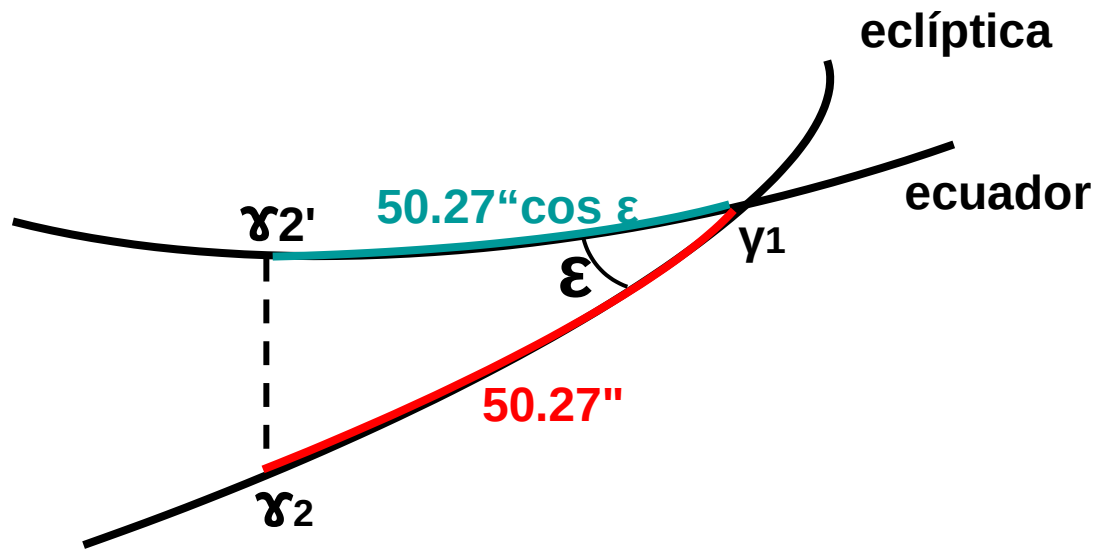
$T_{sv} - T_{sm} = EE = \text{ecuación de los equinoccios}$



desplazamiento del punto γ sobre el ecuador debido a la nutación

**T_{sm} se atrasa y se adelanta alternativamente
al T_{sv} con un período de 18.6 años**

máximo valor de EE 1.18s



desplazamiento de γ sobre el ecuador por día =
$$\frac{50.27'' \cos \epsilon}{366} = 0.1260'' = 0.0084s$$



la duración del día sidéreo medio es 0.0084s menor que la duración de un día sidéreo ideal con respecto a un punto γ inmóvil.

el tiempo sidéreo no es uniforme debido a:

1) la rotación de la tierra no es uniforme debido a :

a) el rozamiento del agua con el lecho del mar debido a las mareas



la velocidad de rotación de la tierra disminuye con el tiempo

b) variaciones estacionales

c) variaciones irregulares (no periódicas)

2) el meridiano del lugar no está fijo con respecto a la tierra debido a oscilaciones de la vertical y al movimiento de los polos

3) la precesión del equinoccio sufre pequeñas variaciones seculares

tiempo solar verdadero (T_{0v})



ángulo horario del sol verdadero

culminación superior del sol → 0h de tiempo solar verdadero



mediodía verdadero

unidad de medida : día solar verdadero



**intervalo de tiempo entre dos pasajes consecutivos
del sol por el meridiano superior del lugar**

en un día solar verdadero el ángulo horario del sol aumenta 360°

1 día solar verdadero = 24 horas solares verdaderas

1 hora solar verdadera = 60 minutos solares verdaderos

1 minuto solar verdadero = 60 segundos solares verdaderos

**el ángulo horario del centro del sol determinado a partir
de la observación determina el tiempo solar verdadero**

$$T_{sv} = t_{\odot} + \alpha_{\odot} \Rightarrow t_{\odot} = T_{sv} - \alpha_{\odot}$$

no son uniformes

el tiempo solar verdadero no es uniforme

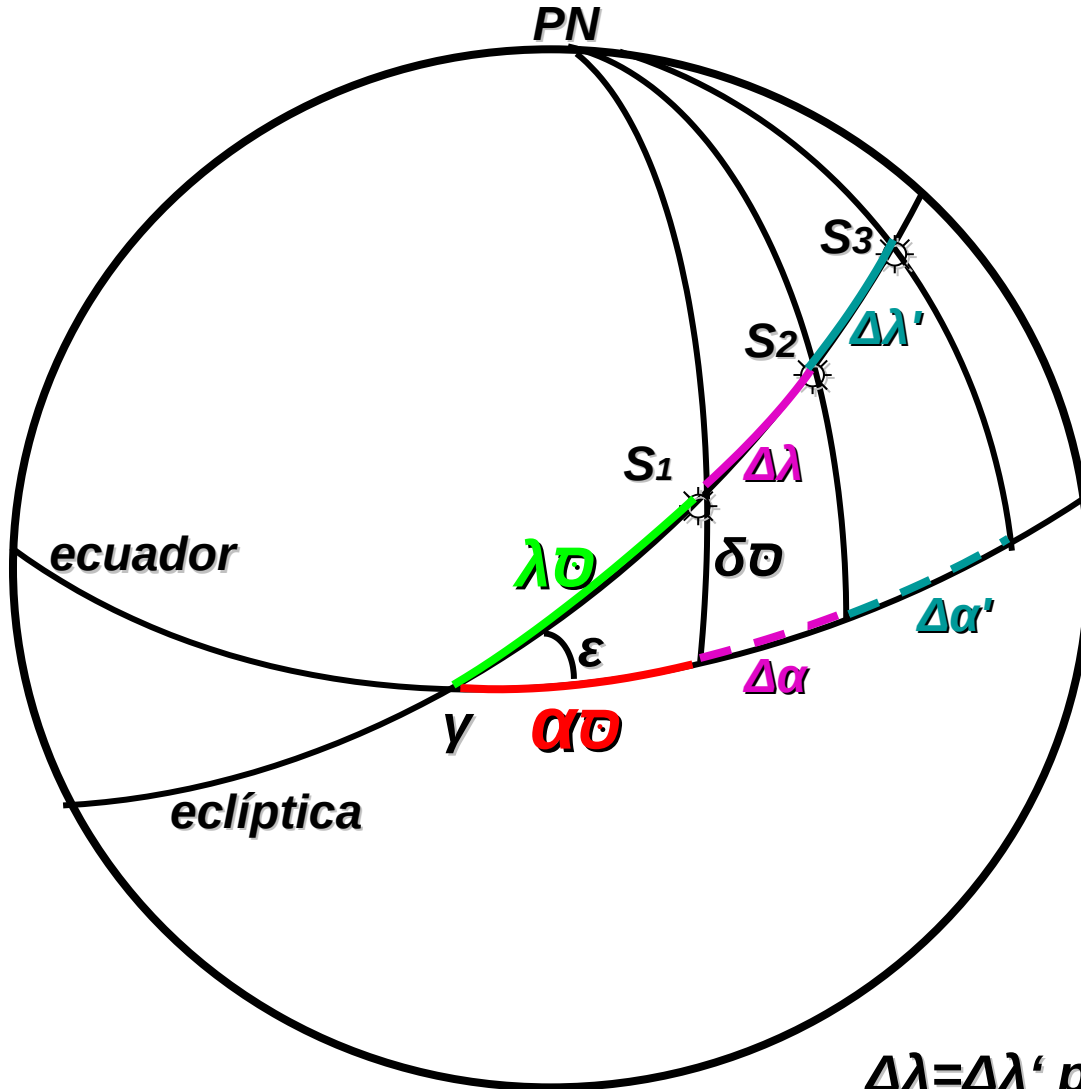
el movimiento del sol verdadero en ascensión recta no es uniforme porque:

1) el movimiento del sol sobre la eclíptica no es uniforme

órbita elíptica \Rightarrow **diferentes velocidades en diferentes puntos de la órbita (segunda ley de Kepler)**

2) el ecuador está inclinado con respecto a la eclíptica

falta de uniformidad del movimiento del sol verdadero en ascensión recta originada en la oblicuidad de la eclíptica



$$S_2 - S_1 = \Delta\lambda \quad S_3 - S_2 = \Delta\lambda' \quad \Delta\lambda = \Delta\lambda'$$

de la fórmula de los 5 elementos:
 $\text{tg}(\alpha) = \text{tg}(\lambda) \cos(\epsilon)$ 1

derivando 1 :

$$d\alpha = \frac{\cos^2(\alpha) \cos(\epsilon) d\lambda}{\cos^2(\lambda)}$$
 2

de la fórmula del coseno:

$$\frac{\cos(\alpha)}{\cos(\lambda)} = \frac{1}{\cos(\delta)}$$
 3

reemplazando 3 en 2:

$$d\alpha = \frac{\cos(\epsilon) d\lambda}{\cos^2(\delta)}$$

$$\Delta\alpha = \frac{\cos(\epsilon) \Delta\lambda}{\cos^2(\delta)} \quad \Delta\alpha' = \frac{\cos(\epsilon) \Delta\lambda'}{\cos^2(\delta')}$$

$\Delta\lambda = \Delta\lambda'$ pero $\delta \neq \delta'$ ➔ $\Delta\alpha \neq \Delta\alpha'$

para corregir la falta de uniformidad del tiempo solar verdadero y construir una escala de tiempo uniforme se crean:

1) primer sol ficticio:

recorre la eclíptica con movimiento uniforme coincidiendo con el sol verdadero en el apogeo y el perigeo; corrige la falta de uniformidad del tiempo solar verdadero originada en la elipticidad de la órbita

2) segundo sol ficticio o sol medio:

recorre el ecuador con movimiento uniforme coincidiendo con el primer sol ficticio en los equinoccios; corrige la falta de uniformidad del tiempo solar verdadero originada en la oblicuidad de la eclíptica

tiempo solar medio (T_{0m})



ángulo horario del sol medio

**tiempo solar medio = tiempo solar verdadero
corregido de sus principales irregularidades**

culminación superior del sol medio → 0h de tiempo solar medio



mediodía medio

unidad de medida : día solar medio



**intervalo de tiempo entre dos pasajes consecutivos
del sol medio por el meridiano superior del lugar**

en un día solar medio el ángulo horario del sol aumenta 360°

1 día solar medio = 24 horas solares medias

1 hora solar media = 60 minutos solares medios

1 minuto solar medio = 60 segundos solares medios

C = ecuación del centro = expresión matemática que corrige la falta de uniformidad del sol verdadero debido a la elipticidad de la órbita

R = reducción al ecuador = expresión matemática que corrige la falta de uniformidad del sol verdadero debido a la oblicuidad de la eclíptica

$$**Et = ecuación del tiempo = C + R**$$

despreciando las pequeñas irregularidades debidas a las variaciones de la rotación de la tierra y a las variaciones del meridiano del lugar, con la ecuación del tiempo se corrige al tiempo solar verdadero de todas sus irregularidades

$$**T\theta m = T\theta v - Et**$$

dado por un reloj de sol

tabulada para cada día del año en las efemérides astronómicas (varía muy poco de año a año)

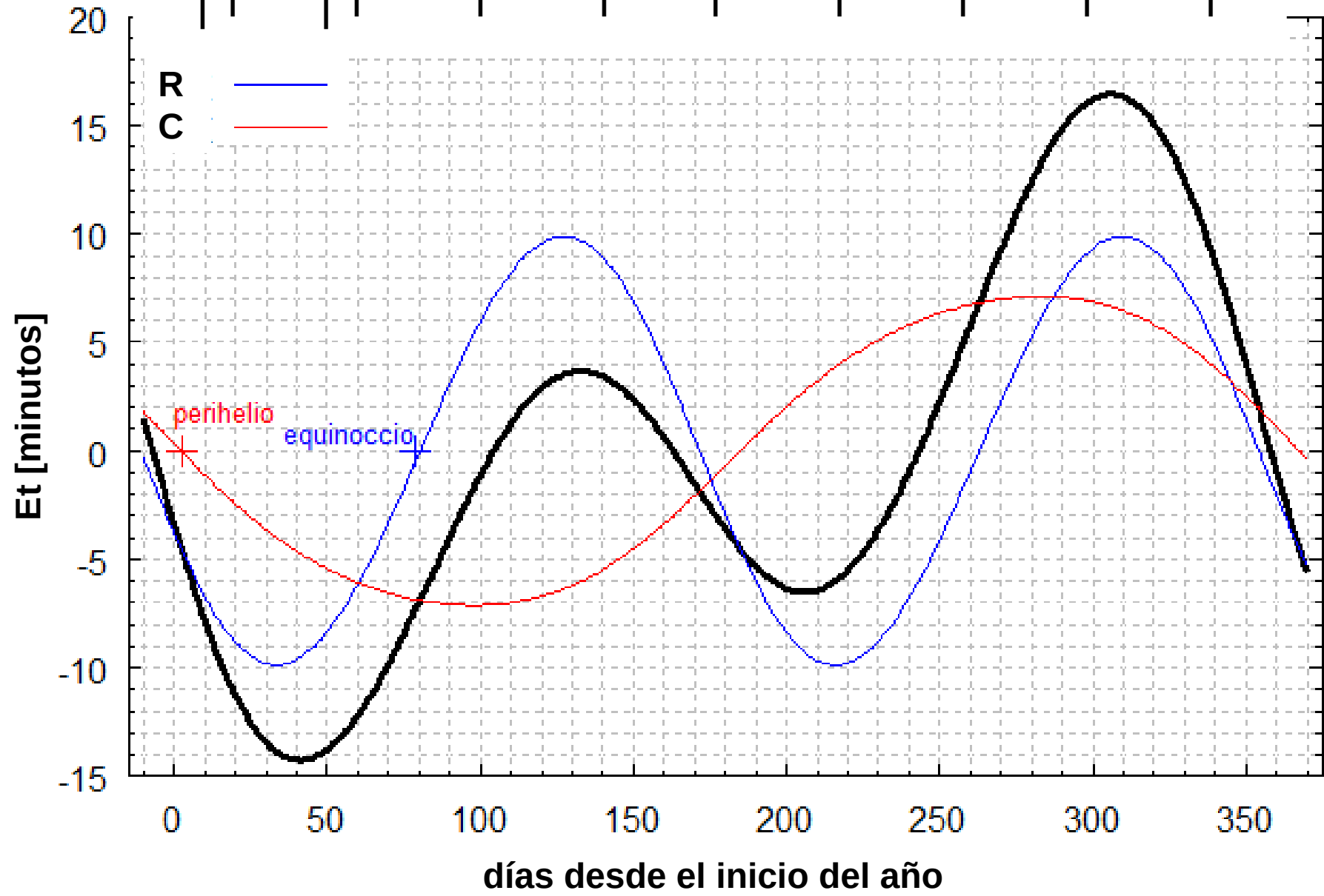
$$**-15m(15/5) < Et < 16m(2/11)**$$

si Et < 0 \Rightarrow el sol medio se adelanta al sol verdadero

si Et > 0 \Rightarrow el sol medio se atrasa al sol verdadero

meses del año

E | | F | | M | | A | | M | | J | | J | | A | | S | | O | | N | | D



el tiempo solar medio no puede ser determinado a partir de la observación directa

hay dos métodos indirectos

1) primer método:

a) se observa el sol verdadero $\Rightarrow T_{\theta v}$

b) se calcula $T_{\theta m} = T_{\theta v} - Et$ con Et obtenido de tabla

2) segundo método:

a) se observan estrellas fundamentales en su culminación



T_{sv}

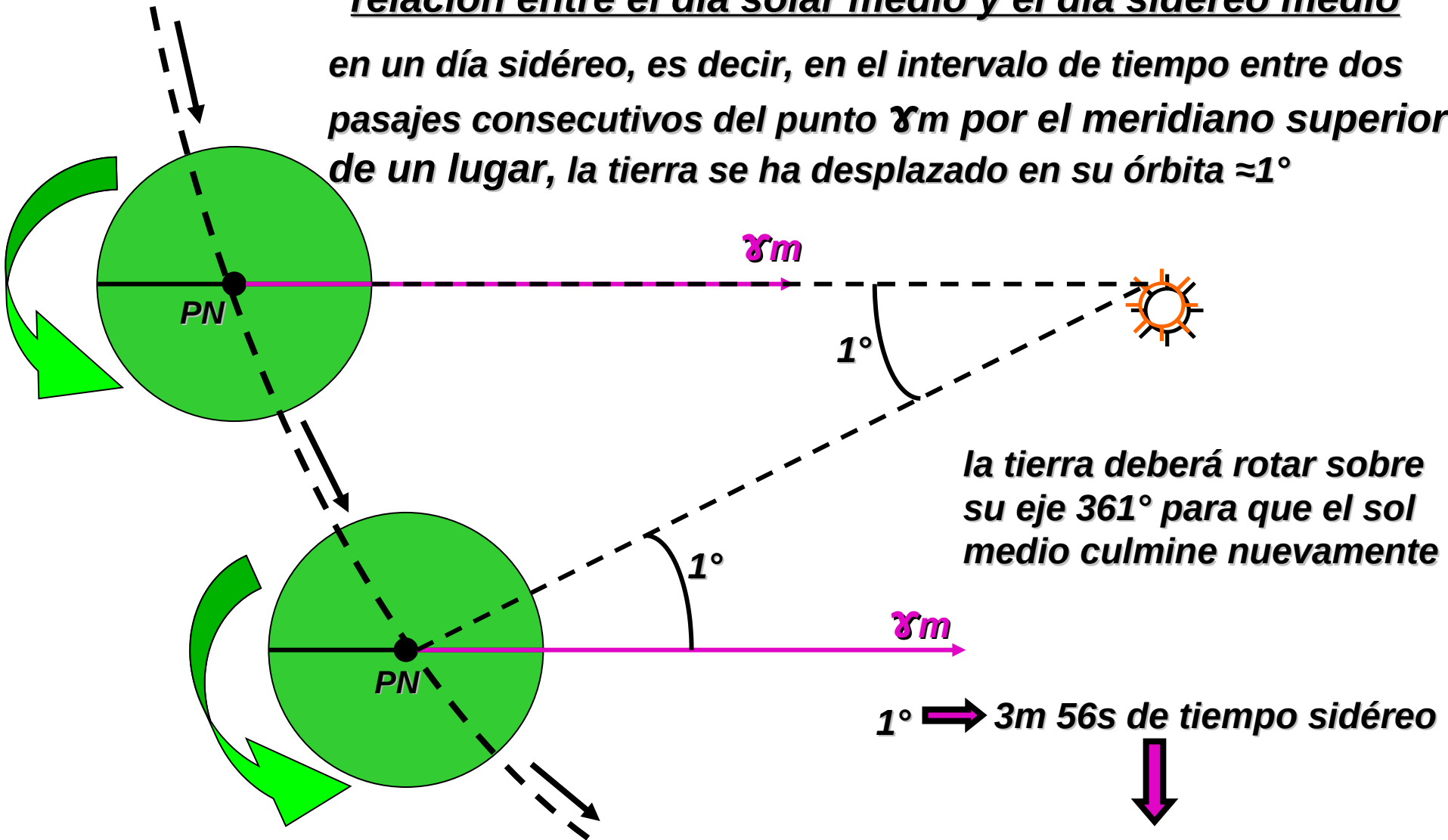
b) se calcula $T_{sm} = T_{sv} - EE$ con EE obtenido de tabla

c) se calcula $\alpha_{\theta m}$ con una fórmula teórica dada por Newcomb

d) se calcula $T_{\theta m} = T_{sm} - \alpha_{\theta m}$

relación entre el día solar medio y el día sidéreo medio

en un día sidéreo, es decir, en el intervalo de tiempo entre dos pasajes consecutivos del punto γ_m por el meridiano superior de un lugar, la tierra se ha desplazado en su órbita $\approx 1^\circ$



el 21 de marzo γ_m y el sol medio culminan juntos en el meridiano de Greenwich
a partir del 21/3 γ_m se adelanta $\approx 4m$ por día al sol medio $\Rightarrow \approx 2h$ por mes

12 meses después γ_m y el sol medio culminan juntos nuevamente en Greenwich

relación entre tiempo sidéreo medio y tiempo solar medio

1 día solar medio=24h solares medias=24h 3m 56.55536s de tiempo sidéreo medio

1 día sidéreo medio=24h sidéreas medias=23h 56m 4.090538s de tiempo solar medio

$$\frac{1 \text{ día sidéreo medio}}{1 \text{ día solar medio}} = 0.997269566414$$

$$\frac{1 \text{ día solar medio}}{1 \text{ día sidéreo medio}} = 1.002737909265$$

relación entre dos distintos intervalos de tiempo expresados ambos en las mismas unidades

**sea I_s un intervalo de tiempo expresado en unidades de tiempo sidéreo medio
e I_m el mismo intervalo de tiempo expresado en unidades de tiempo solar medio**



$$\frac{I_m}{I_s} = 0.997269566414$$

$$\frac{I_s}{I_m} = 1.002737909265$$

relación entre dos intervalos iguales de tiempo expresados en distintas unidades

definición de año

año sidéreo: intervalo de tiempo que le toma al sol recorrer los 360° de su órbita = intervalo de tiempo entre 2 pasos consecutivos del sol por un punto fijo de su órbita (el equinoccio de una determinada época o las estrellas fijas)

año trópico: intervalo de tiempo entre 2 pasos consecutivos del sol por γ

γ precesa sobre la eclíptica $50.26''$ por año



año trópico es $\approx 20m$ mas corto que el año sidéreo

{	año sidéreo = 365.25636 d \emptyset m
	año trópico = 365.242199 d \emptyset m

en un año trópico el Sol medio pasa 365,2422 veces por un meridiano

en un año trópico γ_m pasa 366,2422 veces por un meridiano



un año trópico = 365,2422 días solares medios = 366,2422 días sidéreos medios

tiempo civil y tiempo universal

tiempo civil = TC = tiempo solar medio aumentado en 12 horas

$$TC = T_{\text{om}} + 12h$$



0h de tiempo civil a medianoche

el Tsv, el Tsm, el T_{0v}, el T_{0m} y el TC son tiempos locales ya que se miden desde el meridiano superior o inferior del lugar



dependen de la longitud geográfica del lugar

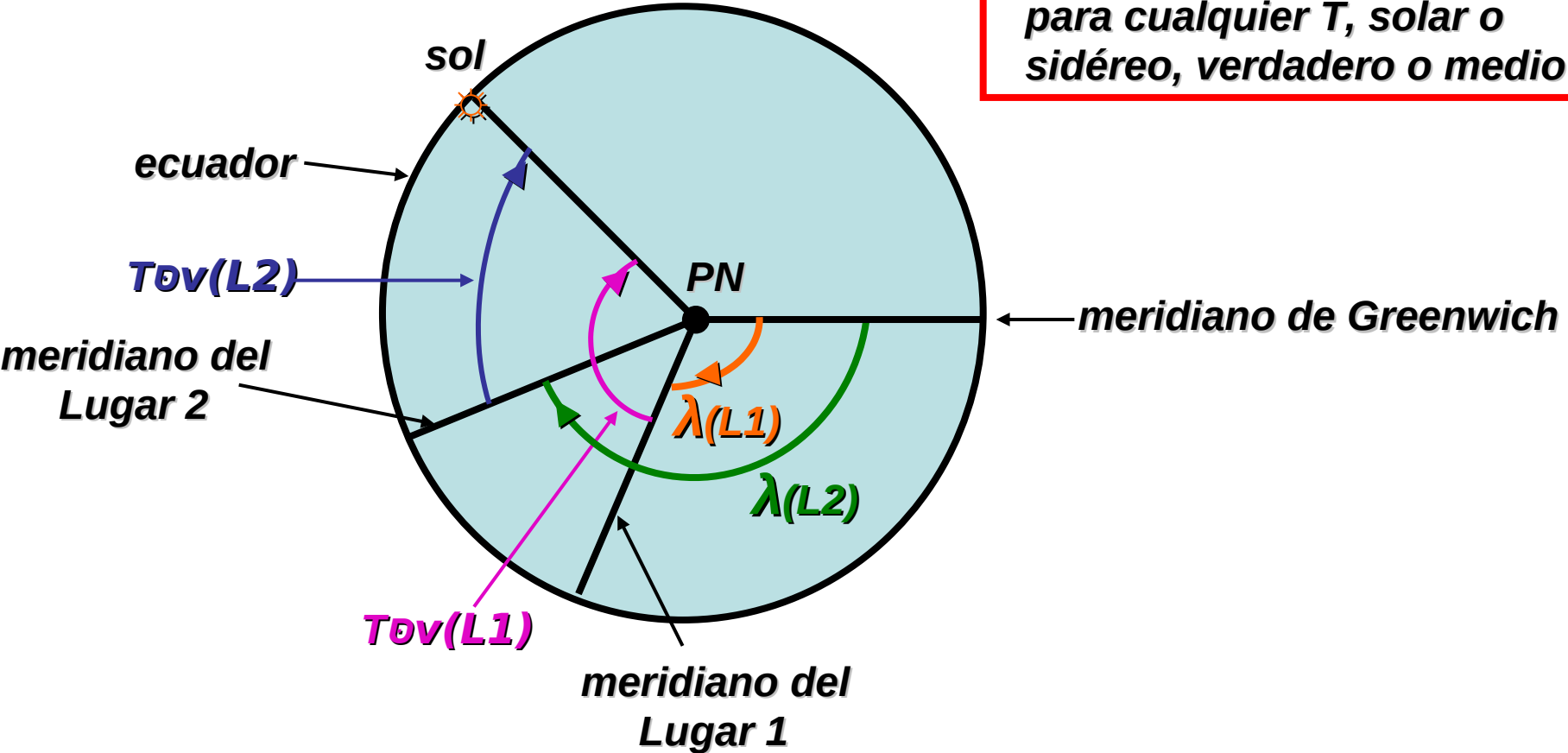
tiempo civil correspondiente al meridiano de Greenwich = tiempo universal = TU

el tiempo civil, definido a partir del tiempo solar medio, está afectado de las mismas irregularidades (muy pequeñas), debidas a la falta de uniformidad de la rotación de la tierra y las oscilaciones del meridiano local

determinación de longitudes geográficas

$$T_{\text{OV}}(L1) - T_{\text{OV}}(L2) = \lambda(L2) - \lambda(L1)$$

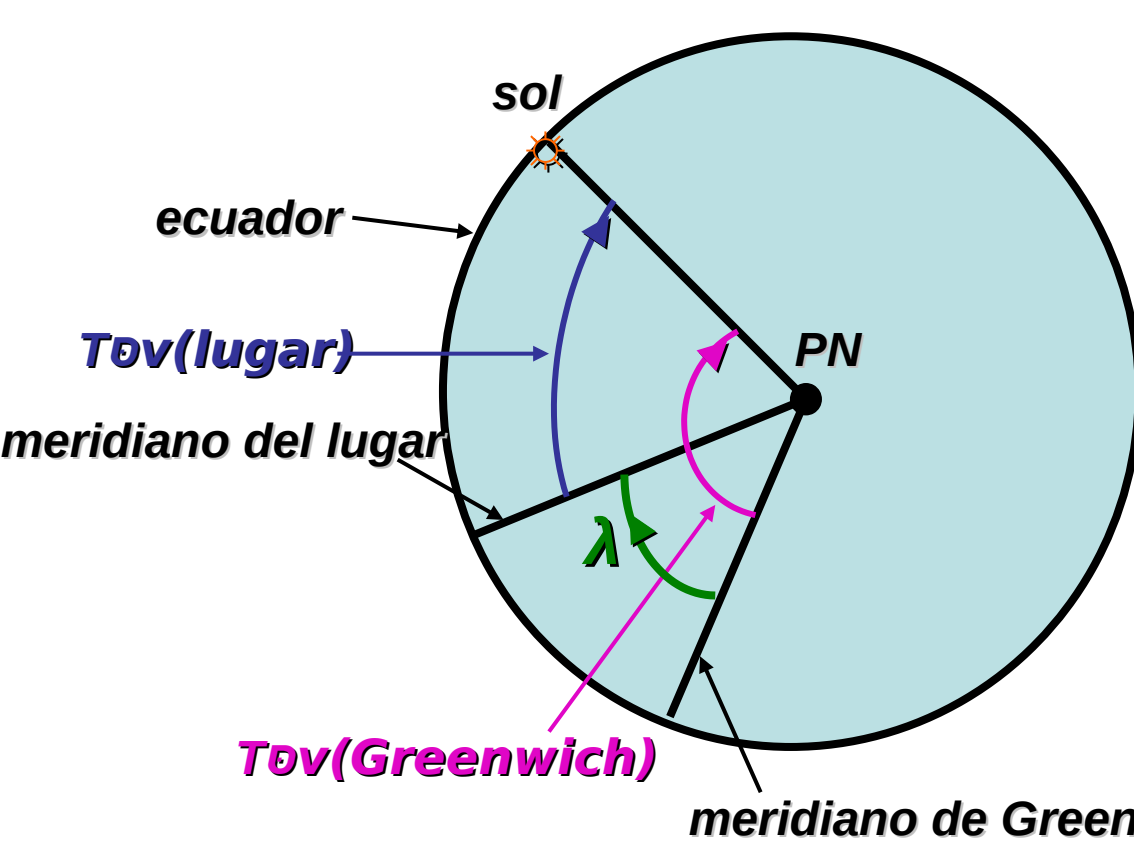
en gral.: $\Delta T = \pm \Delta \lambda$
para cualquier T, solar o sidéreo, verdadero o medio



la diferencia de los tiempos, en la misma escala, correspondientes a dos lugares diferentes de la superficie terrestre es igual a la diferencia en longitud geográfica entre ambos lugares

si uno de los lugares es Greenwich:

$$T_{\text{ov}}(\text{lugar}) - T_{\text{ov}}(\text{Greenwich}) = -\lambda(\text{lugar})$$



en *gral.*: $\Delta T = \pm \lambda$
 según el lugar esté al E o al W de Greenwich,
 para cualquier T, solar o sidéreo, verdadero o medio

la diferencia de los tiempos, en la misma escala, correspondientes a Greenwich y otro lugar cualquiera de la superficie terrestre es igual a la longitud geográfica del lugar

husos horarios y hora legal de un país

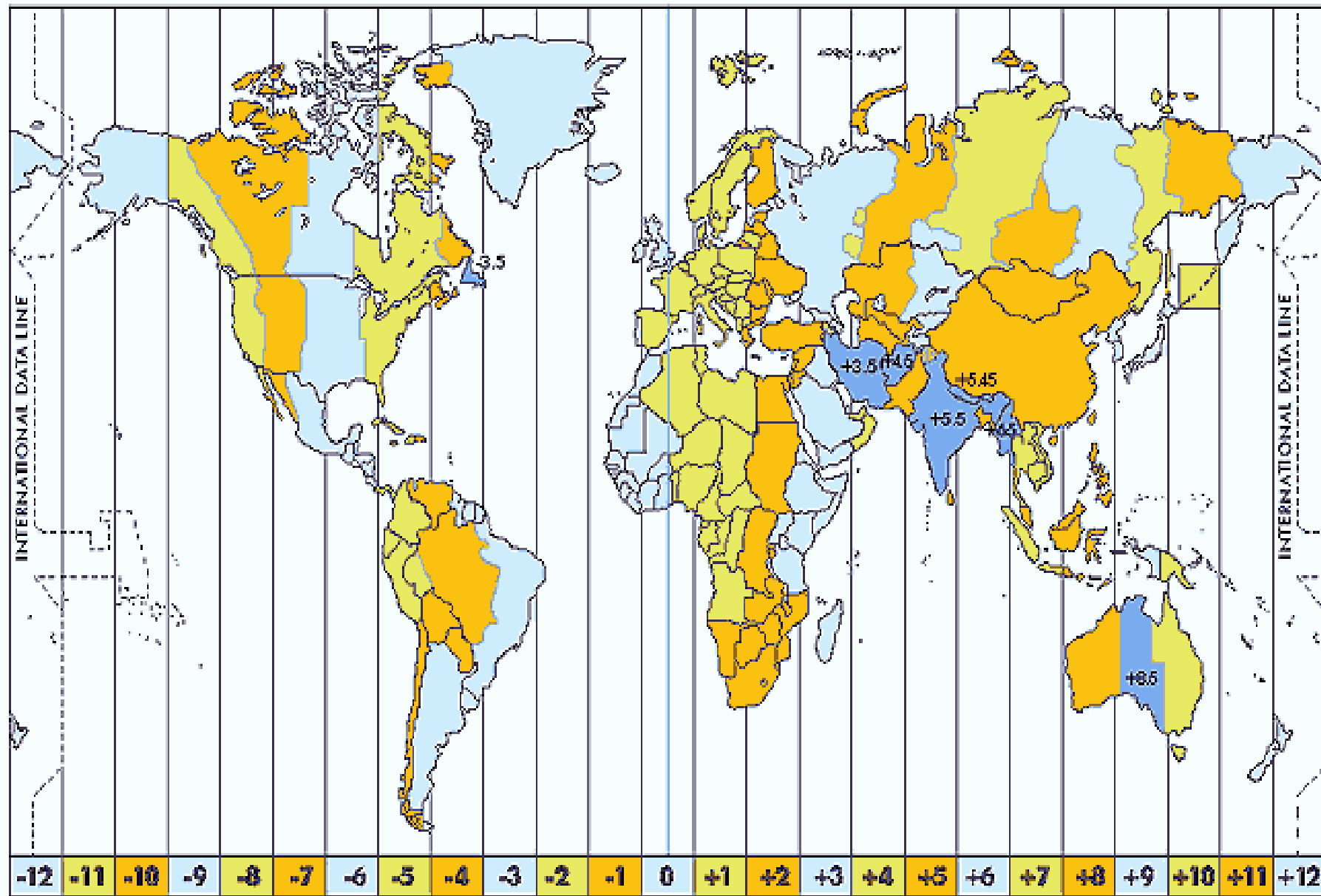
para uniformar la hora a nivel mundial:

**1) se toma como referencia el TC de un meridiano elegido por convención
el meridiano elegido es el meridiano que
pasa por el observatorio de Greenwich**

2) se divide la tierra en **husos horarios**

**24 zonas de $15^\circ=1h$ en las que se divide la superficie de la tierra,
numeradas, desde el meridiano de Greenwich, de 0h a 23h hacia el
este, o de 0h a 12h hacia el este y de 0h a 12h hacia el oeste**

husos horarios



la hora legal (HL): de un país es el tiempo civil del meridiano central de un huso que se toma por convención (en gral. el que le corresponde geográficamente)

tiempo civil del meridiano central de un huso coincide con el número del huso si no tenemos en cuenta las oscilaciones del meridiano

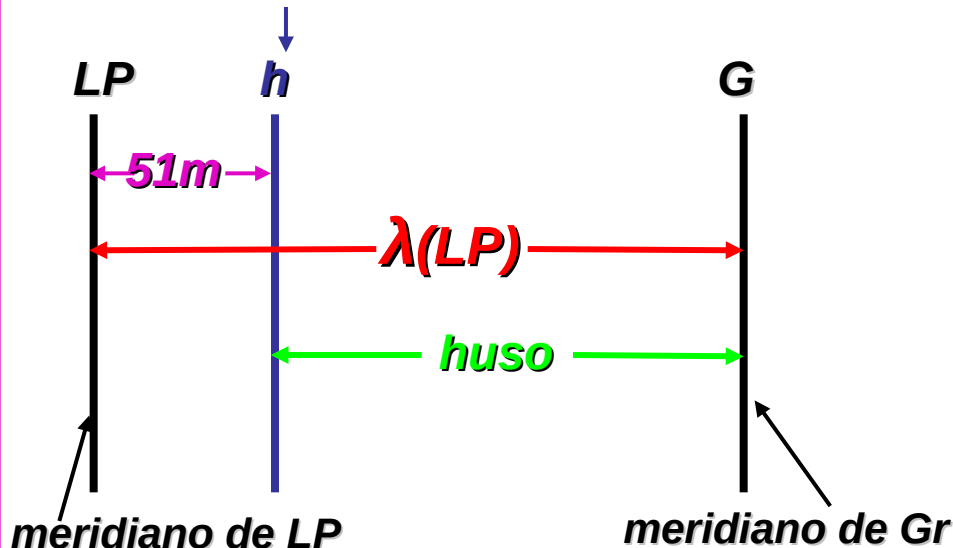
$$HL = TU \pm \text{huso} \rightarrow \text{el tomado por convención}$$

Argentina toma el TC del meridiano central del huso que está 3h al W de Gr como hora legal argentina (HLA), aunque geográficamente le corresponde el huso que está 4h al W de Gr

$$TC(\text{lugar}) \neq HL(\text{lugar})$$

ejemplo

meridiano central del huso
3 al oeste de Greenwich



$$\lambda(LP) = 3h 51m$$

$$\lambda(LP) - \text{huso} = 51m$$

$$TC(LP) = TC(G) - \lambda(LP)$$

$$TC(G) = TU$$

$$TC(LP) = TU - \lambda(LP) = TU - 3h 51m$$

$$HLA = TU - \text{huso} = TU - 3h$$

$$TC(LP) \neq HLA$$

el tiempo civil de un meridiano adoptado como fundamental, el TU, se extiende a toda la tierra mediante el sistema de husos horarios

todos los relojes del mundo deben indicar el mismo número de minutos y de segundos, difiriendo sólo en el número de horas

se adopta el meridiano central del huso 12 (meridiano de 180°), llamado antimeridiano internacional, como meridiano de cambio de fecha

una persona viajando hacia el este debe sumar a su reloj 1h cada vez que cambie de huso y restarle un día a la fecha del calendario cuando pase el huso 12

una persona viajando hacia el oeste debe restar a su reloj 1h cada vez que cambie de huso y sumarle un día a la fecha del calendario cuando pase el huso 12

tiempo sidéreo a cero hora de tiempo universal: $T_{sm}(Gr, 0hTU)$

$T_{sm}(Gr, 0hTU)$ es el tiempo sidéreo medio en Gr cuando el tiempo civil en Gr es 0h

$$T_{sm} = T\theta_m + \alpha \theta_m = TC - 12h + \alpha \theta_m$$

en Gr $\Rightarrow T_{sm}(Gr) = TC(Gr) - 12h + \alpha \theta_m$

si $TU = 0h \Rightarrow T_{sm}(Gr, 0hTU) = -12h + \alpha \theta_m \rightarrow$ se calcula

\downarrow
tabulado para cada día

el 21/3 γ_m y el sol medio culminan juntos en Gr $\Rightarrow T_{sm}(Gr, 21/3) = T\theta_m(Gr, 21/3)$

pero $TC = T\theta_m + 12h \Rightarrow T_{sm}(Gr, 21/9) = TC(Gr, 21/9)$

\downarrow
 $T_{sm}(Gr, 0hTU) = 0 \approx$ el 21/9

Correcciones al TU

TU0: determinado por un solo observatorio, sin correcciones

TU1: TU0 corregido por las variaciones del meridiano debidas al movimiento de los polos

TU2: TU1 corregido por las variaciones estacionales de la rotación de la tierra

TU2 no es uniforme! se define entonces el **tiempo de efemérides (TE)** en base el movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol

TE se define con las **efemérides del sol**, de ahí su nombre

fórmula que expresa la longitud media del sol en función del tiempo

TE

origen de la escala ($T=0$ en las efemérides del sol): instante cercano al comienzo del año 1900 = 1900 enero 0, a 4s de TU2

unidad de medida: **segundo de efemérides** = fracción $1/31\,556\,925,9747$ de un año trópico particular (en 1960 fue adoptado como unidad de tiempo en el SI)

día de efemérides = 86400s de las efemérides

TE es uniforme!

TU se puede corregir para obtener TE \Rightarrow **TE = TU + ΔT** de tabla

tiempo atómico (TA):

aunque el TE es uniforme, es muy lenta y delicada su determinación a partir de observaciones astronómicas

*se introduce entonces la **escala de tiempo atómico**, fácil de determinar y de mayor precisión que el TE*

origen de la escala: *instante cercano al comienzo del año 1958 en que $TA=TU_2$, 1958 enero 0, a 0.0039s de TU_2*

unidad de medida: **segundo atómico**= *intervalo de tiempo determinado por 9 192 632 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles del átomo de Cesio 133 (en 1967 fue adoptado como unidad de tiempo en el SI)*

tiempo universal coordinado (TUC)

escala de TA coordinado con el TU_2 de manera que se aparte lo menos posible de él

cuando es necesario se ajusta el TA al TU_2 agregando o quitando 1s

analema

trayectoria aparente del sol obtenida tomando fotografías del sol en un mismo lugar, a la misma hora, a intervalos regulares durante un año

a la misma hora del día



igual tiempo civil



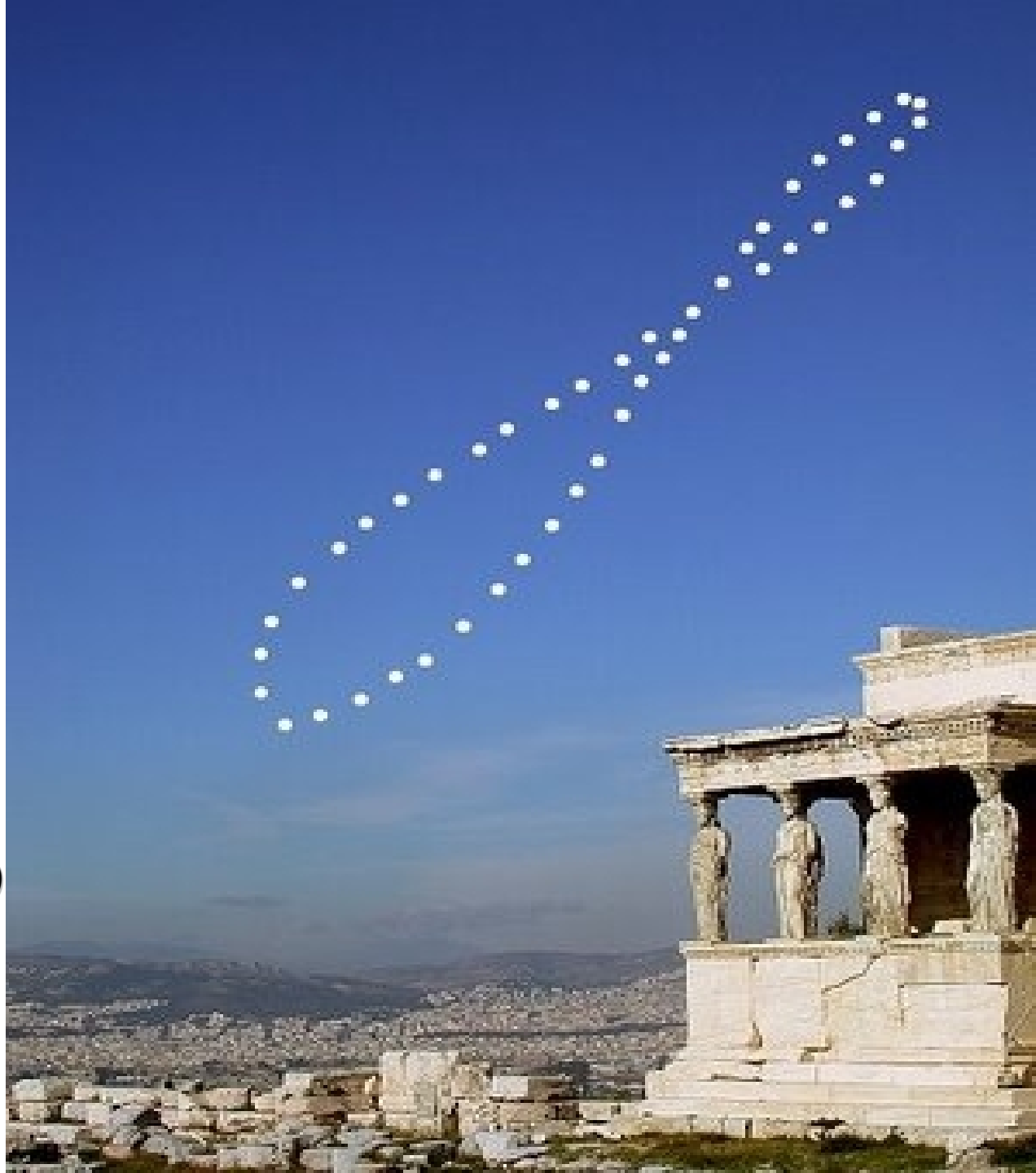
igual tiempo solar medio



analema es un gráfico de la posición del sol (verdadero) con respecto al sol medio



nos da información de la ecuación del tiempo



calendario

es una escala de tiempo subdividida en ciclos de tal manera que se adapte a las actividades sociales

la escala de tiempo adoptada y la estructura de ciclos es arbitraria

los ciclos adoptados históricamente (año, mes, día) tienen que ver con ciclos astronómicos basados en movimientos del sol o de la luna

según se utilicen los movimientos del sol, de la luna, o una combinación de ambos para construirlo, el calendario será solar, lunar o lunisolar

calendario juliano

basado en el calendario solar egipcio de 365 días solares medios introducido en Roma por Julio César en el año 46ac

1) se le agregaron 85 días al año 46ac que resultó de 445 días (año de la confusión) para corregir el defasaje con el ciclo natural de las estaciones

2) se adoptaron 3 años de 365 días solares medios, dividido en 12 meses de 31 y 30 días alternativamente, con febrero de 29

3) se adoptó 1 año bisiesto (los múltiplos de 4) de 366 días con un día agregado a febrero entre el 23 y el 24

el año del calendario juliano tenía en promedio 365,25 días solares medios

4) unos años después Marco Antonio introdujo una modificación a la duración de los meses que perdura hasta nuestros días

calendario gregoriano

basado en el calendario juliano de 365,25 días solares medios reformado por el papa Gregorio XIII en 1582 para que la Pascua se celebrase el primer domingo después del plenilunio siguiente al equinoccio de primavera, según lo determinado por el Concilio de Nicea en el año 325

1) el 4 de octubre de 1582 pasó a ser 15 de octubre (se omitieron 10 días)

2) se modificó el número de años bisiestos: ya no serían bisiestos los años seculares no divisibles por 400

el año del calendario gregoriano tiene en promedio 365,2425 días solares medios

adoptando un año de 365,2425 días en vez de 365,2422 el equinoccio de primavera se atrasará 1 día en 3300 años

período juliano

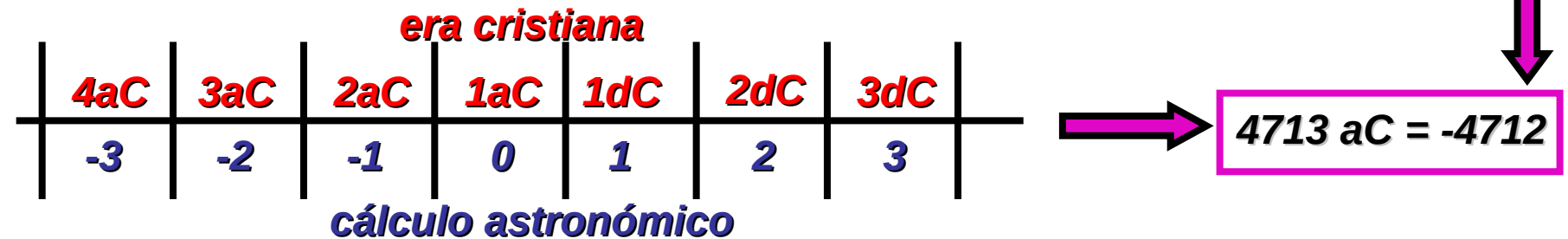
para evitar los inconvenientes de las reformas sufridas por los calendarios a lo largo de la historia al medir intervalos grandes de tiempo o estudiar fenómenos astronómicos muy extendidos en el tiempo se necesita una escala continua

José Scalinger creó en 1582 una escala continua de tiempo de **7980** años de 325,25 días solares medios

7980=19X28X15 { cada 19 años las fases lunares ocurren en las mismas fechas
cada 28 años los días de la semana caen en las mismas fechas
15 años es el período de indicción romana

unidad de medida: día solar medio

origen de la escala: mediodía medio en Greenwich del 1 de enero del año 4713 aC



primer día de la escala: día 0! (no 1)

la fecha juliana correspondiente a un instante dado es igual al número de días solares medios transcurridos desde el origen de la escala hasta el mediodía precedente al instante considerado, mas la fracción de día transcurrida desde ese mediodía hasta el instante dado