

## HORA SOLAR, HORA REFERIDA AL MERIDIANO DE GREENWICH Y HORA OFICIAL LOCAL

Si se conoce el número de horas de sol máximas  $N$ , para calcular las horas de salida y puesta del Sol referidas a la hora solar, simplemente habrá que considerar que como el valor central es el mediodía (a las doce hora solar, cuando el Sol se encuentra en su posición más elevada) la hora solar de la salida (orto) y de la puesta del Sol (ocaso), será el resultado de restar y sumar la mitad del número de horas de sol máximas al valor del mediodía:

$$12 - (N/2)$$
$$12 + (N/2)$$

Las horas anteriores hacen referencia a la hora solar. Es conveniente referir estas horas a un meridiano de referencia, el meridiano de referencia que se toma es el meridiano Internacional de Greenwich, tendríamos así la hora UTC (*Universal Coordinated Time*), también denominada GMT (*Greenwich Mean Time*). El uso de la hora UTC permite referir todos los datos recopilados en el mundo a dicho tiempo, evitando así la confusión y facilitando la sincronización de los datos de tiempo.

La hora UTC se obtiene considerando la longitud referida al meridiano de Greenwich. Para la corrección se debe considerar el sentido del giro de rotación de la Tierra, que la tierra da un giro de 360 grados en 24 horas (esto es, en una hora gira 15 grados); y si estamos a la izquierda o derecha del meridiano. Así, si Vigo "Estación INM Peinador" está a una longitud de  $8^{\circ}37'55''$  W ( $8,632^{\circ}$ W) y el Aeropuerto de la Costa Brava (Gerona) está a una longitud de  $2^{\circ}45'37''$  E ( $2,76^{\circ}$ E), para referir el mediodía solar a meridiano de Greenwich en ambos casos tendremos que preguntarnos que:

· Si estamos en el mediodía solar en Vigo qué hora tendríamos si estuviéramos en el meridiano Internacional de Greenwich. Pues la hora que tendríamos sería las 12 horas más el tiempo que ha tardado la Tierra en recorrer los 8,632 grados que separan el meridiano que pasa por Vigo al de Greenwich. Así:

360 grados  $\rightarrow$  24 horas

8,632 grados  $\rightarrow$  0,57 horas . Luego  $12 + 0,57 \text{ h} = 12,57 \text{ h} = 12 \text{ h } 34 \text{ minutos}$

· Si estamos en el mediodía solar en Gerona, qué hora tendríamos si estuviéramos en el meridiano Internacional de Greenwich. Pues la hora que tendríamos sería las 12 horas menos el tiempo que tardaría la Tierra en recorrer los 2,76 grados que separan el meridiano de Greenwich del meridiano que pasa por Gerona (Aeropuerto). Así:

360 grados  $\rightarrow$  24 horas

2,76 grados  $\rightarrow$  0,184 horas . Luego  $12 - 0,184 \text{ h} = 11,81 \text{ h} = 11 \text{ h } 48 \text{ minutos}$

En general, la hora referida al meridiano de Greenwich (UTC) será:

Hora UTC =  $H_s + CM$

$H_s$  = hora solar

$CM$  = corrección de longitud en horas considerando que a cada hora le corresponde 15 grados. Si el punto está al Oeste del Meridiano de Greenwich la corrección será positiva y si está el Este negativa.

La hora oficial de cada país se fija añadiendo a la hora UTC el valor correspondiente según su localización (husos horarios). En España (peninsular) la hora local se obtiene sumando una hora (en invierno) y dos horas (en verano) a la hora UTC.

Ejemplo:

\_\_\_ Sabiendo que la longitud del Meridiano de Madrid es de  $3^{\circ} 41' 16''$  se pide determinar la hora oficial correspondiente al mediodía (12 h. hora solar) del día 15 de Junio.

Hora UTC = Hs + CM

360 grados  $\rightarrow$  24 horas

$3.68777^{\circ} \rightarrow 0,2458$ . Luego  $12 + 0,246 \text{ h} = 12.24 \text{ h} = 12 \text{ h } 14 \text{ minutos}$

\_\_\_ Determine la hora UTC y local de salida y puesta del Sol del día 15 de Junio para el observatorio de Madrid. -Datos:

	15 de Junio
Longitud = $3.6877^{\circ} \text{ W}$	
Latitud = $40.4583^{\circ} \text{ N}$	
Día del año	166
Declinación (radianes)	0.41
Declinación (grados)	23.3
Ángulo horario (grados)	112.82
Núm. horas sol máximas	15.04

El número de horas de sol máximas es de 15.04 h luego la hora de salida y puesta del Sol es:

Salida  $12 - (15.04/2) = 4.48$

Puesta  $12 + (15.04/2) = 19.52$

La hora UTC será:

360 grados  $\rightarrow$  24 horas

$3.68777^{\circ} \rightarrow 0,2458$ . Luego:

$4.48 + 0,246 \text{ h} = 4.726 \text{ h} = 4 \text{ h } 43 \text{ minutos}$

$19.52 + 0,246 \text{ h} = 19.76 \text{ h} = 19 \text{ h } 45 \text{ minutos}$

## ECUACIÓN DEL TIEMPO. SALIDA Y PUESTA DEL SOL APARENTE

En el cálculo que hemos realizado no hemos considerado dos efectos que nos permiten calcular las horas de salida y puesta del Sol con una mejor aproximación a los valores que realmente apreciamos.

Ecuación del tiempo: es un término astronómico que hace referencia a los cambios que se produce a lo largo del año en la duración del giro de la Tierra. El valor depende del día del año y se puede obtener gráficamente o mediante una formulación, el valor obtenido en minutos se debe restar con su símbolo al valor de orto y ocaso obtenido.



Máximos: 15 de Mayo (3,93) y 1 de Noviembre (16,38)

Mínimos: 14 de Febrero (-14,26) y 28 de Julio (-6,59)

Cero: 16 de Abril, 15 de Junio, 2 de Septiembre y 26 de Diciembre

Tabla: Estimación del valor de la ecuación del tiempo en minutos (EcT) para los diferentes días del año. El día del año se computa desde el uno de Enero.

Día	Ec.T	Día	Ec.T	Día	Ec.T	Día	Ec.T	Día	Ec.T	Día	Ec.T
1	-2,9	70	-10,7	140	3,8	210	-6,6	280	12,4	350	4,5
5	-4,7	75	-9,4	145	3,4	215	-6,4	285	13,7	355	2,2
10	-6,7	80	-7,9	150	2,8	220	-5,9	290	14,8	360	-0,2
15	-8,6	85	-6,3	155	2,1	225	-5,2	295	15,7	365	-2,5
20	-10,3	90	-4,7	160	1,2	230	-4,3	300	16,2		
25	-11,7	95	-3,1	165	0,2	235	-3,1	305	16,4		
30	-12,8	100	-1,6	170	-0,9	240	-1,6	310	16,2		
35	-13,6	105	-0,2	175	-2,0	245	0,0	315	15,8		
40	-14,1	110	1,0	180	-3,1	250	1,7	320	15,0		
45	-14,3	115	2,0	185	-4,0	255	3,5	325	13,8		
50	-14,1	120	2,9	190	-4,9	260	5,4	330	12,4		
55	-13,6	125	3,5	195	-5,7	265	7,3	335	10,7		
60	-12,9	130	3,8	200	-6,2	270	9,1	340	8,8		
65	-11,9	135	3,9	205	-6,5	275	10,8	345	6,7		

### Salida y puesta del Sol aparentes:

La duración del día viene definida entre la salida y la puesta del Sol, y se puede calcular, como hemos visto, a partir del ángulo horario  $w$ :

$$N = w / 7.5$$

El ángulo horario  $w$  lo se ha definido a partir de la latitud  $\Phi$  y la declinación  $\delta$ :

$$w = \cos^{-1} [ (- \sin \delta \cdot \sin \Phi) / (\cos \Phi \cdot \cos \delta) ]$$

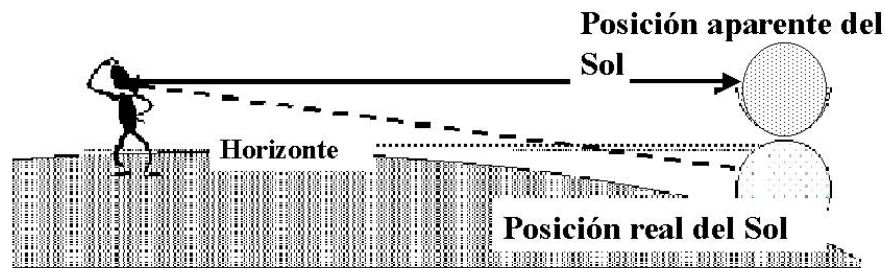
Esta ecuación puede ser modificada al incluir diferentes definiciones de la duración del día. Las diferentes definiciones se sustentan en la consideración de la posición del Sol con respecto al horizonte

( $\Psi$ , elevación del Sol con respecto al horizonte a la salida del Sol). La introducción de este valor modifica la ecuación anterior, adoptando la expresión:

$$w = \cos^{-1} [\sin \Psi - \sin \delta \cdot \sin \Phi] / [\cos \Phi \cdot \cos \delta]$$

El valor de la elevación del Sol,  $\Psi$ , con respecto al horizonte será cero cuando la salida y puesta del Sol ocurre cuando el centro del Sol está en el horizonte (salida o puesta del Sol teórica). Cuando la salida y la puesta del Sol ocurre cuando la parte más alta del Sol está aparentemente en el horizonte, se define la salida y puesta de Sol aparente. El efecto provoca que el intervalo del ángulo horario aumente, de forma que el amanecer aparente ocurre antes que el real (lo mismo podemos decir para el anochecer). El ángulo horario tomando en consideración la salida y puesta de Sol aparentes será:

$$w = \cos^{-1} [\sin (-0,833) - \sin \delta \cdot \sin \Phi] / [\cos \Phi \cdot \cos \delta]$$



El valor de la duración del día considerando la salida y puesta de Sol aparente es adoptado por el Observatorio Astronómico Nacional y el *US Naval Observatory*.

La fórmula del ángulo horario también puede ser modificada al considerar el efecto del "twilight" (crepúsculo). El "twilight" (o crepúsculo) es el nombre dado al tiempo después de la puesta del Sol (e inmediatamente antes de la salida) durante el cual la luz está presente. La elevación del Sol con respecto al horizonte ( $\Psi$ ) adopta los valores de  $-6^\circ$ ,  $-12^\circ$  ó  $-18^\circ$  cuando se toma en consideración el "twilight" (civil, militar ó astronómico, respectivamente).

En general, para el cálculo de las horas de salida y puesta de Sol se toma en consideración la ecuación del Tiempo y la salida y puesta del Sol aparente. También se puede considerar el efecto de la altitud relativa con respecto al entorno. Así si se está en una zona elevada aislada (por ejemplo una colina) el Sol aparecerá antes, el efecto será nulo si estamos rodeados de montañas de igual altura. Para considerar el efecto de la elevación y de la refracción de la atmósfera (Christopher Gronbeck. Web: SunAngle) se puede introducir el concepto de ángulo de elevación (A),

$$A = -0.8333 - 0.347 \cdot (\text{elevación relativa en metros}) / 0.5$$

Considerando el efecto de la altitud relativa y considerando que la salida y la puesta del Sol ocurre cuando la parte más alta del Sol está aparentemente en el horizonte. El ángulo horario "w" será:

$$w = \arcsin [-1 \cdot (\text{seno}(\phi) \cdot \text{seno}(\delta) - \text{seno}(-0.8333 - 0.0347 \cdot (\text{ángulo de elevación}) / 2)) / (\text{coseno}(\phi) \cdot \text{coseno}(\delta))]$$