

**ASTRONOMÍA GENERAL**

**APUNTES DE TRABAJOS PRÁCTICOS**

**PRÁCTICA 6 - Parte I**

**Movimiento anual aparente del Sol**

MARÍA LAURA ARIAS Y ROBERTO VENERO  
JEFES DE TRABAJOS PRÁCTICOS DE LA CÁTEDRA



Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

LA PLATA, ARGENTINA  
- 2021 -

## 1. La órbita de la Tierra

Además de rotar sobre su eje, la Tierra también se traslada alrededor del Sol en el movimiento que llamamos **traslación**. La trayectoria cerrada que recorre la Tierra alrededor del Sol en el espacio, es su **órbita**.

La órbita de la Tierra no es una circunferencia (órbita circular, Figura 1 izquierda), sino que su forma geométrica se llama **elipse** (órbita elíptica, Figura 1 derecha). En una órbita elíptica, el Sol no se encuentra en el centro, sino en uno de los focos de la elipse, como se ve en el dibujo. Aunque la órbita de la Tierra es una elipse, no es tan achatada como se ve en la figura, cuya forma está muy exagerada.

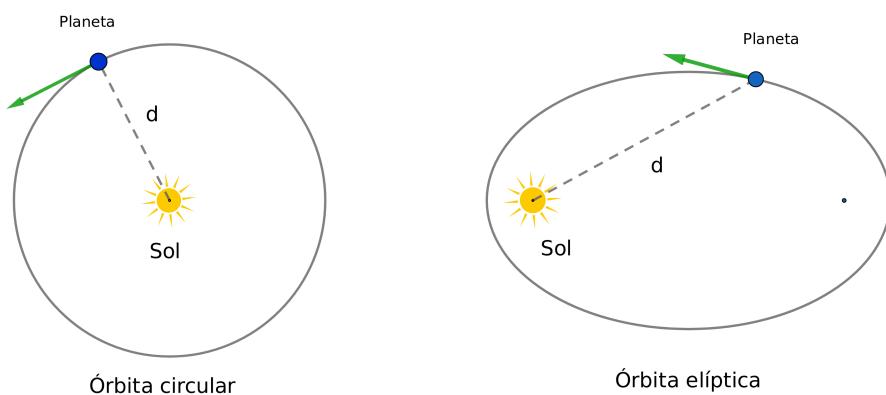


Figura 1. Este gráfico muestra dos tipos de órbitas: una órbita circular y una órbita elíptica. La flecha indica el movimiento del planeta. En la primera, la distancia entre el planeta y el Sol permanece constante. En la segunda, la distancia va cambiando. Noten que el Sol no se encuentra en el centro de la elipse, sino desplazado hacia un costado (foco de la elipse).

Si la órbita de la Tierra fuera circular, la distancia entre el Sol y la Tierra se mantendría constante. Pero como la órbita es elíptica, en algunos tramos, la Tierra se encuentra más cerca al Sol que en otros. El punto de la órbita terrestre en el cual la Tierra se encuentra a la mínima distancia al Sol se llama **perihelio**. La Tierra alcanza esa posición alrededor del 4 de enero<sup>1</sup>. En ese caso, su distancia al Sol es, aproximadamente, de 147.100.000 km. Alrededor del 4 de julio, la separación entre la Tierra y el Sol es máxima, cerca de 152.100.000 km. A ese punto de la órbita se lo llama **afelio** (Figura 2).

La diferencia entre las dos distancias extremas (perihelio y afelio) es de 5.000.000 km. Por lo tanto, en enero, nos encontramos unos cinco millones de kilómetros más cerca del Sol que en julio. En términos humanos, esa distancia parece enorme pero, en comparación con la distancia media (distancia promedio) que equivale a **150 millones**

<sup>1</sup>La fecha cambia uno o dos días, según el año

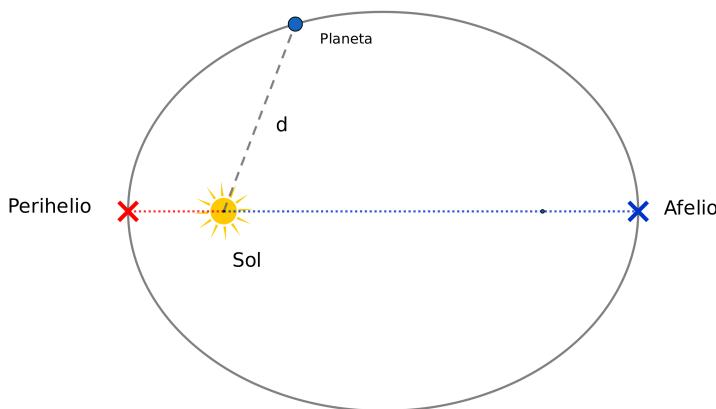


Figura 2. El punto más cercano de la órbita terrestre al Sol es el perihelio (rojo). El punto más alejado es el afelio (azul).

**de kilómetros** (1 unidad astronómica o UA), 5 millones no representa un cambio importante. De hecho, esa diferencia de distancia entre el Sol y la Tierra no tiene ningún efecto apreciable por la gente, ni ninguna influencia sobre el clima. Como veremos luego, es importante resaltar que esa diferencia **no es la causa de las estaciones**.

Como la distancia más corta al Sol de la órbita de la Tierra se da en enero (verano en el Hemisferio Sur), se podría suponer, erróneamente, que esa proximidad es la razón por la que hace calor en verano. Ese es uno de los errores más frecuentes de la gente. Debemos recordar que, cuando en el Hemisferio Sur es verano, en el Hemisferio Norte es invierno. Por lo tanto, si todo el planeta Tierra se encuentra a la misma distancia del Sol, no podría haber **estaciones opuestas en ambos hemisferios**. En la sección 4 entenderemos la verdadera causa de las estaciones.

## 2. La eclíptica y el movimiento anual del Sol

La órbita de la Tierra es plana. Toda la trayectoria está contenida en un plano imaginario que se llama **plano de la eclíptica**. Este plano corta a la esfera celeste en una circunferencia máxima que se llama la **eclíptica** (figura 3).

Las constelaciones que se encuentran en la esfera celeste, sobre las cuales pasa la eclíptica son llamadas las **constelaciones del zodíaco**. Estas constelaciones son 13 y sus nombres son: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Ophiuco, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. En la figura 4 podemos ver a la Tierra girando alrededor del Sol sobre el plano de la eclíptica. Sobre la esfera celeste, a lo largo de la línea de la eclíptica, se encuentran las constelaciones del zodíaco, que se representan de manera esquemática en la figura.

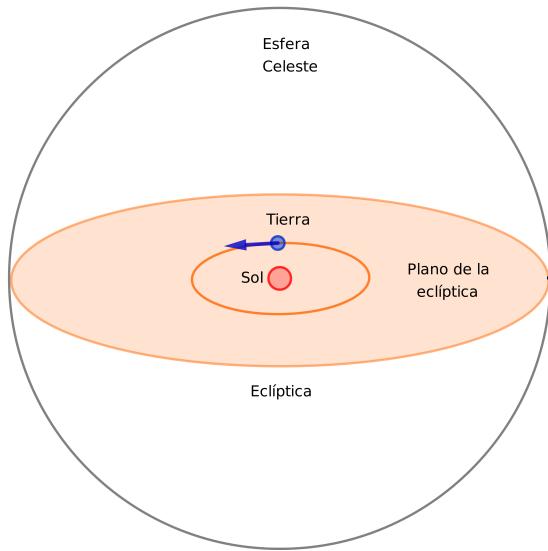


Figura 3. La órbita de la Tierra se encuentra sobre el plano de la eclíptica (superficie coloreada en el gráfico). Si extendemos el plano de la eclíptica hasta cortar la esfera celeste, la línea con que se intersectan es la línea de la eclíptica o, simplemente, eclíptica. En esta figura se ha puesto al Sol en el centro de la esfera celeste. Esto es posible porque la esfera celeste es muchísimo más grande que la órbita de la Tierra y, para los conceptos que veremos, resulta válida esta aproximación.

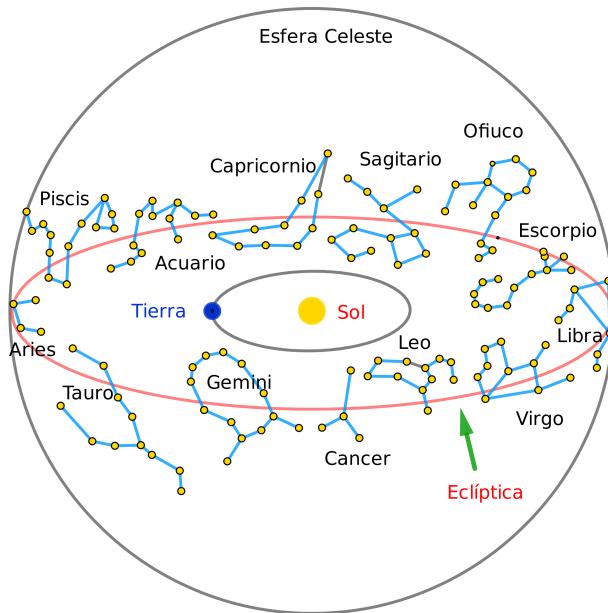


Figura 4. Figura esquemática que muestra que las constelaciones del zodíaco se encuentran sobre la eclíptica (línea roja).

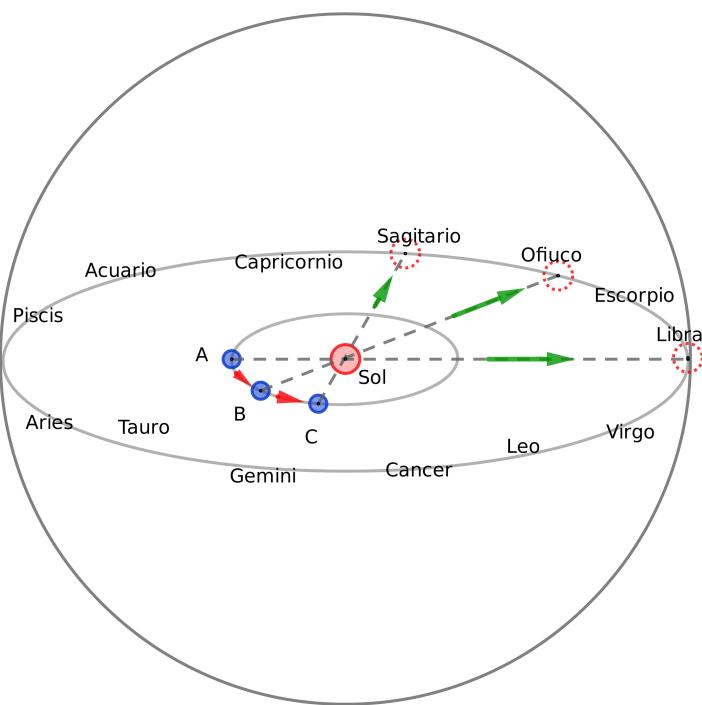


Figura 5. A medida que la Tierra se desplaza en su órbita (de la posición A a la posición B y luego a la C), el Sol parece moverse entre las constelaciones que se encuentran sobre la eclíptica. Desde la posición A, vemos al Sol (las flechas verdes indican la visual) frente a la constelación de Libra (círculo rojo punteado). Al llegar a la posición B, el Sol se ha desplazado aparentemente a la constelación de Ophioco. En la posición C, el Sol está frente a Sagitario y así sucesivamente.

En la figura 5 vemos el mismo esquema que antes pero simplificado (sólo se indican los nombres de las constelaciones). Consideremos el movimiento de la Tierra, en este gráfico, durante algunos meses del año. Si, desde la posición A de la Tierra, miramos hacia el Sol, lo veremos frente a la constelación de Libra (círculo rojo de trazos). Luego de un tiempo, si la Tierra se desplaza a la posición B, veremos ahora al Sol frente a la constelación de Ophioco (previamente habrá pasado por Escorpio). Luego, en la posición C, el Sol estará frente a la constelación de Sagitario. Así podríamos continuar marcando más posiciones y viendo hacia qué dirección se movería aparentemente el Sol.

Por lo tanto, a medida que la Tierra se mueve en su órbita alrededor del Sol vemos que, aparentemente, **el Sol se va desplazando entre las constelaciones del zodíaco**.

Al completar el año, el Sol ha pasado por todas las constelaciones del zodíaco. Este desplazamiento es una **consecuencia** directa del movimiento de traslación de la Tierra. Si la Tierra estuviera fija en el espacio, no veríamos al Sol moverse entre las constelaciones del zodíaco a lo largo del año.

Volviendo a la Figura 5, durante las noches que ocurren cuando la Tierra está en la posición A, veremos las constelaciones que están opuestas a la posición del Sol, por ejemplo, Piscis, Aries o Tauro (y constelaciones próximas como Orión). En ese caso, las constelaciones Escorpio, Libra y Ophiuco están en el cielo durante el día, por lo cual no es posible verlas. Entonces, a lo largo del año, vamos a poder ver distintas constelaciones en el cielo nocturno.

### 3. El eje de rotación y el plano de la eclíptica

La Tierra se traslada alrededor del Sol sobre el plano de la eclíptica. A medida que se traslada, va rotando sobre su propio eje. El sentido giro de la traslación terrestre es el mismo que el de la rotación. Es decir, **la Tierra rota y se traslada en sentido directo** (sentido antihorario visto desde el PN), que puede deducirse fácilmente siguiendo la regla de la mano derecha (se apunta con el pulgar derecho al PN y el sentido directo será el sentido en que cierra el puño).

¿Cómo se encuentra orientado el eje de rotación respecto al plano de la eclíptica?

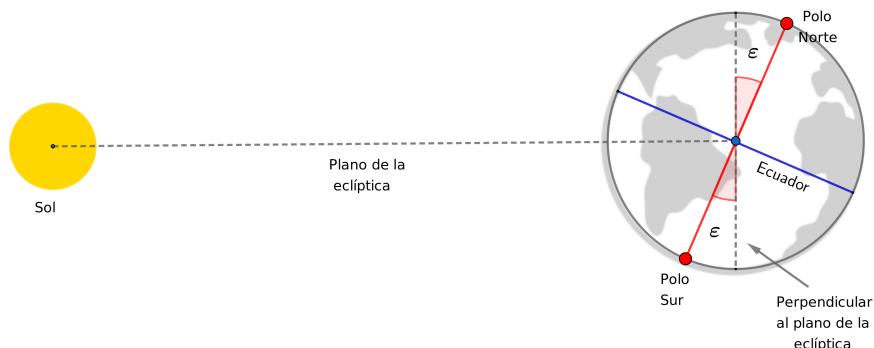


Figura 6. El eje de rotación terrestre (en rojo) se encuentra inclinado en un ángulo  $\varepsilon$  respecto a una línea perpendicular al plano de la eclíptica (línea vertical). El ángulo  $\varepsilon$  se llama oblicuidad de la eclíptica y vale  $23^{\circ}27'$ .

Para entenderlo, podemos tomar como referencia a una línea que sea perpendicular al plano de la eclíptica. En la figura 6 vemos un esquema de la Tierra y el Sol (fuera de escala), ambos sobre el plano de la eclíptica, visto de perfil (por eso se lo representa con una línea). El eje de la Tierra (línea roja) se encuentra inclinado respecto a la línea perpendicular a la eclíptica, en un ángulo  $\varepsilon$ . El ángulo  $\varepsilon$  se llama **oblicuidad de la eclíptica** e indica cuán inclinado está el eje de rotación de la Tierra respecto a su plano orbital. Su valor es de  $23^{\circ}27'$ .

A lo largo de un año, **la inclinación del eje de la Tierra no cambia**. El eje terrestre siempre apunta en la misma dirección de la esfera celeste. De este modo, el Polo Norte Celeste queda en la constelación de la Osa Menor, en un punto muy cercano a la estrella Polaris (estrella polar). El Polo Sur Celeste se encuentra en la constelación

Octante, cerca de una estrella débil llamada  $\sigma$  Octantis. A medida que la Tierra se traslada alrededor del Sol, la dirección del eje de rotación se mantiene fija, siempre apuntando en las direcciones indicadas<sup>2</sup>.

Resulta muy útil representar al plano de la eclíptica y al ecuador juntos en la esfera celeste. En la figura 7 se grafican el ecuador y la eclíptica, con sus respectivos ejes perpendiculares. La recta que resulta de la intersección entre plano de la eclíptica y el plano del ecuador se llama **línea de los nodos**.

Sobre la esfera celeste, las circunferencias máximas que representan al ecuador y a la eclíptica se intersectan en dos puntos (o nodos), llamados **equinoccios**, que están justamente sobre la línea de los nodos. Uno de ellos es el **punto vernal o punto Aries ( $\Upsilon$ )**, que corresponde al **nodo ascendente**, es decir el punto en el cual el Sol, en su movimiento aparente, cruza el ecuador de sur a norte. El otro equinoccio se llama **punto Libra ( $\Omega$ )**, tal como se muestra en la figura 7. Resulta claro que el ángulo que forma el plano del ecuador con el plano de la eclíptica es la **oblicuidad de la eclíptica** ( $23^\circ 27'$ ).

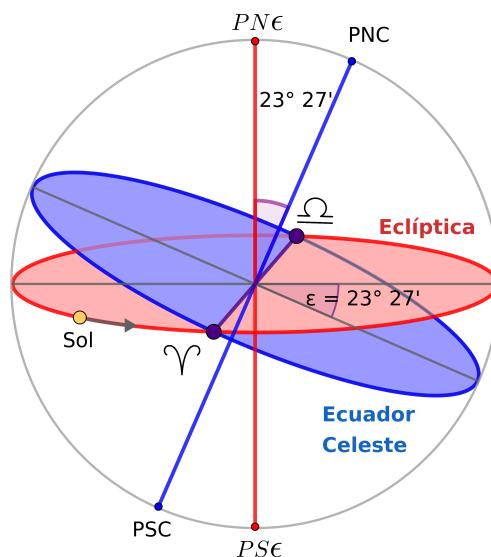


Figura 7. Planos del ecuador (azul) y la eclíptica (roja) y sus polos correspondientes. El eje PNC-PSC es perpendicular al ecuador y el eje PNe-PSe (polo norte y polo sur eclíptica) es perpendicular a la eclíptica. El ángulo entre el ecuador y la eclíptica es igual al ángulo entre los ejes correspondientes a cada plano y vale  $23^\circ 27'$ .

Como ya sabemos, los puntos cardinales este y oeste corresponden a la intersección de las circunferencias máximas que representan el ecuador y el horizonte. De la misma forma, los equinoccios o puntos Libra ( $\Omega$ ) y Aries ( $\Upsilon$ ) corresponderán a los puntos de intersección del ecuador con la eclíptica. Además **los puntos que se encuentran**

<sup>2</sup>Esto es válido en plazos de algunas décadas, ya que el movimiento de precesión va cambiando muy lentamente la posición de los polos celestes.

sobre la eclíptica a  $90^\circ$  de los equinoccios, son los solsticios.

El movimiento anual aparente del Sol en la esfera celeste se da sobre la eclíptica, **en sentido directo**. En este movimiento aparente, la separación angular del Sol respecto del ecuador, es decir, su declinación, irá variando a lo largo del año. De este modo, los valores que toma la declinación serán:

$$\text{Equinoccios: } \delta_{\odot} = 0^\circ$$

ya que estos puntos también se encuentran sobre el ecuador.

$$\text{Solsticios: } \delta_{\odot} = \pm 23^\circ 27'.$$

En la notación usada,  $\odot$  es el símbolo del Sol.

## 4. Las estaciones

La consecuencia más importante de la inclinación constante del eje terrestre y, por ende, de las distintas posiciones del Sol respecto al ecuador celeste, es la sucesión de las **estaciones**. Para entender por qué se producen las cuatro estaciones, miremos la figura 8. En esta figura se representa a la Tierra en cuatro posiciones alrededor del Sol, con su eje a  $23^\circ 27'$ , siempre inclinado de la misma manera, es decir, manteniéndose paralelo a sí mismo en todo punto de la órbita.

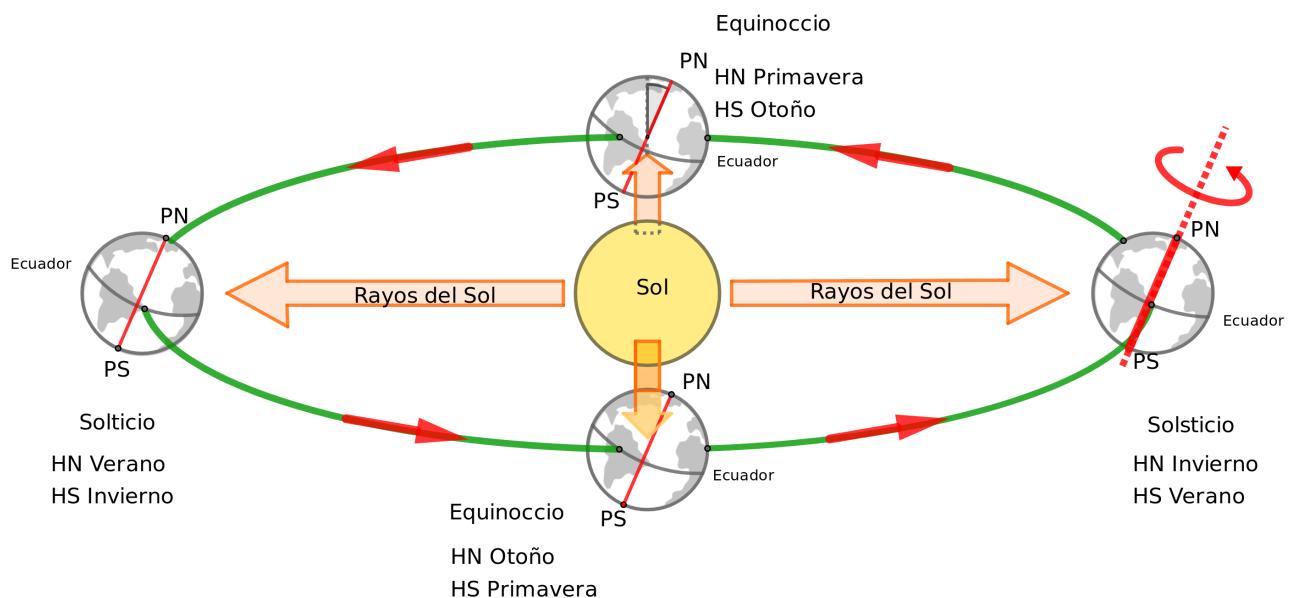


Figura 8. Cuatro posiciones de la Tierra en su órbita alrededor del Sol (fuera de escala). En este gráfico hemos puesto al Sol en el centro de la esfera dado que es una aproximación válida para este caso. Las posiciones a izquierda y a derecha corresponden a los solsticios, mientras que las dos restantes, a los equinoccios.

Como el eje de rotación está inclinado, la posición del Sol respecto al Ecuador de la Tierra va cambiando a lo largo del año, como se explicó en la sección anterior. En la posición de la derecha, la declinación del Sol es negativa y vale  $23^{\circ}27'$ . Por lo tanto, se encuentra sobre el Hemisferio Sur (flecha larga naranja). Esa posición de la Tierra en la órbita corresponde a uno de los **solsticios**.

En la posición de la Tierra que está a la izquierda de la figura 8, el Sol está desplazado respecto al Ecuador con una declinación positiva de  $23^{\circ}27'$  (flecha larga naranja). Por lo tanto, se encuentra sobre el Hemisferio Norte. Esa posición corresponde al otro solsticio.

Las otras dos posiciones que muestra la figura son intermedias. En ellas el Sol está cruzando sobre el Ecuador de sur a norte o de norte a sur (flechas cortas naranja). Esas posiciones con declinación nula son los **equinoccios**.

Por lo tanto, a lo largo del año, debido a la inclinación constante del eje, el Sol oscila a un lado y al otro del Ecuador. Primero el Sol se encuentra sobre el Hemisferio Sur (solsticio), luego se va desplazando hasta cruzar el Ecuador (equinoccio). Luego pasa al Hemisferio Norte (solsticio). A continuación, vuelve su camino para cruzar el Ecuador (equinoccio) en dirección contraria, avanzando sobre el Hemisferio Sur. De esta manera completa el ciclo en un año.

Las latitudes extremas de cada hemisferio sobre las cuales está el Sol en cada uno de los solsticios se llaman **Trópicos** (figura 9). En el Hemisferio Sur, se encuentra el Trópico de Capricornio, cuya latitud es exactamente  $23^{\circ}27'$  Sur, similar a la oblicuidad de la eclíptica. Una persona ubicada en ese trópico, al mediodía del 21 de diciembre, tendrá al Sol exactamente sobre su cabeza, en el cenit. Ese solsticio marca el inicio del verano para el Hemisferio Sur (y el inicio del invierno para el Hemisferio Norte).

Del mismo modo, en el Hemisferio Norte se encuentra el Trópico de Cáncer, a  $23^{\circ}27'$  Norte. Su solsticio tiene lugar el 21 de junio y corresponde al inicio del invierno en el Hemisferio Sur y al comienzo del verano en el Hemisferio Norte. Ese día, al mediodía, una persona ubicada en el Trópico de Cáncer tiene el Sol exactamente en el cenit, sobre su cabeza.

El equinoccio que ocurre después del solsticio de diciembre (posición de arriba en la figura 8) tiene lugar, aproximadamente, el 21 de marzo. En esa fecha, comienza el otoño en el Hemisferio Sur y la primavera en el Hemisferio Norte. El otro equinoccio ocurre, aproximadamente, el 21 de septiembre, con las estaciones opuestas en ambos hemisferios. En los dos casos, un observador parado sobre el Ecuador tiene al Sol exactamente sobre su cabeza, en el cenit, al mediodía.

Entonces, vemos que las estaciones de los hemisferios Norte y Sur de la Tierra siempre son opuestas. Cuando en uno es verano, en el otro es invierno. Cuando en uno es primavera, en el otro es otoño. Esto sería imposible de explicar si se supusiera (erróneamente) que las estaciones se originan por un cambio de distancia entre la Tierra y el Sol. En ese caso, toda la Tierra estaría más lejos o más cerca del Sol y no habría estaciones diferentes.

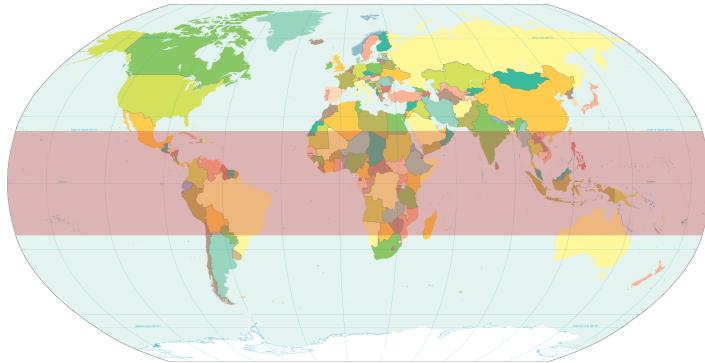


Figura 9. *Región de la Tierra comprendida entre el Trópico de Cáncer al norte y el Trópico de Capricornio al sur, entre los cuales se desplaza el Sol debido a la inclinación del eje terrestre.*

## 5. Duración del día a lo largo del año

Nos preguntamos ¿por qué hace calor en verano y frío en el invierno?

Como vimos en la sección anterior, el Sol está sobre el Ecuador durante los equinoccios y se aparta del mismo hacia los trópicos, durante los solsticios. Concentrémonos en uno de los solsticios y estudiemos en detalle las diferencias que perciben dos observadores simultáneos, uno en el Hemisferio Norte y otro en el Hemisferio Sur. Esa representación puede verse en la figura 10.

La figura 10 muestra al observador 1 que se encuentra en el Hemisferio Norte, incluyendo su horizonte y la mitad superior de la esfera celeste que este observador puede ver (incluido su cenit). En cambio, el observador 2 se encuentra en el Hemisferio Sur (aproximadamente a la latitud opuesta respecto al Ecuador) y tiene su propio horizonte y (media) esfera celeste. Muy lejos de ambos, hacia la izquierda del gráfico, se encuentra el Sol (fuera de escala). Los dos observadores están sobre un mismo meridiano y para ambos es la hora del mediodía.

Resulta claro de esta figura que, estando en el mediodía, ambos observadores verán, simultáneamente, al Sol a **distintas alturas sobre sus propios horizontes**. El observador 2 verá al Sol más cerca de su cenit que el observador 1. La posición del Sol en el cielo durante el mediodía para cada observador depende del hemisferio donde se encuentre y de la estación en la que esté.

La diferencia de altura alcanzada por el Sol en las distintas estaciones puede explicarse a partir de su separación respecto al ecuador celeste.

Día tras día, veremos al Sol ubicado a una separación angular diferente del ecuador. Es decir, la coordenada declinación del Sol varía a lo largo del año, como consecuencia del movimiento de traslación de la Tierra. Por ello el arco diurno que describirá el Sol en la esfera celeste también será diferente a lo largo del año. Dado que la eclíptica está inclinada respecto del ecuador en un ángulo de  $23^\circ 27'$ , la **declinación del Sol varía, durante el año, entre un valor mínimo  $\delta_{\odot} = -23^\circ 27'$  y un valor máximo  $\delta_{\odot} = 23^\circ 27'$** , pasando por todos los valores intermedios a estos y, en particular, con

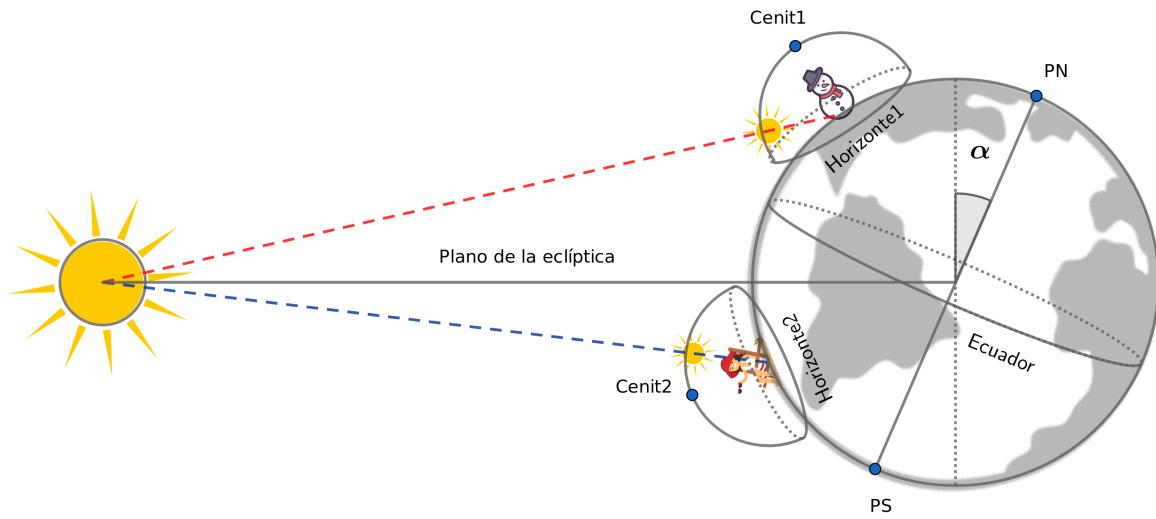


Figura 10. Dos observadores simultáneos ubicados en ambos hemisferios observan que el Sol se encuentra a distinta altura respecto a sus propios horizontes. El observador 1 se encuentra en el Hemisferio Norte, y ve al Sol bastante cerca de su horizonte (línea a trazos roja), es decir muy bajo en el cielo. En cambio, el observador 2 que se encuentra en el Hemisferio Sur, ve al Sol bastante elevado respecto a su propio horizonte (línea a trazos azul). Tengan en cuenta que ambos observadores están en el mismo meridiano terrestre y ambos están viendo al Sol en el mismo momento del día (mediodía).

un valor  $\delta_{\odot} = 0^{\circ}$  en los equinoccios.

En la figura 11 vemos en una sola esfera celeste, correspondiente a un observador ubicado en una latitud sur intermedia, los arcos diurnos del Sol para las fechas aproximadas de los solsticios y los equinoccios. La figura 12 muestra, de manera simplificada, la mitad de la esfera celeste y los arcos diurnos que recorre el Sol en distintos momentos del año.

Aproximadamente el día 21/6, el Sol está en el **solsticio de invierno** para el hemisferio sur ( $\delta_{\odot} = 23^{\circ} 27'$ ). Ese día, el arco que describe el Sol por encima del horizonte es el menor del año, es decir corresponde al **día con menor cantidad de horas de luz solar**. Además, la altura máxima que alcanza el Sol sobre el horizonte durante el día es también la menor del año. *Notemos que la altura máxima del Sol, se da cuando este cruza el meridiano superior del lugar.*

Aproximadamente el día 21/12, el Sol está en el **solsticio de verano** para el hemisferio sur ( $\delta_{\odot} = -23^{\circ} 27'$ ). Ese día, el arco que describe el Sol por encima del horizonte es el mayor del año, es decir corresponde al **día de mayor cantidad de horas de luz solar**. Además, la altura máxima del Sol también es la mayor del año.

Cuando el Sol está en uno de los **equinoccios** (aproximadamente el 21/3 o el 21/9) su declinación es  $0^{\circ}$ , por tanto ese día el arco diurno que describe el Sol coincide

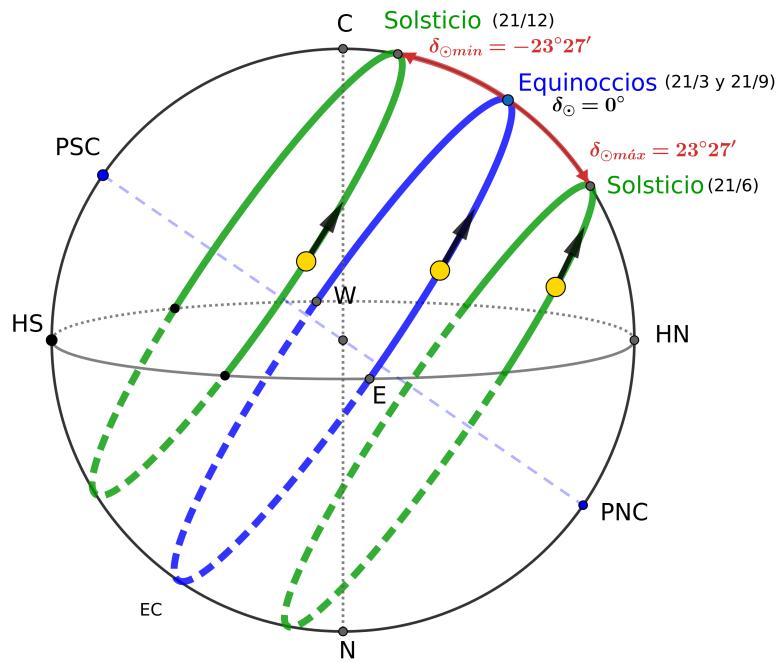


Figura 11. Arcos diurnos del Sol durante los equinoccios y los solsticios de invierno y verano para un observador ubicado en una latitud sur. Recordemos que el movimiento diurno del Sol, es decir el movimiento reflejo de la rotación terrestre, se da de este a oeste, como lo indican las flechas.

con el ecuador. El Sol estará, entonces, **12 hs por debajo y 12 hs por encima del horizonte**. Saldrá exactamente por el punto cardinal este y se pondrá exactamente por el punto cardinal oeste.

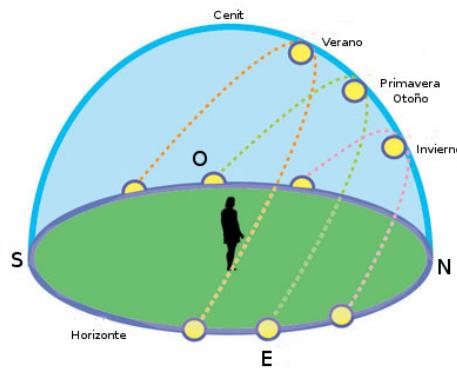


Figura 12. *Un observador ve diferentes caminos del Sol en el cielo a lo largo del día, de acuerdo a la estación del año en la que se encuentra.*

## 6. Apéndice: El horóscopo y otras tonterías

Los astrólogos asignan a las personas un “signo astrológico” por su fecha de nacimiento. Esa idea se corresponde con lo que explicamos en la sección anterior: a lo largo del año, el Sol va pasando aparentemente entre las constelaciones del zodíaco. Entonces, los astrólogos dicen que la personalidad o el destino de una persona está influida o signada, principalmente, por la constelación frente a la cual se encuentra el Sol en el momento de su nacimiento. Por ejemplo, una persona es del signo “Leo” si nació cuando el Sol estaba frente a la constelación de Leo o es de “Libra” si nació cuando el Sol estaba frente a la constelación de Libra. Según la astrología, cada ser humano tendrá características de personalidad, de salud, de suerte, etc., de acuerdo a esta simple causa: nacer con el Sol frente a alguna constelación del zodíaco.

En base a esa idea absurda, los astrólogos pretenden predecir el futuro de las personas o las características de sus personalidades. Para disfrazar un poco lo árido de esa explicación, suponen además otras “influencias” secundarias en base a los planetas y sus posiciones en el cielo. Con eso construyen cartas astrales y horóscopos (Figura 13) que no tienen ningún valor científico.



Figura 13. Ejemplo de horóscopo (ojalá todos fueran así).

Pero si la idea de la influencia del Sol en una constelación zodiacal sobre un bebé recién nacido parece “agarrada de los pelos”, el horóscopo tiene otros “problemitas” bastante críticos.

Un inconveniente es que no tienen en cuenta un signo para “Ofiuco”. Esta constelación (Ophiuchus) representa a un hombre que sostiene una serpiente (Figura 14), es decir, es un serpentario (ser mitológico) o un criador de serpientes. A diferencia de las 12 constelaciones restantes, la constelación de Ofiuco no tiene su correspondiente signo astrológico (aunque no importa).

La gente que nació entre el 30 de noviembre y el 17 de diciembre, con el Sol frente a la constelación de Ophiuco, debería ser de signo Ophiuco. A esa feliz gente no se le puede atribuir un signo astrológico (es claro que no importa).

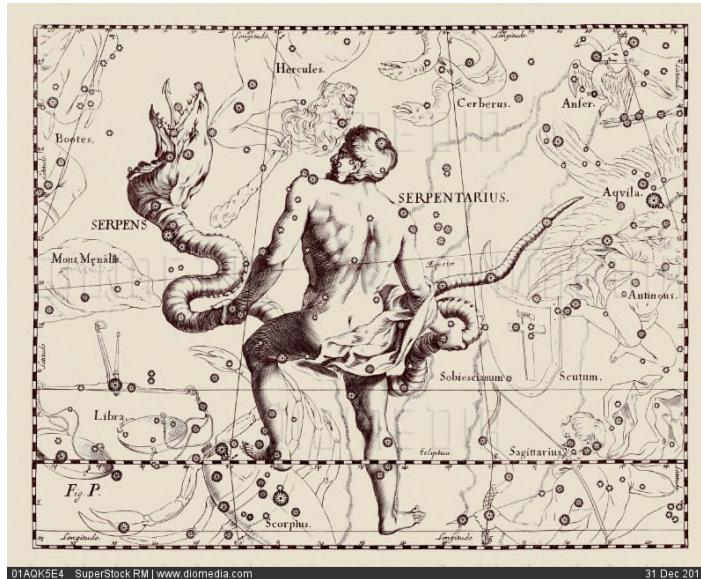


Figura 14. *La constelación de Ophiuco o el Serpentario según Hevelius (1687).*

Pero hay un problema aún mayor: **las fechas que usan los astrólogos para indicar la pertenencia a un signo están MAL**. Es decir, las fechas del horóscopo que indican el comienzo y el final de la pertenencia a un signo deberían coincidir con el tiempo durante el cual, el Sol está frente a la constelación correspondiente. En la tabla I pueden comprobar estos errores. Por ejemplo, si una persona nació un 3 de junio, según el horóscopo, le correspondería el signo de Géminis (del 20 de mayo al 20 de junio, según la astrología). Sin embargo, el 3 de junio ¡el Sol está verdaderamente frente a la constelación de Tauro! Es decir, esa persona va a leer toda su vida el horóscopo de un signo que no le correspondería (doble pérdida de tiempo).

¿Por qué las fechas de los horóscopos están todas corridas respecto a la posición del Sol? Las fechas que figuran en los horóscopos para saber el signo datan de la Edad Media, cuando el Sol efectivamente pasaba por esas constelaciones. En ese entonces, los astrónomos también eran astrólogos; ya que había bastante confusión sobre lo que era ciencia y lo que no lo era. Pero los astrónomos/astrólogos de la Edad Media miraban al cielo, a diferencia de los astrólogos actuales. Ellos sabían cuándo el Sol estaba frente a cada constelación. Sin embargo, desde la Edad Media hasta ahora, el cielo ha cambiado considerablemente. La causa de estos cambios es que la Tierra tiene un movimiento lento de su eje de rotación, un movimiento que va cambiando las fechas en las cuales el Sol está frente a cada constelación zodiacal. Ese movimiento se llama **precesión** y lo estudiaremos más adelante.

¿Por qué no corrigen estas fechas los astrólogos? Habría que preguntarles a ellos,

Tabla 1. *Fechas reales en las cuales el Sol cruza cada constelación del zodíaco durante el año. Los límites de las constelaciones son los adoptados actualmente por la Unión Astronómica Internacional (UAI).*

Constelación	Fechas del signo astrológico	Fechas del pasaje real del Sol sobre la constelación
Aries	20 de marzo a 19 de abril	19 de abril a 13 de mayo
Tauro	19 de abril a 20 de mayo	14 de mayo a 19 de junio
Géminis	20 de mayo a 20 de junio	20 de junio a 20 de julio
Cáncer	20 de junio a 22 de julio	21 de julio a 9 de agosto
Leo	22 de julio a 22 de agosto	10 de agosto a 15 de septiembre
Virgo	22 de agosto a 22 de septiembre	16 de septiembre a 30 de octubre
Libra	22 de septiembre a 23 de octubre	31 de octubre a 22 de noviembre
Escorpio	23 de octubre a 21 de noviembre	23 de noviembre a 29 de noviembre
Ophiuco	No incluye	30 de noviembre a 17 de diciembre
Sagitario	21 de noviembre a 21 de diciembre	18 de diciembre a 18 de enero
Capricornio	21 de diciembre a 19 de enero	19 de enero a 15 de febrero
Acuario	19 de enero a 18 de febrero	16 de febrero a 11 de marzo
Piscis	18 de febrero a 20 de marzo	12 de marzo a 18 de abril

aunque probablemente crean (con preocupación) que a la gente le costaría aceptar que el signo cuyo horóscopo leyeron desde su infancia ahora ha cambiado. Sería un duro golpe para la astrología que la gente entienda que la tontería de creer que los astros nos influyen ni siquiera tiene el aval de algo tan simple como la posición del Sol en el cielo.

Otra de las cosas ridículas del horóscopo es que se usa la fecha del nacimiento para determinar la supuesta “influencia” de los astros, en lugar de la fecha de la concepción (¡fecha que casi nadie conoce ni se anima a preguntar!). De acuerdo a la astrología, parece que el vientre materno es capaz de evitar la influencia del Sol, la Luna y los planetas, la que sólo aparece al salir al mundo.

Para finalizar estas reflexiones, nos preguntamos qué clase de influencia puede llegar a ejercer el Sol o los planetas sobre un recién nacido. ¿Influencia gravitatoria? El médico obstetra ejerce millones de veces más fuerza gravitatoria que el Sol, en el momento del parto. ¿Influencia electromagnética? El celular que está en el bolsillo del padre en la sala de espera irradia al bebé con más energía que cualquier planeta. ¿Influencia...? ¿Acaso alguna influencia desconocida...? Si es así, si es una influencia desconocida... ¿cómo puede un astrólogo determinar que una influencia que él también desconoce producirá que un bebé de signo piscis sea un niño soñador, proclive a fantasear y delicado de los riñones? La respuesta está en dos grandes amigos: ¡chamuyo y sarasa!

# ASTRONOMÍA GENERAL

## APUNTES DE TRABAJOS PRÁCTICOS

### PRÁCTICA 6 - Parte II

**Salida y puesta de un astro - Duración del día - Altura máxima**

MARÍA LAURA ARIAS Y ROBERTO VENERO  
JEFES DE TRABAJOS PRÁCTICOS DE LA CÁTEDRA



Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

LA PLATA, ARGENTINA  
- 2021 -

## Apuntes para resolver la PRÁCTICA 6 - Parte II

### SALIDA Y PUESTA DE UN ASTRO - ALTURA MÁXIMA - DURACIÓN DEL DÍA

Como ya vimos en las prácticas anteriores, los astros, en su movimiento diurno aparente, describen en la esfera celeste arcos paralelos al ecuador. Además los astros salen desde la parte del horizonte que contiene al este y se ponen en la parte del horizonte que contiene al oeste.

Nos interesa conocer las coordenadas de salida y puesta de un astro, para saber por ejemplo, si es visible para un dado observador una noche dada o en un determinado instante, o cuánto tiempo permanecerá el astro sobre el horizonte.

#### 1. Salida y puesta de un astro

Consideremos un observador ubicado en La Plata ( $\phi = -34^\circ 54'$ ), y un astro cuya declinación es  $\delta = -22^\circ$ . Conociendo el valor de  $\delta$ , podemos graficar el arco diurno del astro en la esfera celeste y sus **puntos de salida y puesta**, tal como se ve en la figura 1.

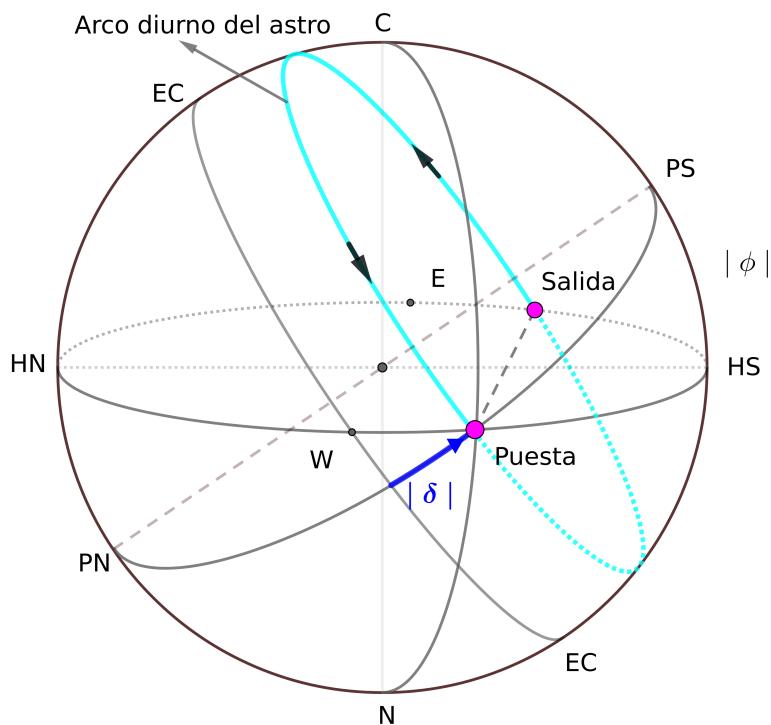


Figura 1. Esfera celeste para un observador en una latitud sur  $\phi$ . Se indica el arco diurno de un astro con declinación  $\delta$  sur conocida y los puntos de salida y de puesta del astro.

Para calcular las coordenadas de salida y puesta de un astro, hay que resolver un triángulo similar al visto en la práctica de transformación de coordenadas locales. La diferencia es que cuando el astro está en el punto de **salida** o en el de **puesta**, la altura vale  $0^\circ$  ( $h = 0^\circ$ ), porque el astro está sobre el horizonte.

Como conocemos la declinación  $\delta$  del astro dado (recurriendo por ejemplo a un catálogo o tabla), y sabemos que  $h = 0^\circ$ , las coordenadas que resta averiguar son el **ángulo horario**  $t$  y el **acimut**  $A$ , en los puntos de salida y de puesta. Para calcularlas, es necesario resolver el triángulo esférico de la figura 2.

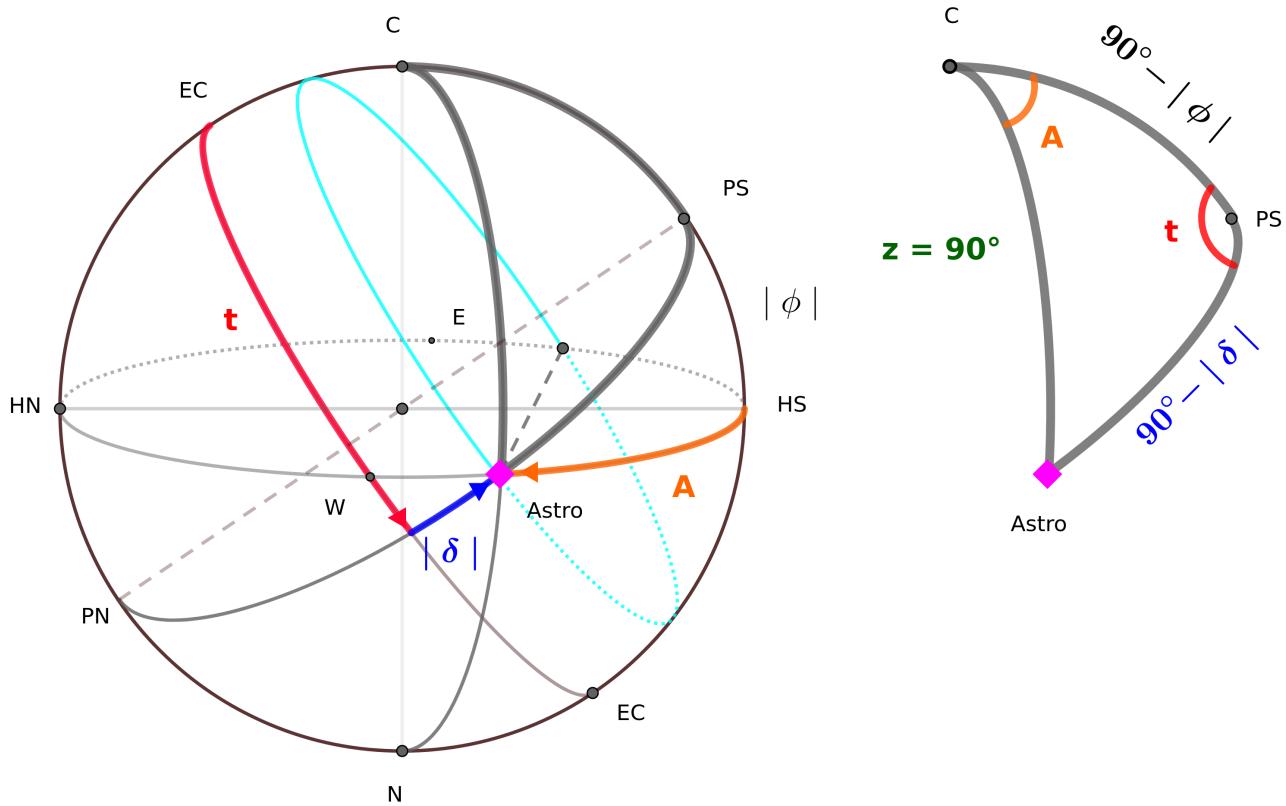


Figura 2. Esfera celeste para un observador en una latitud sur  $\phi = -34^\circ 54'$  y un astro con declinación  $\delta = -22^\circ$ . El astro está en su punto de **puesta**. Se marca el triángulo de posición con vértices PS-Cenit-Astro, con todos sus elementos. Notar que  $h = 0^\circ$  en el punto de puesta, entonces  $z = 90^\circ$ .

- **Cálculo del ángulo horario de salida y puesta**

Usamos el **Teorema del coseno** dado por:  $\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A)$ , y lo aplicamos al arco  $z$  del triángulo de la figura 2:

$$\cos(z) = \cos(90^\circ - |\phi|)\cos(90^\circ - |\delta|) + \sin(90^\circ - |\phi|)\sin(90^\circ - |\delta|)\cos(t) \quad (1)$$

Sabiendo que,  $\cos(90^\circ - \alpha) = \sin(\alpha)$  y  $\sin(90^\circ - \alpha) = \cos(\alpha)$  y teniendo en cuenta que  $z = 90^\circ$  y  $\cos(90^\circ) = 0$ , resulta:

$$0 = \cos(90^\circ) = \sin(|\phi|)\sin(|\delta|) + \cos(|\phi|)\cos(|\delta|)\cos(t) \quad (2)$$

Despejando  $\cos(t)$  obtenemos:

$$\cos(t) = \frac{-\sin(|\phi|)\sin(|\delta|)}{\cos(|\phi|)\cos(|\delta|)}$$

Entonces:

$$\cos(t) = -\tan(|\phi|)\tan(|\delta|) \quad (3)$$

La expresión (3) nos da el valor de  $\cos(t)$ , para un astro de declinación  $\delta$  sur, visto por un observador en una latitud sur  $\phi$ .

Esta expresión, permite calcular tanto el ángulo horario de salida como el de puesta. Ya que, si resolvíramos el triángulo esférico que corresponde al punto de salida obtendríamos la misma expresión.

Si reemplazamos por los valores numéricos:  $|\phi| = 34^\circ 54'$  y  $|\delta| = 22^\circ$ , obtenemos:

$$\cos(t) = -\operatorname{tg}(34^\circ 54') \operatorname{tg}(22^\circ) = -0.281852599 \quad (4)$$

Sabemos que la ecuación:

$$\cos(t) = -0.281852599$$

tiene dos soluciones, ya que habrá dos valores de  $t$ , comprendidos entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ , que tienen el mismo coseno. Como, en este caso, el  $\cos(t)$  es negativo, sabemos que  $t$  corresponde a un ángulo del cuadrante II o III.

Si hacemos  $\arccos(-0.281852599)$  (o como se toma en muchas calculadoras:  $\cos^{-1}(-0.281852599)$ ), la calculadora nos dará como resultado el ángulo:  $106^\circ 22' 15''$  y nosotros debemos calcular el otro ángulo, que será:  $360^\circ - 106^\circ 22' 15'' = 253^\circ 37' 45''$ .

Una de las soluciones será el valor del ángulo horario de salida  $t_{salida}$  y la otra, el valor del ángulo horario de puesta  $t_{puesta}$ . ¿Cómo sabemos cuál es cada una? Para entender mejor esto, miremos la esfera celeste de la [figura 2](#).

Sabemos que todos los astros salen desde la mitad del horizonte que contiene al este (el arco de horizonte que está en línea punteda) y se ponen sobre la mitad del horizonte que contiene al oeste. Recordando que el ángulo horario se mide sobre el ecuador, desde el meridiano superior del lugar hacia el oeste, veremos que, para cualquier astro,  **$t_{puesta}$  estará en el cuadrante I o II y  $t_{salida}$  estará en el cuadrante III o IV**.

Entonces, en este caso tendremos:

$$\begin{aligned} t_{salida} &= 253^\circ 37' 45'' \\ t_{puesta} &= 106^\circ 22' 15'' \end{aligned}$$

Expresando estos valores en horas, minutos y segundos, resulta:

$$\boxed{t_{salida} = 16h 54m 31s} \quad \boxed{t_{puesta} = 7hs 5m 29s}$$

### • Cálculo del acimut A de salida y puesta

Usamos el **Teorema del coseno** y lo aplicamos lo aplicamos al arco  $90^\circ - |\delta|$  del triángulo de la [figura 2](#)

$$\cos(90^\circ - |\delta|) = \cos(z)\cos(90^\circ - |\phi|) + \sin(z)\sin(90^\circ - |\phi|)\cos A \quad (5)$$

Reescribimos como:

$$\sin(|\delta|) = \cos(90^\circ)\sin(|\phi|) + \sin(90^\circ)\cos(|\phi|)\cos A \quad (6)$$

Dado que  $\cos(90^\circ) = 0$  y  $\sin(90^\circ) = 1$ , entonces:

$$\sin(|\delta|) = \cos(|\phi|)\cos A \quad (7)$$

Entonces:

$$\cos(A) = \frac{\sin(|\delta|)}{\cos(|\phi|)} \quad (8)$$

Si reemplazamos por los valores numéricos:  $|\phi| = 34^\circ 54'$  y  $|\delta| = 22^\circ$ , obtenemos:

$$\cos(A) = \frac{\sin(22^\circ)}{\cos(34^\circ 54')} = 0.456752711 \quad (9)$$

Aquí ocurre lo mismo que para el cálculo del ángulo horario de salida y puesta. Habrá dos ángulos A, comprendidos entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ , que tienen el mismo valor del coseno.

Como, en este caso, el  $\cos(A)$  es positivo, sabemos que A corresponde a un ángulo del cuadrante I o IV.

Haciendo  $\arccos(0.456752711)$ , la calculadora nos dará como resultado el ángulo:  $62^\circ 49' 20''$  y nosotros debemos calcular el otro valor, que será:  $360^\circ - 62^\circ 49' 20'' = 297^\circ 10' 40''$ .

Una de las soluciones será el valor del acimut de salida  $A_{salida}$  y la otra el valor del acimut de puesta  $A_{puesta}$ .

Nuevamente, mirando la figura 2, podemos deducir que el  $A_{puesta}$  de un astro, estará siempre en el **cuadrante I o II**, mientras que el  $A_{salida}$  estará siempre en el **cuadrante III o IV**.

Por lo tanto:

$$A_{salida} = 297^\circ 10' 40'' \quad A_{puesta} = 62^\circ 49' 20''$$

**Importante:** las expresiones que nos permiten calcular t y A de salida y puesta (fórmulas 3 y 8), tal como están deducidas en el ejemplo anterior, no son iguales para todos los casos. Puede variar su signo, dependiendo de si la latitud es sur o norte o si la declinación es sur o norte. Por ello, es necesario plantear, en cada caso particular, el triángulo de transformación correspondiente.

## 2. Tiempo que permanece un astro por encima del horizonte

De acuerdo con el valor de su declinación y con la latitud del observador, un determinado astro, permanecerá un cierto tiempo por encima del horizonte y el tiempo restante por debajo.

Para saber cómo calcular cuántas horas el astro se encuentra por encima y cuántas horas por debajo del horizonte, pensemos lo siguiente: tal como está indicado en la figura 1, un observador en una dada latitud, verá que un astro dado se mueve de este a oeste. El astro sale, culmina superiormente (es decir, cruza el meridiano superior del lugar) y se pone.

Como el arco diurno es simétrico, respecto de la línea norte-sur, al llegar a su culminación superior, habrá transcurrido la mitad del tiempo total que permanecerá el astro sobre el horizonte. Desde la culminación superior hasta su punto de puesta, pasará la otra mitad del tiempo.

Si miramos ahora la figura 2, vemos que el ángulo horario de puesta del astro (indicado en rojo), nos da la cantidad de horas que transcurren entre la culminación superior y la puesta, es decir, la mitad del tiempo que astro está sobre el horizonte.

Entonces, podemos decir que el **tiempo total que permanecerá el astro sobre el horizonte** es dos veces el **valor del ángulo horario de puesta**:

$$\boxed{\text{Tiempo que permanece el astro sobre el horizonte} = 2 t_{\text{puesta}}}$$

Por lo tanto, el tiempo que el astro esté debajo del horizonte será:

$$\boxed{\text{Tiempo que permanece el astro debajo del horizonte} = 24hs - 2 t_{\text{puesta}}}$$

En el caso del astro de la [figura 2](#), este permanecerá sobre el horizonte:

$$\boxed{\text{Tiempo sobre el horizonte} = 2 t_{\odot\text{puesta}} = 2 \times 7hs\ 5m\ 29s = 14hs\ 10\ 58s}$$

### 3. El Sol y la duración del día

Supongamos ahora que el astro es el Sol. Entonces, el **tiempo que el Sol permanece sobre el horizonte**, nos dará la **cantidad de horas de luz o duración del día**.

Como ya dijimos, ese tiempo será el doble del ángulo horario de puesta. Así:

$$\boxed{\text{Duración del día} = 2 t_{\odot\text{puesta}}}$$

Calculando entonces el ángulo horario de puesta del Sol,  $t_{\odot\text{puesta}}$ , dada la latitud  $\phi$  del observador y usando el valor de  $\delta_{\odot}$  obtenido de las efemérides<sup>1</sup> para el día deseado, podemos saber la cantidad de horas que el Sol estará sobre el horizonte ese día.

Como la declinación  $\delta_{\odot}$  del Sol varía a lo largo del año entre  $-23^{\circ}\ 27'$  y  $23^{\circ}\ 27'$  (ver apunte de *Movimiento anual aparente del Sol*), la cantidad de horas de luz en el día irá variando a lo largo del año.

En particular, si pensamos en un observador en una latitud sur, durante el solsticio de invierno,  $\delta_{\odot} = 23^{\circ}\ 27'$ , la duración del día o cantidad de horas de luz del Sol será la mínima.

Mientras que en el solsticio de verano para el hemisferio sur,  $\delta_{\odot} = -23^{\circ}\ 27'$ , la duración del día o cantidad de horas de luz del Sol será la máxima.

En los equinoccios,  $\delta_{\odot} = 0^{\circ}$ , el Sol permanecerá 12 hs por encima y 12 hs por debajo del horizonte.

### 4. Altura máxima de un astro sobre el horizonte

En la [figura 3](#), vemos el arco diurno de un astro de declinación sur  $\delta = -22^{\circ}$  en la esfera celeste, correspondiente a un observador en una latitud sur  $\phi = -34^{\circ}\ 54'$ .

<sup>1</sup>En el *Suplemento al almanaque náutico y aeronáutico* se publican cada año, las efemérides del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas más brillantes. Allí se pueden encontrar las coordenadas del Sol requeridas para esta práctica, para cada día del año. Este Suplemento está disponible como material de la clase.

En su **punto de salida**, el astro tiene una altura  $h = 0^\circ$ . Luego, a medida que describe su arco diurno de este a oeste, su altura va aumentando. Cuando llega a su **culminación superior**, es decir, cuando cruza el meridiano superior del lugar, **alcanza su mayor altura  $h_{max}$** . Después se sigue moviendo hacia el oeste y su altura va disminuyendo hasta volver a ser  $h = 0^\circ$  en el **punto de puesta**.

Veamos cómo podemos calcular el valor de  $h_{max}$  para el astro de la figura 3.  
En la figura 3, la altura máxima del astro se indica en rojo y corresponde al arco que va desde el

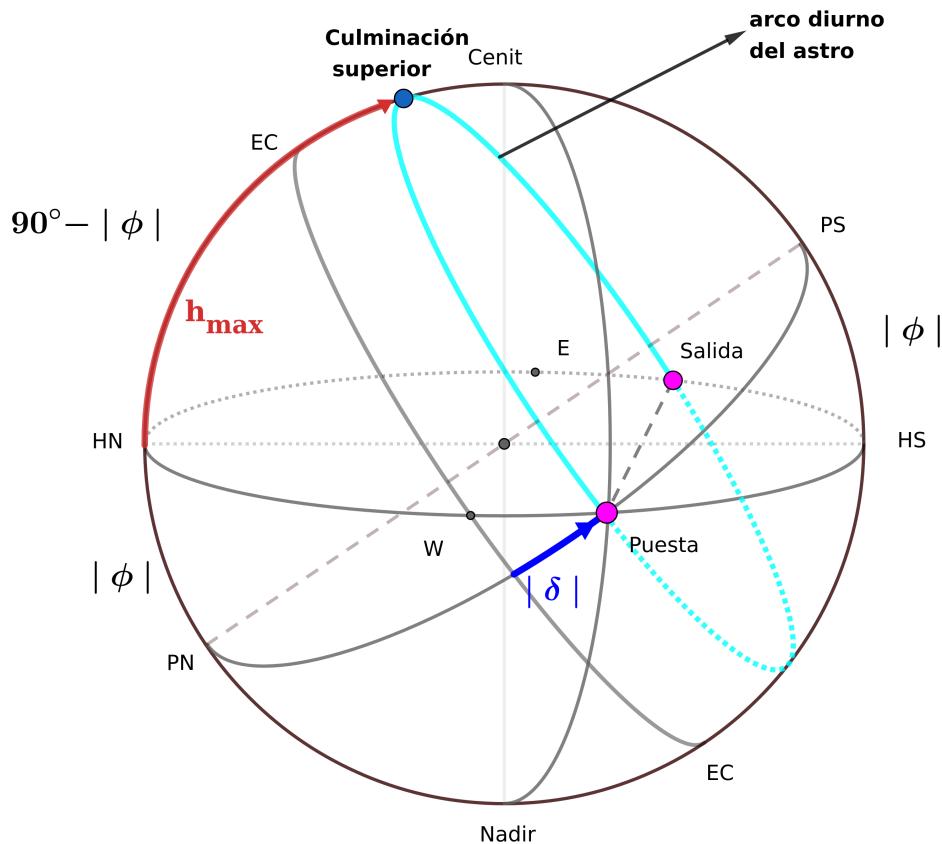


Figura 3. Esfera celeste para un observador en una latitud sur  $\phi = -34^\circ 54'$ . Marcamos el arco diurno de un astro con declinación sur  $\delta = -22^\circ$ . El astro alcanza su altura máxima en el punto de culminación superior. Notar que entre HN y el ecuador hay un ángulo de  $90^\circ - |\phi|$ , y desde el ecuador a la posición del astro, el valor del arco es la coordenada declinación  $\delta$ .

horizonte hasta el astro, sobre el meridiano del lugar.

Notemos que entre el ecuador y el horizonte, hay un ángulo de  $90^\circ - |\phi|$  y, entre el ecuador y el astro se marca la declinación  $\delta$ .

Por lo tanto, la altura máxima del astro cuyo arco diurno se muestra en la figura 3, será:

$$h_{max} = (90^\circ - |\phi|) + |\delta|$$

Reemplazando por:  $|\phi| = 34^\circ 54'$  y  $|\delta| = 22^\circ$ , obtenemos:

$$h_{max} = (90^\circ - 34^\circ 54') + 22^\circ = 77^\circ 6'$$

Hay que tener en cuenta que la expresión de  $h_{max}$  no es general, sino que dependerá de si la declinación es sur o norte.

Veamos el caso de un astro con declinación norte  $\delta = 29^\circ$ , para la misma latitud sur  $\phi = -34^\circ 54'$ , tal como se muestra en la figura 4.

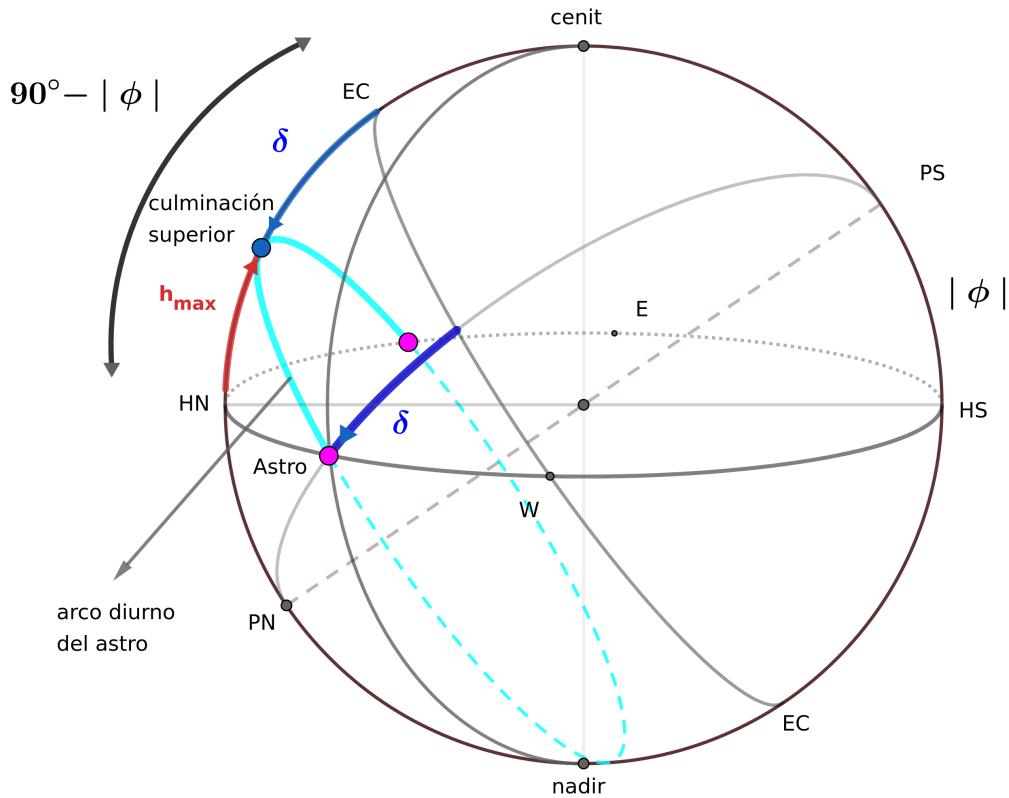


Figura 4. Esfera celeste para un observador en una latitud sur  $\phi$ . Marcamos el arco diurno de un astro con declinación **norte**  $\delta = 29^\circ$ . El astro alcanza su altura máxima en el punto de culminación superior. Notar que entre HN y el ecuador hay un ángulo de  $90^\circ - |\phi|$ , y desde el ecuador a la posición del astro, el valor del arco es la coordenada declinación  $\delta$ .

En este caso vemos que, el arco entre el horizonte y el ecuador sobre el meridiano del lugar, vale  $90^\circ - |\phi|$  y este arco es igual a la suma de la declinación  $\delta$  más la altura máxima  $h_{max}$ .

Así,

$$90^\circ - |\phi| = \delta + h_{max}$$

Entonces:

$$h_{max} = 90^\circ - |\phi| - \delta$$

Reemplazando por  $|\phi| = 34^\circ 54'$  y  $\delta = 29^\circ$ , obtenemos:

$$h_{max} = 90^\circ - 34^\circ 54' - 29^\circ = 26^\circ 6'$$

Notar que aquí no es necesario poner módulo en  $\delta$  porque la declinación es norte.