

CURSO DE ASTRONOMÍA

Prof. Roberto O. J. Venero
Dr. en Astronomía

Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

APUNTES DE LA ASIGNATURA OPTATIVA ASTRONOMÍA DE 6° AÑO.

4 - Traslación



Universidad Nacional de La Plata
Colegio Nacional Rafael Hernández

LA PLATA, ARGENTINA
- 2020 -

Capítulo 4

MOVIMIENTOS DE LA TIERRA: TRASLACIÓN

4.1. 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), sino que su forma geométrica se llama **elipse** (órbita elíptica), como se muestra en la Figura 4.1. En una órbita elíptica, el Sol no se encuentra en el centro, sino desplazado hacia un costado del centro, como se ve en el dibujo. Más adelante, estudiaremos con más detalle la forma de la elipse (apunte sobre el Movimiento Planetario). Aunque la órbita de la Tierra es una elipse, no es tan achatada como se ve en la figura, cuya forma está muy exagerada.

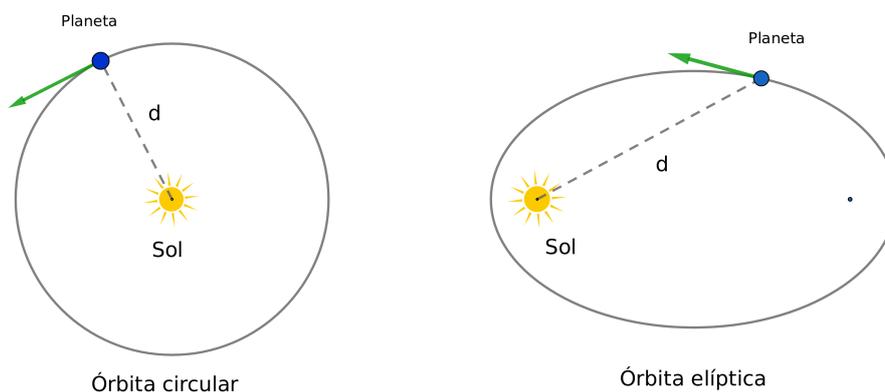


Figura 4.1. Este gráfico muestra dos tipos de órbitas: una órbita circular y una órbita elíptica. La flecha indica el movimiento del planeta. En la primera, la distancia entre el planeta y el Sol permanece constante. En la segunda, la distancia va cambiando. Noten que el Sol no se encuentra en el centro de la elipse, sino desplazado hacia un costado.

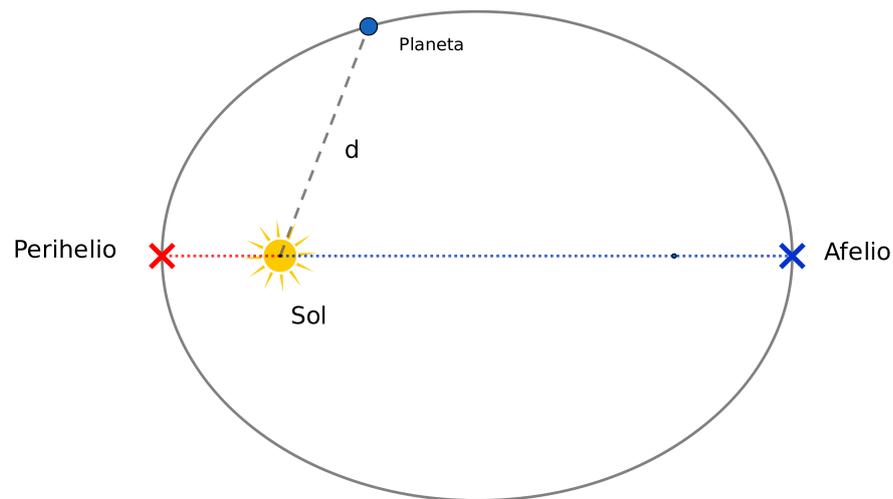


Figura 4.2. *El punto más cercano de la órbita terrestre al Sol es el perihelio (rojo). El punto más alejado es el afelio (azul).*

Si la órbita de la Tierra fuera circular, la distancia entre el Sol y la Tierra se mantendría constante (es decir, la Tierra estaría siempre a la misma distancia al Sol). 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 enero¹. 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 4.2).

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 de kilómetros, 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 4.8 entenderemos la verdadera causa de las estaciones.

¹La fecha cambia uno o dos días, según el año

4.2. La unidad astronómica

Como la separación entre la Tierra y el Sol va cambiando a lo largo de la órbita, podemos tomar un valor medio de la distancia (una distancia promedio) para usarla como un valor de referencia para describir el tamaño de la órbita terrestre.

Esa distancia media entre la Tierra y el Sol se llama **unidad astronómica** y se la abrevia con la sigla **UA**. Su valor corresponde a **150.000.000 km**. Entonces, podemos decir que la distancia media entre la Tierra y el Sol vale 1 UA.

Como vemos en la figura 4.3, para calcular el valor de la unidad astronómica simplemente hacemos un promedio entre la distancia máxima (d_{afelio}) y la distancia mínima ($d_{perihelio}$), lo cual nos da:

$$\begin{aligned} \frac{d_{perihelio} + d_{afelio}}{2} &= \frac{147.100.000 \text{ km} + 152.100.000 \text{ km}}{2} \\ &= 150.000.000 \text{ km} = 1 \text{ UA} \end{aligned}$$

A esa distancia media la llamamos también con la letra “ a ”. En el Apunte de Movimiento Planetario veremos que, en el caso de cualquier órbita, a este valor a se lo llama también, semieje mayor de la elipse.

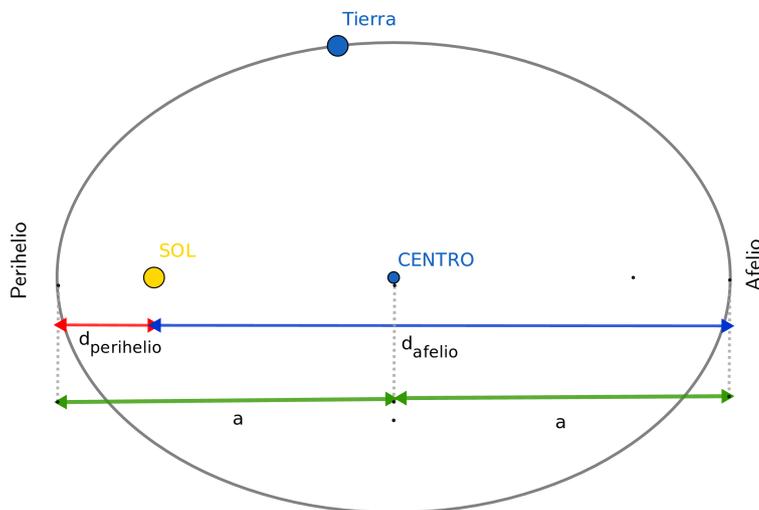


Figura 4.3. La distancia media entre la Tierra y el Sol se indica con la letra “ a ”. Es el promedio entre la distancia máxima (d_{afelio}) y la mínima ($d_{perihelio}$). Su valor es de 150.000.000 km y se la usa como una unidad de distancia. Se llama unidad astronómica o UA.

En Astronomía se usa la unidad astronómica o UA como **unidad de distancia**

en lugar del *metro* o del *kilómetro*. Es la unidad que se emplea para medir distancias dentro del Sistema Solar o en otro sistema planetario.

El uso de la unidad astronómica evita la gran cantidad de ceros que deberían emplearse si midiéramos las distancias en kilómetros. Por ejemplo, la distancia media entre Plutón y el Sol es de 39,48 UA. Es sencillo entender, a partir de ese valor, que Plutón se encuentra casi 40 veces más lejos del Sol que la Tierra. Sin embargo, si quisieramos expresar ese valor en kilómetros, sería 5.922.000.000 km. Claramente, éste es un número muy grande, con muchos ceros, difícil de leer y de interpretar. Es más fácil, entonces, usar la unidad astronómica para medir distancias astronómicas. Debemos notar que, si los astros son muy lejanos, la UA también queda chica. En esos casos usaremos otras unidades de distancias como el *año luz* o el *pársec*, que se presentaron en el primer apunte.

4.3. La eclíptica

La órbita de la Tierra es plana. Toda la trayectoria está contenida en un plano imaginario que se llama **plano de la eclíptica**, como pueden ver en la figura 4.4. La Tierra nunca está por encima o por debajo de esta superficie plana.

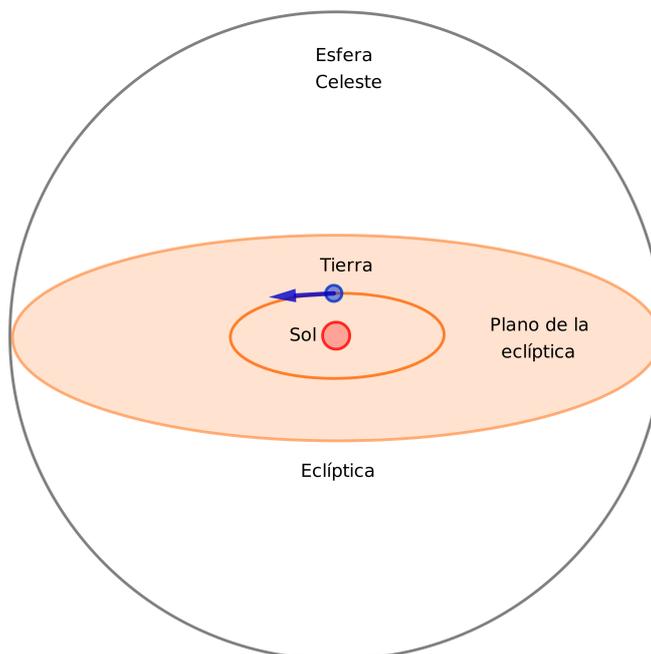


Figura 4.4. La órbita de la Tierra se encuentra sobre el plano de la eclíptica (superficie coloreada en el gráfico). Si extendemos el plano de la eclíptica hasta cortar la esfera celeste, la línea con que se intersectan es la línea de la eclíptica o, simplemente, eclíptica. En esta figura se ha puesto al Sol en el centro de la esfera celeste. Eso es posible porque la esfera celeste es muchísimo más grande que la órbita de la Tierra. Entonces, es prácticamente lo mismo poner su centro sobre la Tierra o sobre el Sol.

No deben confundirse la palabra *eclíptica* con la palabra *elíptica*. Cuando hablamos de las órbitas de los planetas, se usa la palabra *elíptica* para referirse a que tienen forma de *elipse*. En cambio, el plano donde se encuentra la órbita terrestre se llama *plano de la eclíptica* ya que tiene relación con los *eclipses*².

El plano de la eclíptica corta a la esfera celeste en una línea. Esa línea es un círculo que se llama línea de la eclíptica o, simplemente, **eclíptica**. En la figura 4.4 pueden ver esa línea.

Las constelaciones que se encuentran en la esfera celeste, sobre las cuales pasa la eclíptica son llamadas las **constelaciones del zodiaco**. Estas constelaciones son 13 y sus nombres son: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Ofiuco, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis.

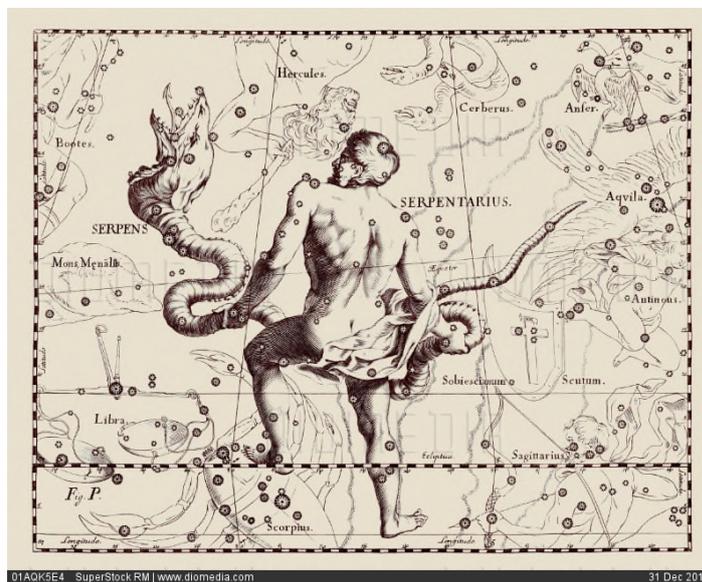


Figura 4.5. *La constelación de Ofiuco o el Serpentario según Hevelius (1687).*

No hay que confundir las constelaciones del zodiaco con los *signos del zodiaco*. Las constelaciones del zodiaco son conjuntos de estrellas que ocupan un área sobre la esfera celeste. Están formadas por cuerpos reales (estrellas) ubicados en lugares reales en el espacio. Los signos del zodiaco son los nombres que usan los astrólogos para agrupar a personas que supuestamente tienen algunas características o destinos comunes, determinadas a partir de su fecha de nacimiento. Esto, como se verá luego, no tiene ningún sustento científico, a pesar de lo cual es una creencia que persiste desde tiempos muy antiguos, aun en nuestra civilización tecnológica.

²La Luna tiene una órbita cuyo propio plano está inclinado en un ángulo de 5° respecto al plano de la órbita terrestre (plano de la eclíptica). Sólo si la Luna, en su movimiento alrededor de la Tierra, está cruzando el plano de la eclíptica, es posible que los tres cuerpos: el Sol, la Tierra y la Luna se alineen, produciéndose un eclipse.

Entre las constelaciones por las que pasa la eclíptica, se encuentra una constelación llamada Ofiuco (Ophiuchus). Esta constelación representa a un hombre que sostiene una serpiente (Figura 4.5), 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).

Las órbitas de los otros planetas del Sistema Solar están contenidas en planos que se encuentran muy próximos al plano de la eclíptica. Por ejemplo, el plano de la órbita del planeta Marte se encuentra a $1,85^\circ$ respecto al plano de la eclíptica. Sin embargo, muchos cuerpos menores del Sistema Solar tienen sus órbitas en planos con mucha inclinación. Por ejemplo, el asteroide Pallas tiene su órbita a 35° de la eclíptica.

4.4. El período orbital

El tiempo que tarda un planeta en completar una vuelta alrededor del Sol se llama **período orbital** o período de revolución (o simplemente período). Al período orbital lo indicamos con la letra **T**.

La Tierra completa una órbita alrededor del Sol en un **año**, por lo tanto su período orbital es un año, es decir $T_{\oplus} = 1 \text{ año}$.³

En un año, la Tierra da un poco más de 365 vueltas completas en torno a su eje. A cada una de esas vueltas las llamamos **día**. Por lo tanto el año tiene, aproximadamente, 365 días. Decimos “un poco más” porque la cantidad de días que entra en un año no es exacta. Además de las 365 vueltas mencionadas, la Tierra da un cuarto de vuelta más. Ese cuarto de vuelta equivale a unas 6 horas adicionales, o a una fracción de 0,25 días. Por lo tanto, un año completo tiene 365,25 días.

En la práctica, nosotros no usamos un año de 365,25 días en el calendario, porque es necesario tener un año con un número entero de días. Es decir, cuando se arma el calendario no se tienen en cuenta esas 6 horas extra. Pero, cada 4 años, se acumulan las 6 horas sobrantes de cada uno de los años previos, para formar un día adicional ($6 \text{ hs} + 6 \text{ hs} + 6 \text{ hs} + 6 \text{ hs} = 24 \text{ hs} = 1 \text{ día}$) que se incorpora al calendario. Ese año con 366 días se llama **año bisiesto**.

En los años bisiestos el día adicional se agrega al calendario como 29 de febrero. En el siglo XXI, algunos años bisiestos son: 2000, 2004, 2008, 2012, 2016, 2020, 2024, 2028, 2032, 2036 y así continúa. La regla de que hay un bisiesto cada cuatro años no es del todo exacta ya que hay otros detalles que se deben tener en cuenta. Si el año termina en “00”, debe ser además divisible por 400 para que sea bisiesto. Por ejemplo, el año 2000 fue bisiesto ($2000/400=5$), pero el año 2100 no lo será ya que $2100/400=5,25$ no es un número entero.

³En estos apuntes usaremos algunos símbolos antiguos para indicar ciertos astros: el símbolo \oplus indicará la Tierra, \odot el Sol y \lrcorner , la Luna.

4.5. Movimiento anual del Sol entre las constelaciones del zodiaco

Cuando estamos dentro de un automovil en movimiento, a medida que avanzamos, el paisaje parece ir en dirección *opuesta*, es decir, hacia atrás. Los postes de luz, los árboles, las casas, todo parece moverse en sentido contrario a nuestro propio movimiento. Ese desplazamiento de las cosas que nos rodean es un *movimiento aparente* porque es el reflejo de nuestra propia circulación.

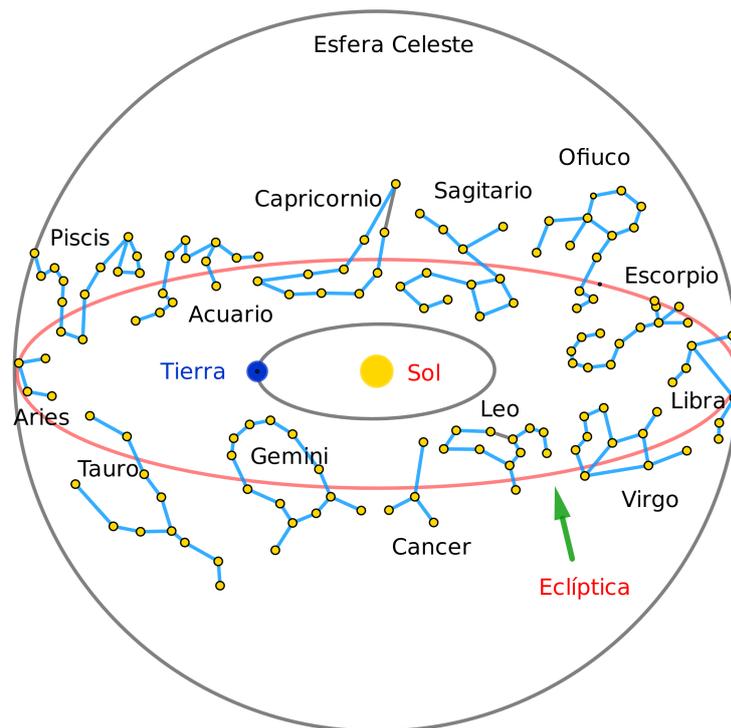


Figura 4.6. Figura esquemática que muestra que las constelaciones del zodiaco se encuentran sobre la eclíptica (línea roja).

En ese movimiento aparente, resulta notorio que los objetos más lejanos parecen moverse mucho más lento que los objetos cercanos, desplazándose menores distancias.

Esto también puede observarse desde la Tierra, a medida que se traslada en su órbita. Si miramos desde la Tierra a los astros cercanos (por ejemplo, el Sol), vemos que parecen moverse muy lentamente en dirección opuesta al movimiento de nuestro planeta. Los astros lejanos (por ejemplo, las estrellas de las constelaciones) están a tan grandes distancias que, prácticamente, no podemos percibir su desplazamiento.

En la figura 4.6 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 zodiaco, que se representan de manera esquemática en la figura.

A medida que la Tierra se desplaza en su órbita, el Sol parecerá moverse en dirección contraria. Sin embargo, por estar muy lejanas, las estrellas de las constelaciones del zodiaco no presentarán un desplazamiento notorio durante la traslación.

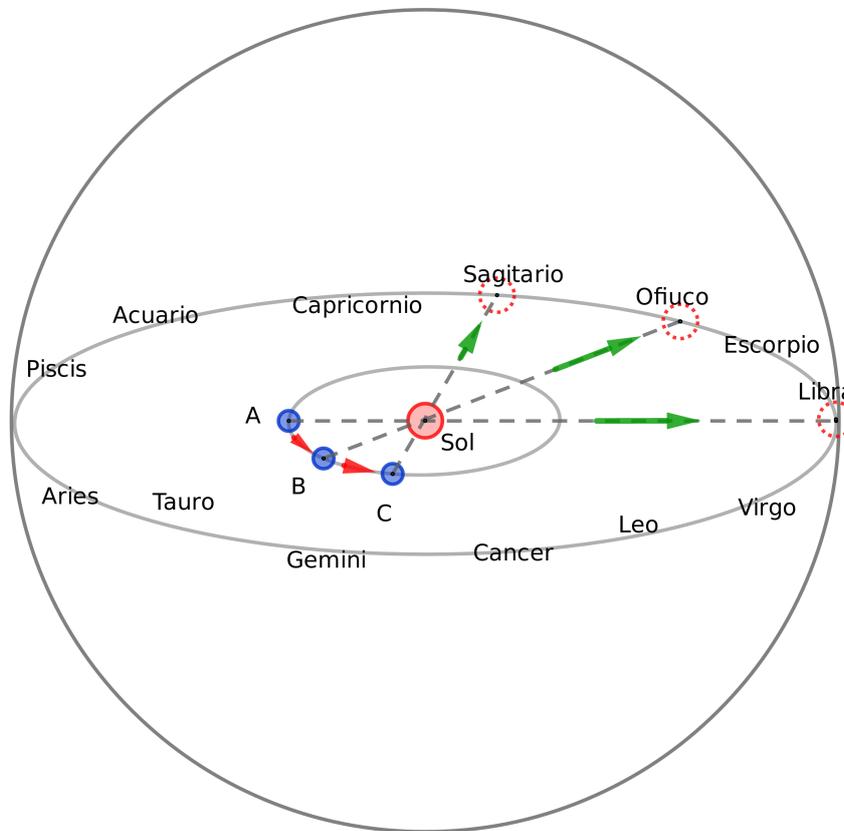


Figura 4.7. A medida que la Tierra se desplaza en su órbita (de la posición A a la posición B y luego a la C), el Sol parece moverse entre las constelaciones de la eclíptica. Desde la posición A, vemos al Sol (las flechas verdes indican la visual) frente a la constelación de Libra (círculo rojo punteado). Al llegar a la posición B, el Sol se ha desplazado aparentemente a la constelación de Ofiuco. En la posición C, el Sol está frente a Sagitario y así sucesivamente.

En la figura 4.7 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 Ofiuco (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**

zodiaco.

Al completar el año, el Sol ha pasado por todas las constelaciones del zodiaco (entre ellas, por la constelación de Ofiuco). 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 zodiaco a lo largo del año.

4.6. El horóscopo y otras tonterías

Como mencionamos en el primer apunte, 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 zodiaco. 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 zodiaco.

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 4.8) que no tienen ningún valor científico.



Figura 4.8. 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”. La gente que nació entre el 30 de noviembre y el 17 de diciembre, con el Sol frente a la constelación de Ofiuco, debería ser de signo Ofiuco. A esa feliz gente no se le puede atribuir un signo astrológico (es claro que no importa).

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 4.1 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).

Tabla 4.1. *Fechas reales en las cuales el Sol cruza cada constelación del zodiaco 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
Ofiuco	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

Ejercicio 1 *Buscá tu cumpleaños en la tercera columna de la tabla 4.1 y enterate qué constelación (¿signo?) te tocaría según tu nacimiento y la verdadera posición del Sol.*

¿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, 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!

4.7. 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. Nos preguntamos: ¿cómo se encuentra orientado el eje de rotación respecto al plano de la eclíptica?

Para entenderlo, podemos tomar como referencia a una línea que sea perpendicular al plano de la eclíptica. En la figura 4.9 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). La línea perpendicular al plano de la eclíptica es la línea a rayas. El eje de la Tierra (línea roja) se encuentra inclinado respecto a la línea perpendicular a la eclíptica, en un ángulo α .

El ángulo α se llama **oblicuidad de la eclíptica** e indica cuán inclinado está el eje de rotación de la Tierra respecto a su plano orbital.

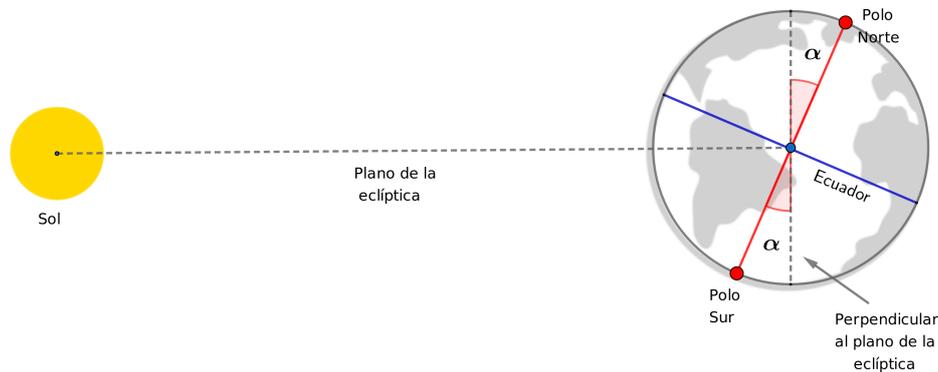


Figura 4.9. El eje de rotación terrestre (en rojo) se encuentra inclinado en un ángulo α respecto a una línea perpendicular al plano de la eclíptica (línea vertical). El ángulo α se llama oblicuidad de la eclíptica y vale $23^{\circ}27'$.

Es muy importante comprender que **la inclinación del eje de la Tierra no cambia a lo largo del año** y que el eje siempre apunta en la misma dirección de la esfera celeste. Como vimos en el primer apunte, el Polo Norte apunta hacia la constelación de la Osa Menor, a un punto muy cercano a la estrella Polaris (estrella polar). El Polo Sur apunta hacia la constelación Octante, cerca de una estrella bastante débil que se llama σ Octantis (σ es “sigma”). 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.

Los ejes de rotación de los demás planetas presentan diferentes inclinaciones (figura 4.10). En un extremo está Mercurio, cuya inclinación es de $0,1^{\circ}$, es decir, su eje es casi perpendicular al plano de su órbita. Por el otro lado, el planeta con el eje más inclinado es Urano, con un ángulo de 98° . Casi podría decirse que el planeta Urano “va rodando” sobre su plano orbital.

4.8. Las estaciones

La consecuencia más importante de la inclinación constante del eje terrestre es la sucesión de las **estaciones**. Para entender por qué se producen las cuatro estaciones, miremos la figura 4.11. 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.

Como el eje de rotación está inclinado, la posición del Sol respecto al Ecuador de la Tierra va cambiando a lo largo del año. En la posición de la derecha, el Sol se encuentra “sobre” el Hemisferio Sur (flecha naranja), al lado sur del Ecuador. A esa posición de la Tierra en la órbita se la llama **solsticio**.

En la posición de la Tierra que está a la izquierda de la figura 4.11, el Sol está

corrido respecto al Ecuador (flecha naranja), pero esta vez, se encuentra “sobre” el Hemisferio Norte. Esa posición también se llama 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 se llaman **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 4.12). 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.

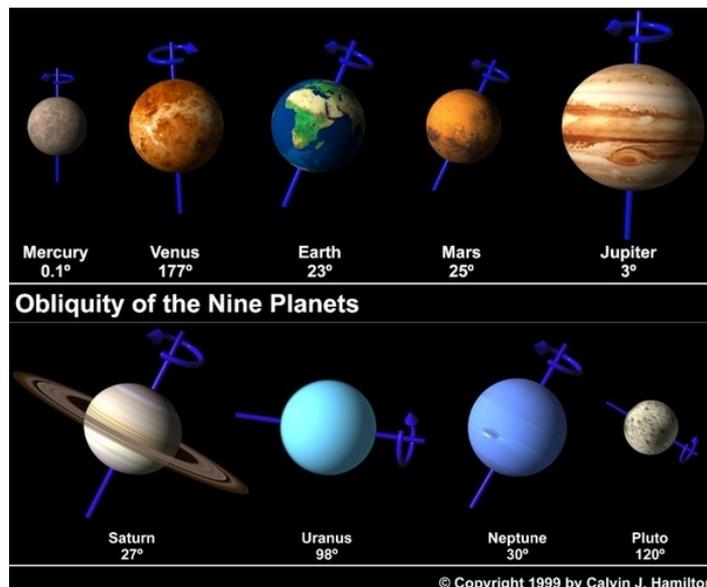


Figura 4.10. En esta figura pueden ver una comparación de las inclinaciones de los ejes de rotación de los planetas del Sistema Solar. Como la figura es anterior al año 2006, se incluye a Plutón entre los planetas (hoy es un planeta enano).

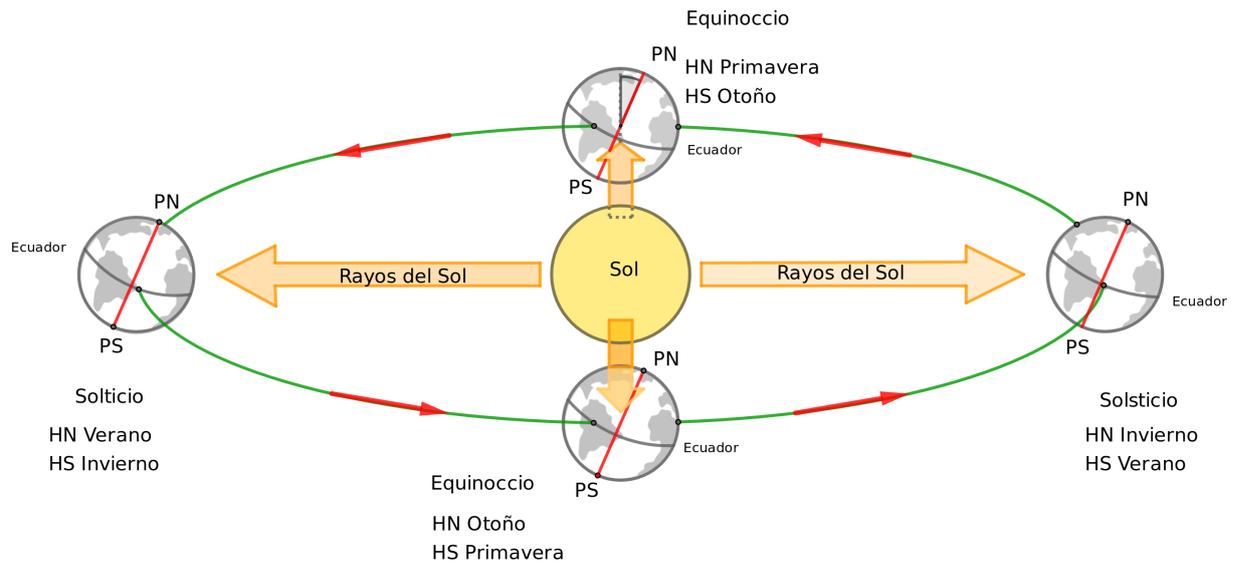


Figura 4.11. Cuatro posiciones de la Tierra en su órbita alrededor del Sol (fuera de escala). En este gráfico hemos puesto al Sol en el centro de la órbita, sin tener en cuenta el leve apartamiento del que hablamos en la sección 4.1. Las posiciones a izquierda y a derecha reciben el nombre de solsticios, mientras que las dos restantes, son los equinoccios. Pueden ver la explicación en el texto.

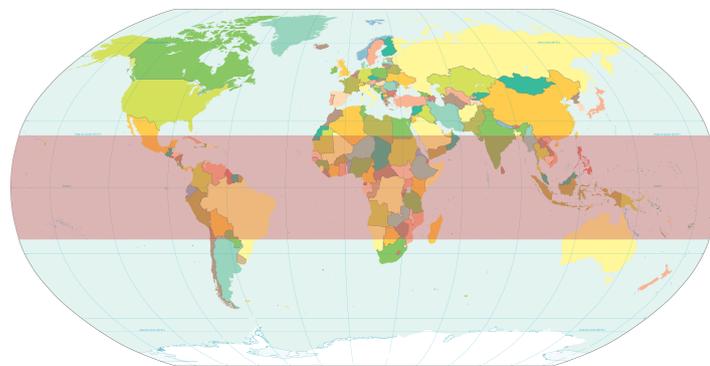


Figura 4.12. Región de la Tierra comprendida entre el Trópico de Cáncer al norte y el Trópico de Capricornio al sur, entre los cuales se desplaza el Sol debido a la inclinación del eje terrestre.

El equinoccio que ocurre después del solsticio de diciembre (posición de arriba en la figura 4.11) tiene lugar 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 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.

Ejercicio 2 *Mirando la figura 4.10 listen los planetas en los que se espera que haya estaciones y en los que no. Tengan en cuenta que, cuanto más inclinado esté el eje de rotación, más pronunciadas serán las estaciones en ese planeta.*

4.9. 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 4.13.

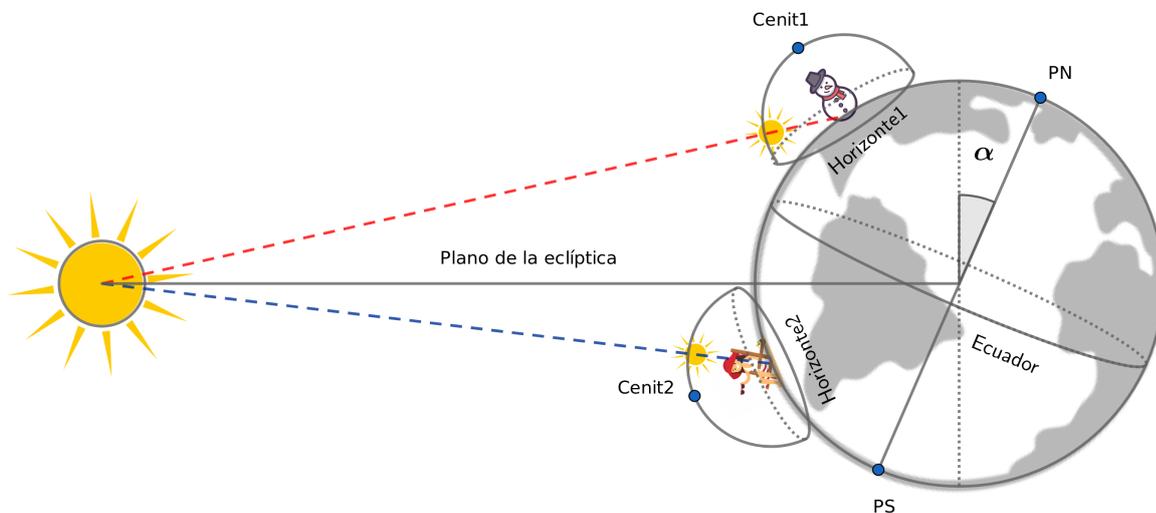


Figura 4.13. *Dos observadores simultáneos ubicados en ambos hemisferios observan que el Sol se encuentra a distinta altura respecto a sus propios horizontes. El observador 1 se encuentra en el Hemisferio Norte, y ve al Sol bastante cerca de su horizonte (línea a trazos roja), es decir muy bajo en el 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 viendo al Sol en el mismo momento del día (mediodía).*

La figura 4.13 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 (para una mayor explicación sobre la hora a lo largo de un meridiano, vean la sección 3.2 del apunte de rotación).

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.

Esta diferencia en la observación simultánea explica los cambios en el camino del Sol a lo largo del año, como vimos en el apunte de rotación (Sección 3.4) y que muestra la figura 4.14. La posición del Sol en el cielo durante el mediodía para un observador depende del hemisferio donde se encuentre y de la estación en la que esté.

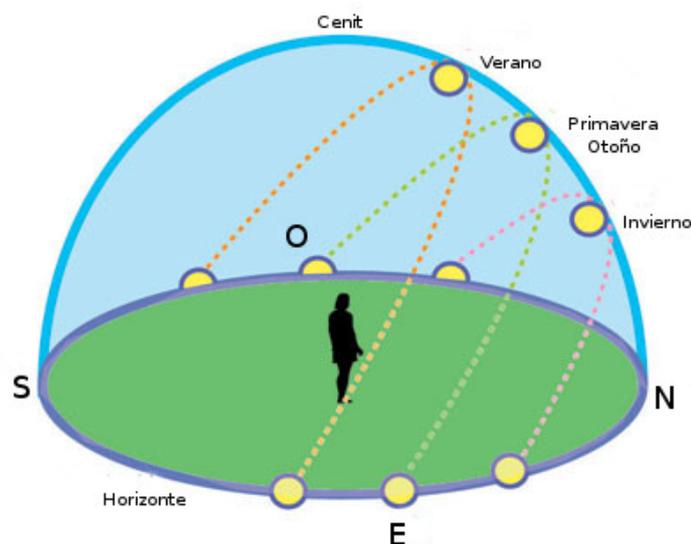


Figura 4.14. *Un observador ve diferentes caminos del Sol en el cielo a lo largo del día, de acuerdo a la estación del año en la que se encuentra.*

A lo largo de un día de verano, un observador verá que el Sol hace un arco más alto sobre el horizonte (figura 4.14). El Sol se acercará más a su cenit. Por esta razón, al mediodía, el observador proyectará una sombra muy corta. También, su día durará más que la noche porque el Sol estará más tiempo por encima del horizonte. Como el Sol pasa más tiempo sobre el horizonte y se eleva mucho durante el día, se acumulará más radiación del Sol en forma de calor. Entonces, en verano hará calor.

En cambio, durante un día de invierno, el Sol hará un arco más corto en el cielo y se elevará poco. La sombra del observador al mediodía será más larga y el día será más corto (la noche será más larga). Como el Sol estará poco tiempo sobre el horizonte, y

no alcanzará gran altura sobre éste, se acumulará menos radiación del Sol en forma de calor. Entonces, en invierno hará frío.

En otoño y primavera, el Sol estará sobre el Ecuador Celeste. Por eso los días y las noches serán iguales. La acumulación de calor será intermedia y el clima será templado. Desde el punto de vista astronómico, el otoño y la primavera son estaciones similares.

Resumiendo, las diferencias en la duración del día y la noche en las estaciones se deben a que la posición del Sol va cambiando alrededor del Ecuador Celeste. Esos cambios se deben a la inclinación del eje terrestre, la cual es siempre la misma para todo el año.

4.10. El día y la noche polar

Si observamos la figura 4.9, veremos una situación particular que ocurre en los polos alrededor de cada solsticio. El polo que corresponde al hemisferio para el cual es verano, estará iluminado permanentemente por el Sol día tras día, a medida que la Tierra rota en torno a su eje. En cambio, el polo opuesto permanecerá en la noche. Ese fenómeno se llama **día y noche polar**.

En las latitudes próximas a los polos, el día tiene una duración de casi 6 meses. Aunque la mayor parte del tiempo el cielo no se encuentra completamente oscuro, sino en un crepúsculo permanente.

Cuestionario final

Respondan a las siguientes preguntas en base a la información que podrán encontrar en este apunte:

1. La unidad astronómica es:
 - (a) el acuerdo entre países para poner husos horarios.
 - (b) el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta alrededor al Sol.
 - (c) la unión de los astrónomos que cantan “Unidos venceremos”.
 - (d) una unidad de distancia equivalente a la distancia media entre la Tierra y el Sol.
2. El plano de la eclíptica es:
 - (a) el plano del Ecuador Celeste.
 - (b) el plano sobre el cual se encuentra la órbita de la Tierra.
 - (c) la distancia entre la Tierra y el Sol.
 - (d) el plano del horizonte cuando hay un eclipse.
3. La posición de máxima distancia entre la Tierra y el Sol se llama:
 - (a) período orbital.

- (b) perihelio.
 - (c) unidad astronómica.
 - (d) afelio.
4. Las estaciones del año se deben a:
- (a) la diferencia de distancia entre la Tierra y el Sol por la órbita elíptica.
 - (b) la inclinación del eje terrestre que permanece constante a lo largo del año.
 - (c) el calentamiento global.
 - (d) el cambio de temperatura del Sol.
5. A lo largo del año, el Sol se mueve aparentemente entre:
- (a) las estrellas circumpolares.
 - (b) la Luna, los planetas y los meteoritos.
 - (c) los años luz.
 - (d) las constelaciones del zodiaco.
6. En verano hace calor porque:
- (a) la Tierra se acerca más al Sol, derritiendo los polos.
 - (b) el Sol está más caliente.
 - (c) el Sol se levanta más alto sobre el horizonte, el día dura más y se junta más energía solar.
 - (d) el Sol se levanta a menor altura sobre el horizonte y por eso la noche es más larga.
7. Cuando en el Hemisferio Norte es invierno, en el Hemisferio Sur es:
- (a) primavera.
 - (b) verano.
 - (c) lluvioso.
 - (d) invierno también.
8. En los equinoccios los días duran:
- (a) seis meses.
 - (b) más que las noches.
 - (c) menos que las noches.
 - (d) lo mismo que las noches.

* * *