

NOCIONES DE COSMOGRAFÍA

ÍNDICE DE TEMAS

Aspecto del cielo	1
Ubicación de los cuerpos celestes	1
Coordenadas	1
La eclíptica	1
Sistemas de coordenadas celestes	1
Estrellas.....	2
Brillo y Magnitud.....	2
Movimiento de las estrellas	2
Movimientos aparentes y absolutos del sol y la tierra.....	3
El sol y las estaciones.....	3
Tiempo sidéreo, tiempo solar y solar medio. Duración desigual de las estaciones	4
Ecuación de tiempo.....	5
Desigual duración de las estaciones	5
Precesión de los equinoccios.	5
La luna	5
Movimientos de la luna.....	5
Eclipses de sol y de luna.....	6
Cálculo aproximado de la ocurrencia de los eclipses	6
Planetas	7

NOCIONES DE COSMOGRAFÍA

Aspecto del cielo

Cuando miramos el cielo desde la superficie terrestre tenemos la impresión de encontrarnos debajo de una gran bóveda limitada por el horizonte, sobre la que se deslizan lentamente el sol y las estrellas. Conforme a esta visión, el hombre crea modelos de universo en sus famosos “planetarios”, en los que un proyector colocado en el centro de una bóveda hemisférica dibuja en ésta a los astros lanzando haces luminosos que se mueven como los cuerpos celestes que representan.

El movimiento más notable de los astros es el diurno, caracterizado por trayectorias circulares con centro un punto fijo llamado polo. En el hemisferio sur el polo sur celeste es circundado en sentido horario. En el hemisferio norte, los astros circulan en sentido antihorario alrededor del correspondiente polo norte celeste.

Ubicación de los cuerpos celestes

Coordenadas

Así como la posición de un punto sobre la tierra está dado por su longitud y su latitud, para ubicar un astro sobre la bóveda celeste en cada instante bastan un par de coordenadas angulares que fijen la dirección de su visual, esa recta imaginaria que une al astro con el observador. La verdadera distancia al astro no interesa para una visión desde la tierra. Los cuerpos celestes, aún los más próximos, están a tal distancia de nosotros que su imagen en ambos ojos es la misma, no produciendo por lo tanto sensación de relieve a la vista. Así, el hecho de que no podamos apreciar que la luna está más cerca que el sol, o que α Centauri está mucho más cerca de nosotros que Sirio, nos permite representar nuestra visión del cielo como su proyección sin profundidad sobre la esfera celeste.

Hay varios sistemas de coordenadas celestes, correspondiendo cada uno de ellos al círculo característico tomado como referencia para las medidas. Por ejemplo el **horizonte**, que es la prolongación del plano tangente a la superficie terrestre en el punto de observación, o bien el **ecuador**, que es la intersección del plano del ecuador terrestre sobre la bóveda.

La eclíptica

También se usa como referencia la **eclíptica**, una línea imaginaria sobre el cielo recorrida por el sol a lo largo del año, y que enlaza las famosas doce constelaciones **zodiacales**. El plano de la eclíptica forma un ángulo diedro de aproximadamente $23,5^\circ$ con el del ecuador. La recta determinada por la intersección entre ambos se llama **línea de equinoccios** y corta a la bóveda celeste en dos puntos opuestos: el **punto vernal** o de **Aries**, que es donde está el sol al comienzo de la primavera boreal o el otoño austral (20 de marzo), y el punto **Libra**, lugar del sol al comienzo del otoño boreal o la primavera austral (21 a 24 de septiembre).

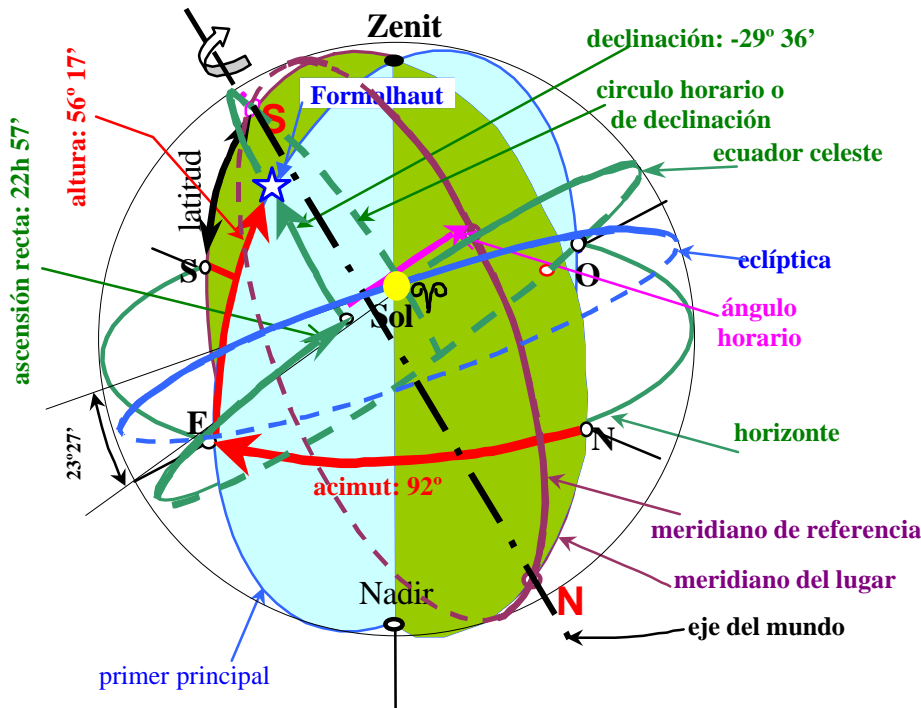
Estos puntos se llaman **equinoccios** porque cuando el sol está en ellos el día y la noche tienen igual duración.

Debido a movimientos de precesión de ese gran trompo que es nuestro planeta, y del cual se hablará in extenso más adelante, la inclinación y orientación de la eclíptica varía lentamente. Consecuentemente se mueven la posición de los equinoccios en relación a las estrellas. A éstas se las llama “estrellas fijas” porque mantienen su posición relativa, al contrario del sol, la luna, los planetas y los cometas, que son astros móviles. En la fecha de los primeros estudios astronómicos, varios miles de años atrás, los puntos Aries y Libra se ubicaban precisamente en las constelaciones de Aries y Libra. Desde entonces a nuestros días, debido a la citada precesión, se han corrido casi un signo del zodiaco, ubicándose entre Aries y Piscis, y entre Libra y Virgo respectivamente. Algo de lo que no se han enterado aún los astrólogos de nuestros días, que siguen haciendo las cartas astrales con viejas cartas. Debe ser por eso que nunca aciertan.

Sistemas de coordenadas celestes

El sistema local u horizontal toma al horizonte como plano de referencia, ubicando un astro a través de su altura angular sobre dicho plano en un determinado rumbo a partir del norte. El ángulo que mide el rumbo se llama “**acimut**”, y se toma desde el norte en sentido horario en el hemisferio sur, o sea de norte a este. El ángulo que mide la altura sobre el horizonte se llama simplemente “**altura**”. Generalmente acimut y altura se miden en grados, y son coordenadas que dependen de la posición del observador.

El sistema ecuatorial toma el ecuador celeste como plano de referencia, ubicando al astro por su distancia angular por encima o por debajo de este plano y por una coordenada angular medida sobre la línea del ecuador. La primera, independiente del movimiento diurno, se llama **declinación** y es en realidad la altura del astro sobre el ecuador celeste. Es positiva sobre el hemisferio norte y negativa sobre el hemisferio sur. La otra coordenada en el sistema ecuatorial se llama “**ascensión recta**”, y viene dada por el ángulo medido sobre el ecuador a partir del punto vernal (Aries) y la intersección con el círculo máximo que pasa por el astro (círculo horario o círculo de declinación). La



Coordenadas celestes de Formalhaut el 20/3/2004

ascensión recta se mide en sentido horario para el hemisferio sur, expresándose en horas, minutos y segundos (24 h = 360°).

Se usa a veces en vez de la ascensión recta el “**ángulo horario**”, que en vez del punto vernal toma como origen la intersección del ecuador con un meridiano de referencia (por ejemplo el de Greenwich). Se puede ver en la figura que la suma del ángulo horario con la ascensión recta es igual al arco desde la intersección con el meridiano de referencia hasta el punto vernal. Dicho arco medido en unidades de tiempo se llama **tiempo sidéreo**. Se comprende que las coordenadas ecuatoriales de un astro no dependen de la posición del observador en la tierra.

En la figura se esquematiza la ubicación de Formalhaut, una estrella de primera magnitud que se ve en el cielo de verano de Buenos Aires. Las coordenadas de Formalhaut en los sistemas local y ecuatorial correspondientes al 20/3/2004 figuran en el gráfico. La representación corresponde aproximadamente a las 10 horas del día, momento en que la estrella no se ve a causa de la luminosidad del cielo diurno.

El sistema eclíptico, usado sobre todo para la ubicación de los planetas, refiere la posición del astro a la eclíptica, llamando **latitud eclíptica** a la altura angular del astro sobre la misma y **longitud eclíptica** a la coordenada angular correspondiente medida sobre la eclíptica desde el punto vernal.

Estrellas

El cielo está poblado de estrellas. Los catálogos modernos registran cientos de miles de ellas (más de 118000 [ciento dieciocho mil] el catálogo de la Agencia Espacial Europea). En estas frondosas listas se consignan posición, tamaño, distancia, tipo espectral (color de luz), intensidad absoluta, y “orden de magnitud”.

Brillo y Magnitud

El orden de magnitud mide la luminosidad aparente del astro a ojo desnudo, según una escala que decrece con el aumento del brillo absoluto. Se admite que si una estrella tiene un brillo B_1 cien veces superior al brillo B_2 de otra, tendrá con ésta una diferencia de magnitud de cinco unidades en menos. (Debe aclararse que los brillos se miden con un detector de luz proporcional a la potencia recibida y no a la valoración de la intensidad que realiza nuestra vista: ésta es proporcional a la magnitud aparente)

Es decir si $B_1/B_2=100$ será $M_2-M_1=5$. La relación anterior sugiere una fórmula logarítmica, que transforma sumas y restas en productos y cocientes:

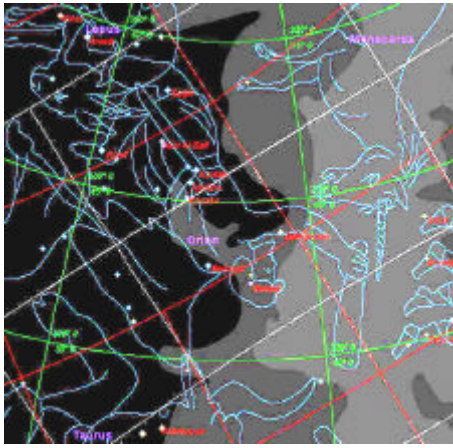
$$\log(B_1/B_2) = \log B_1 - \log B_2 = 2 = (-2/5) (M_1 - M_2)$$

Siendo C una constante cualquiera es $(-5/2) \log B + C = M$, o bien para $K = \log C$ es $10^M = K \cdot B^{-(5/2)}$ y también $B = K' \cdot 10^{(-2/5)M}$

Por ejemplo, la estrella Sirio, la más brillante del cielo, que pertenece a la constelación del Can Mayor, tiene una magnitud de $M_S = -1,46$, mientras que Formalhaut (del Pez Austral) tiene $M_F = 1,2$. Así entonces $M_F - M_S = 2,66$. Los valores de los brillos absolutos de ambas estrellas cumplirán la relación $B_S/B_F = 10^{2/5(M_F - M_S)} = 11,6$

Movimiento de las estrellas

El movimiento de las estrellas alrededor del polo correspondiente al hemisferio en el que está el observador es el único notable a simple vista. Se dijo ya que la posición relativa entre estrellas es prácticamente invariable sobre la bóveda y por eso se las llama “estrellas fijas”, para diferenciarlas de el sol, la luna, los planetas y los cometas, que cambian su posición relativa entre sí y con respecto al resto de los astros. Desde la antigüedad el hombre ha ima-



ginado que grupos de estrellas dibujaban figuras mitológicas y objetos familiares. Son las constelaciones, por ejemplo se ve en la figura la del cazador Orión (con las Tres Marías en el cinturón) pegándole al Mino-tauro, mientras el toro (Taurus) trata de embestirlo y la liebre (Lepus) corre despavorida. Se ven también los pies de los mellizos (Gemini).

Observando el aspecto y posición relativa de las estrellas con telescopios se detectan entre algunas de ellas pequeños movimientos alrededor de un punto fijo. Aumentando la resolución del aparato, se ve que se trata en realidad de dos o más estrellas próximas, que orbitan alrededor de su centro de gravedad. Por ejemplo Sirio está constituido por un par: una estrella pequeña de gran masa y otra de mayor tamaño, más liviana.

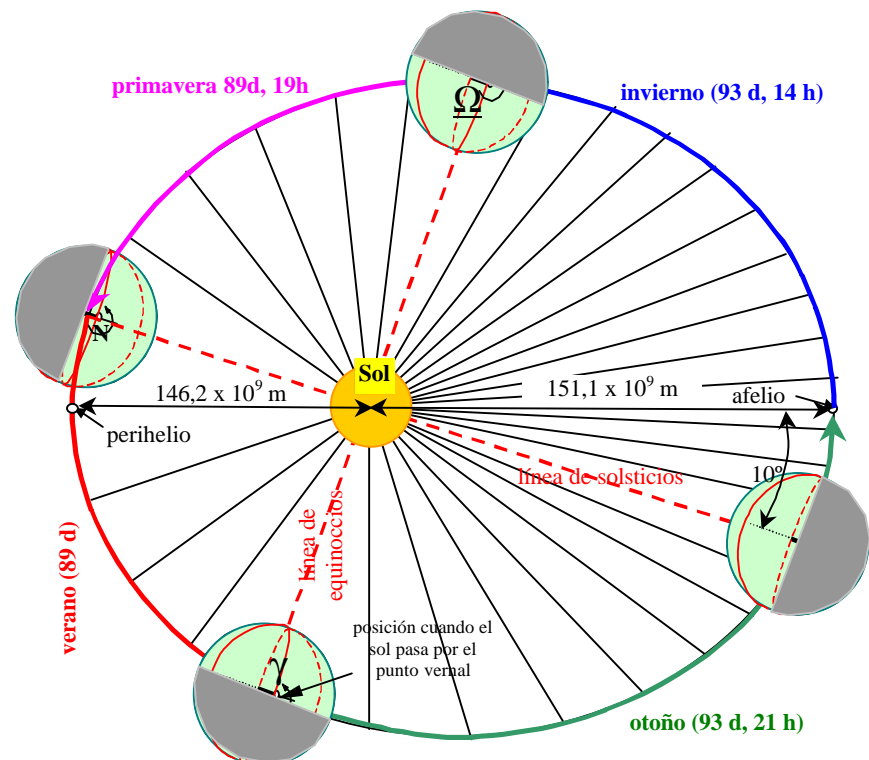
Movimientos aparentes y absolutos del sol y la tierra

El sol y las estaciones

Desde el punto de vista de su constitución, el sol es una estrella más, un globo de plasma a alta temperatura, sede de reacciones nucleares de fusión que generan la energía irradiada al espacio. Por estar muy cercano a la tierra, el sol tiene movimientos aparentes diferentes a las de las estrellas fijas. Se nos aparece como un disco brillante del tamaño aproximado de una moneda sostenida con el brazo extendido (subtiende con un observador en la tierra un ángulo de $0,52^\circ$). Como se sabe, tiene un movimiento diurno alrededor del polo, como las otras estrellas. Pero además participa de otro movimiento más lento que se superpone al diurno y que consiste en una revolución anual (con un período de 365 días, 5 horas, 48 min, 45,5 seg) siguiendo la eclíptica a lo largo del cielo. Así, su altura máxima sobre el horizonte varía durante el año para un mismo punto de la Tierra. En el hemisferio sur el sol alcanza el punto más alto el 20/21 de diciembre, correspondiendo esa fecha al día más largo del año, cuando el astro está entre Sagitario y Escorpio, en un punto de la eclíptica llamado solsticio de verano. (Solsticio viene de sol y stare = detenerse). Los días comienzan a acortarse a partir de esa fecha debido a la declinación gradual del sol, primero lentamente para luego hacerlo más rápidamente hasta llegar al solsticio de invierno, alrededor del 21 de junio. La mayor velocidad de acortamiento del día se alcanza en el equinoccio de otoño, que como ya se dijo se alcanza el 20/21 de marzo, cuando el sol está en el punto vernal. De allí en adelante los días se acortan cada vez más lentamente, hasta estacionarse su duración en el día más corto del año, que ocurre alrededor del 21 de junio cuando el sol alcanza el solsticio de invierno, en el que llega a su punto más bajo. Comienzan a partir de esa fecha a alargarse los días, primero lentamente para hacerlo a máxima velocidad cuando el sol alcanza el opuesto al punto vernal, o sea el equinoccio de primavera que corresponde al 20/21 de septiembre. Siguen a partir de esta fecha alargándose de los días, aunque cada vez a menor velocidad, para llegar al solsticio de verano, en el que se estaciona su duración para volver a acortarse después y seguir otro ciclo anual.

El observador terrestre ve que el sol describe una trayectoria alrededor de la tierra. Un observador fuera de la misma tendría una visión equivalente, de que es la tierra la que gira alrededor del sol.

Es el punto de vista que se ve en la figura, más adecuado a la comprensión de los fenómenos que el del observador terrestre si se le agregan algunos conocimientos de geometría y mecánica.

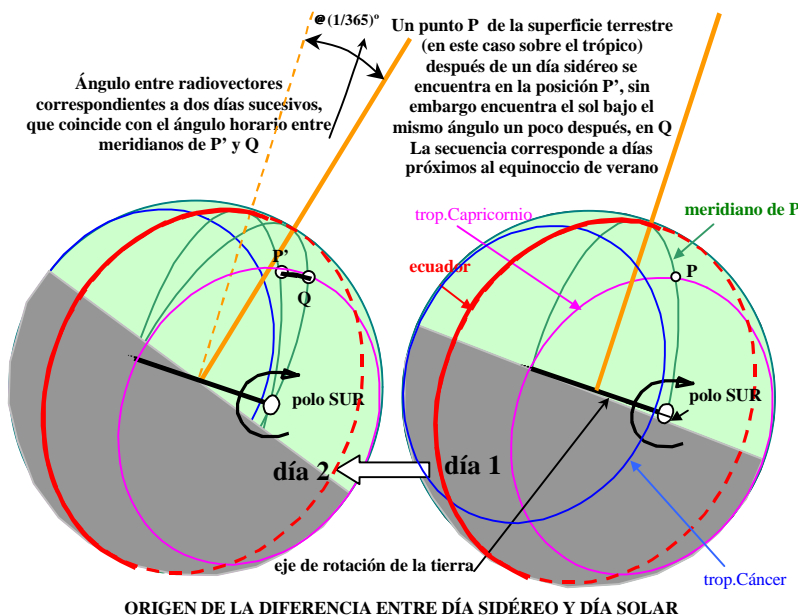


Aplicando las leyes generales del movimiento planetario que se deducen de la ley de gravitación universal de Newton, se sabe que la trayectoria de la tierra es elíptica y que el sol ocupa uno de sus focos. Ello implica que la distancia entre tierra y sol fluctúa entre un mínimo y un máximo. El primero ocurre cuando la tierra pasa por el punto de la

órbita llamada **perihelio** (a 146,2 millones de Km del Sol), y el segundo, cuando pasa por el **afelio** (a 151,1 millones de Km). Así, perihelio y afelio son puntos opuestos al sol situados sobre el eje mayor de la elipse.

La rotación de la tierra alrededor de un eje de dirección constante con respecto a las estrellas fijas explica el movimiento diurno aparente general de todos los astros. El hecho de que el eje de rotación de la tierra esté inclinado con respecto al plano de la órbita en $90^\circ - 23,5^\circ = 66,5^\circ$ permite entender que la altura máxima del sol sobre el horizonte varíe a lo largo del año en cada punto del globo.

Los rayos del sol caen siempre perpendicularmente a la superficie terrestre en el punto más cercano a aquél. Despreciando el movimiento de traslación alrededor del sol durante una revolución de la tierra, la sucesión de estos puntos durante el día describe un círculo sobre la misma. Cuando el sol está en el punto vernal, este círculo de máxima iluminación coincide con el ecuador. De las figuras surge que durante ese lapso el eje de rotación de la tierra es perpendicular a la dirección con el sol y por lo tanto la mitad iluminada tiene el límite coincidente con un meridiano terrestre, hecho que explica la igualdad entre día y noche para todos los puntos del globo en los equinoccios. Con idénticas consideraciones se ve que esta situación se repite cuando el sol está en el punto opuesto, es decir cuando empieza la primavera. En cambio, en cualquier otra posición su órbita, el eje de la tierra no es perpendicular a los rayos solares y el punto de máxima iluminación describe un círculo menor, paralelo al ecuador. En particular, cuando la tierra está sobre la línea de los trópicos, el eje forma con los rayos solares un ángulo mínimo de $66,5^\circ$, y el sol cae perpendicularmente en círculos llamados trópicos, que son paralelos de latitud complementaria de $22,5^\circ$ hacia el norte (trópico de Cáncer) y hacia el sur (trópico de Capricornio).



Tiempo sidéreo, tiempo solar y solar medio. Duración desigual de las estaciones

Para comprender lo que sigue, téngase presente que:

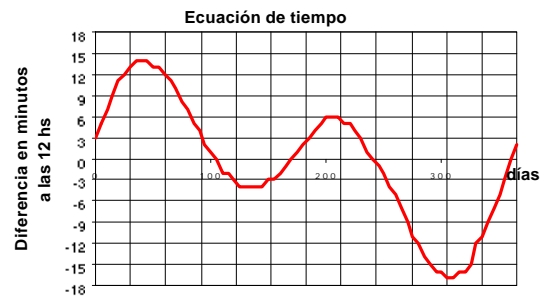
- La tierra posee dos movimientos independientes: uno de rotación con velocidad angular constante alrededor de su eje, y otro de traslación a lo largo de su órbita, que es una elipse con el sol en uno de sus focos.
- El movimiento de traslación está regido por las leyes del movimiento central con fuerza proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia, lo que implica que el radiovector sol/tierra que determina la órbita elíptica mencionada, barre igual superficie en

tiempos iguales (velocidad areolar constante). De ello resulta que cuando la tierra está más cerca del sol mayor será su velocidad de traslación hasta llegar a la máxima en el perihelio de la órbita, reduciéndose después hasta llegar al afelio, en la que es mínima. Este hecho explica que las dos estaciones más largas sean las que corresponden al pasaje de la tierra más cercano al afelio y las otras dos, más cortas, corresponderán al pasaje de la tierra por el perihelio.

- El día sidéreo es el tiempo en que las estrellas dan una vuelta completa alrededor del polo, o lo que es equivalente, el tiempo en que la tierra da una revolución completa alrededor de su eje. Este período, de 24 horas sidéreas, es sensiblemente constante. La tierra también se desplaza sobre su órbita siguiendo un arco de elipse. La dirección de los rayos solares (no paralelos) cambia en un día sidéreo un ángulo de aproximadamente $(1/365)^\circ$ con respecto al eje de la tierra, lo que implica que un punto P encuentre al sol bajo el mismo ángulo al día siguiente en Q, un poco después de llegar a dar una vuelta completa en P'. Resulta entonces que el día solar es más largo que el sidéreo en un valor que cambia durante el año, de acuerdo con la variación de la velocidad de traslación de la tierra. En término medio anual, el día solar es 3.93 minutos más largo que el sidéreo, lo que durante el año acumula una diferencia de 24 horas: en efecto, yendo a la figura anterior, se ve que el arco acumulado P'Q en un año es un circunferencia completa.
- Para fijar una unidad de tiempo constante, se imagina una tierra ficticia que gira en una órbita perfectamente circular, de diámetro igual a la distancia afelio-perihelio. El tiempo que tardaría en este esquema el sol ficticio en pasar dos veces consecutivas por el mismo meridiano se llama "**día solar medio o trópico**". Así, el año trópico dura 365,2422 días solares medios, y un día solar medio dura 23 horas, 56 minutos y 4 segundos sidéreos.

Ecuación de tiempo

Se pasa del tiempo verdadero (relacionado con la posición real del sol) al tiempo medio (el que marcan nuestros relojes, cuya marcha es regular) sumando al primero la diferencia entre la ascensión recta del sol real y la del sol ficticio. Dicha diferencia, que se conoce como “**ecuación de tiempo**”, se resume en tablas numéricas con las que se ha confeccionado el gráfico adjunto, válido para el meridiano de Greenwich. Con dichas tablas, un reloj y un gnomon (reloj de sol) se puede calcular la hora verdadera de un lugar, relativa al paso del sol por el meridiano.

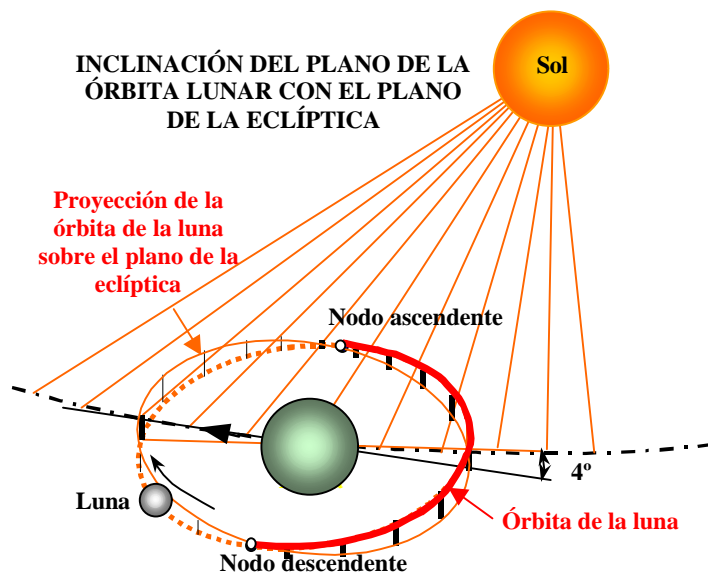
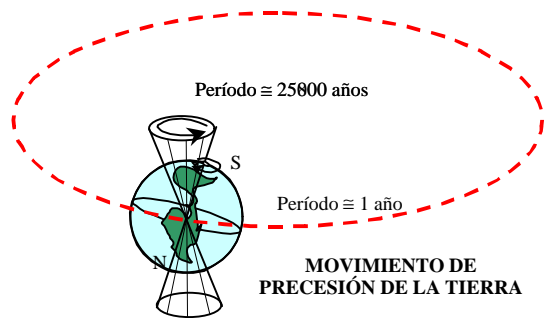


Desigual duración de las estaciones

Las cuatro estaciones están caracterizadas por los respectivos arcos de la órbita delimitados por su intersección con la línea de solsticios y la de equinoccios. La inclinación del eje de la tierra determina la posición de dichos puntos sobre la órbita, y hace que actualmente no coincidan con los ejes de simetría de la misma. Ello implica la desigual duración entre primavera y verano australes (19 horas de diferencia a favor de la primera), y entre otoño e invierno australes (7 hs más largo el primero).

Precesión de los equinoccios.

La tierra es un gran trompo con el eje inclinado con respecto al campo de atracción solar. Además no es exactamente una esfera, sino un elipsoide de revolución achatado en los polos. En mecánica se estudia el movimiento de precesión de los trompos cuando su eje no está vertical, hecho que genera una cupla de volteo. A la cupla que tiende a cambiar de dirección el eje del trompo, éste reacciona con una resistencia derivada de su movimiento de rotación, que tiende a hacer girar la posición del eje, el que describe un cono. La tierra está sujeta a un momento de torsión ocasionado por la desigual atracción del sol sobre la parte más próxima y la más alejada del abultamiento ecuatorial y entonces no escapa a las leyes de la mecánica. Presenta así un lento movimiento de precesión. Así, su eje describe un cono con un período aproximado de 25800 años por vuelta, variando la posición de los solsticios y equinoccios con respecto a los ejes de la órbita con igual período. Ya se mencionó que hay casi un signo zodiacal de corrimiento desde que se hicieron los primeros estudios cosmo-gráficos. Actualmente hay una diferencia de 10° entre el afelio y el solsticio de verano austral. Esa diferencia va disminuyendo a razón de 62” por año. A este ritmo, en 5800 años coincidirán solsticio y perihelio, igualándose entonces la duración de primavera con verano y otoño con invierno.



La luna

Movimientos de la luna

Después del sol, la luna es el astro más visible en el cielo. El origen de la luna es presumiblemente un desprendimiento de la tierra ocurrido en tiempos remotos. Ello es compatible con su composición geológica parecida y con el hecho de presentar siempre la misma cara vuelta hacia la tierra, como recordando que alguna vez fué parte de ella¹. Así, desde la tierra puede verse sólo una mitad de la luna, la cara que siempre mira hacia nosotros². El aspecto de la otra cara se pudo conocer recién en octubre de 1959, gracias al portentoso viaje de la sonda rusa Lunik, que transmitió las primeras fotos de la cara oculta tomadas al pasar por detrás del satélite.

¹ La estabilización de la rotación de un satélite mirando siempre al astro central se da en muchos casos, entre ellos Mercurio y Venus. La fuerza orientadora proviene de la diferente atracción sobre hemisferios de diferente densidad.

² En rigor la luna parece menearse ligeramente, en un movimiento llamado de “libración”, mostrándonos algo más de la mitad hacia un lado y hacia el otro. Parte de este efecto se debe a un movimiento real de balanceo y parte a la visión del astro a diferentes distancias y posiciones.

La observación de la luna, que viene de muy antiguo, muestra que cambia de aspecto cíclicamente en un período de aproximadamente 29 días, desde una tenue línea curva cuando está muy cerca del sol (luna nueva, o **novilunio**) hasta un disco lleno cuando se opone al sol (luna llena o **plenilunio**), pasando por fases de iluminación creciente (cuarto creciente). Después, de luna llena se encamina hacia una próxima luna nueva, pasando por la misma sucesión de fases pero en orden inverso (cuarto menguante).

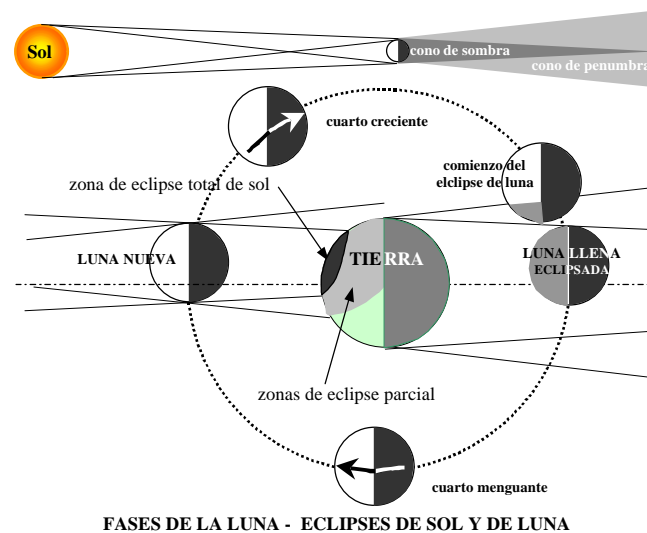
La ocurrencia de las fases de la luna y de eventuales eclipses, en los que el astro en su camino tapa total o parcialmente al sol (eclipse de sol) o se oscurece cuando le hace sombra la tierra (eclipse de luna), se explican sabiendo que es un satélite de la tierra que la circunda siguiendo una órbita elíptica de escasa excentricidad con foco en la tierra,, a una distancia media de 384800 Km.

Nuestro satélite tiene un diámetro de 3478 Km y por lo tanto subtiende hacia la tierra un ángulo $3478/384800 = 0,009$ radianes = $0,52^\circ$. Este tamaño aparente, muy parecido al del sol, explica que en los eclipses totales de sol la luna tape casi exactamente el disco y se pueda estudiar cómodamente la corona solar.

El tiempo que transcurre entre dos novilunios es de 2551443 segundos, o sea 29,5306 días y se llama “tiempo de **revolución sinódica**”. Algo menor, 2334935,8 segundos = 27,02472 días, es el lapso entre dos pasos consecutivos por el nodo ascendente. Este es el “tiempo de **revolución draconítica**”.

Eclipses de sol y de luna

Los planos de la órbita lunar y el de la eclíptica están muy próximos aunque no coinciden exactamente. Si así fuera, a cada revolución del satélite alrededor nuestro se produciría un eclipse de luna y otro de sol, al alinearse los tres astros. Esta alineación ocurre menos frecuentemente, pues el plano de la eclíptica y de la órbita lunar forman un ángulo pequeño y variable con el tiempo de 4 a 5° , y sólo cuando la luna atraviesa el plano de la eclíptica estando simultáneamente en plenilunio o novilunio tienen lugar respectivamente la proyección del cono de sombra de tierra sobre luna, o de luna sobre tierra. Los dos puntos en que la órbita de la luna corta al plano de la eclíptica se llaman nodos y pueden ser ascendente o descendente según el sentido del paso de la luna a través de ellos. En razón de las variaciones en el ángulo de la órbita (4 a 5°) los nodos no son fijos sino que se desplazan a razón de 20° por año



El tiempo que transcurre entre dos novilunios es de 2551443 segundos, o sea 29,5306 días y se llama “tiempo de **revolución sinódica**”. Algo menor, 2334935,8 segundos = 27,02472 días, es el lapso entre dos pasos consecutivos por el nodo ascendente. Este es el “tiempo de **revolución draconítica**”.

Cálculo aproximado de la ocurrencia de los eclipses

Se vio ya que la condición para que ocurra un eclipse de sol o de luna es que coincidan novilunio o plenilunio, con el paso de la luna por uno de los dos nodos (ascendente o descendente).

Producido un eclipse, el próximo ocurrirá cuando vuelvan a coincidir el principio de ambos ciclos de período distinto $T_1=T_s$ (sinódico) y $T_2=T_d$ (draconítico), con una tolerancia cuyo valor está ligado a las consideraciones siguientes:

co), con una tolerancia cuyo valor está ligado a las consideraciones siguientes:

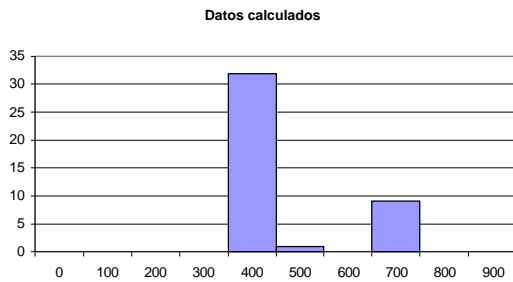
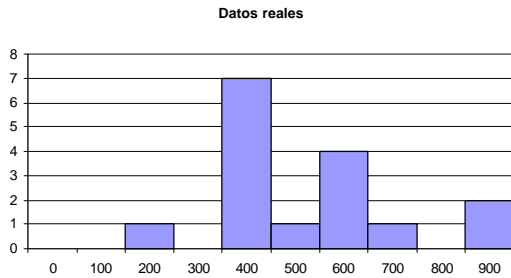
REGISTROS DE ECLIPSES TOTALES DE SOL		
fecha del eclipse total	día juliano	diferencia
22/05/84	30824	
12/11/85	31363	539
03/10/86	31688	325
29/03/87	31865	177
18/03/88	32220	355
22/07/90	33076	856
11/07/91	33430	354
30/06/92	33785	355
03/11/94	34641	856
24/10/95	34996	355
09/03/97	35498	502
26/02/98	35852	354
11/08/99	36383	531
21/06/01	37063	680
04/12/02	37594	531
23/11/03	37948	354
dif. promedio		475
desvío standard		196.736033

La luna subtiende $0,52^\circ$, y por lo tanto tarda en atravesar completamente la eclíptica (bajo un ángulo de 4°) unas 17 h, en las cuales recorre 10° de su órbita. Recíprocamente, la tierra vista desde la luna subtiende un ángulo de $0,95^\circ$, y tarda en atravesar el plano de la órbita lunar un tiempo proporcionalmente mayor, igual a $0,95/0,52 \times 17 = 31$ h. Por lo tanto podrá ocurrir el eclipse aunque los ciclos draconítico y sinódico estén desfasados un lapso que valdrá como máximo la suma de la duración de los eventos descriptos, es decir $31+17=48$ horas.

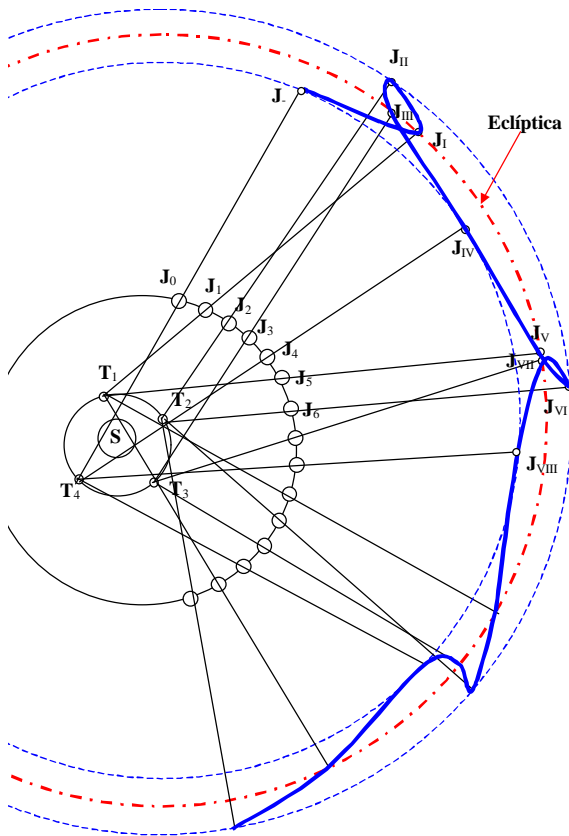
En la tabla adjunta se consignan los eclipses totales de sol registrados durante diez años. La diferencia promedio entre eclipses consecutivos es de 475 días, con un desvío standard de 197.

CÁLCULO DE ECLIPSES DE SOL	
Nº de eclipses totales de sol	44
período (años)	60
diferencia promedio (d)	479.71
desv. standard	218
tolerancia máxima (hs)	43

El cálculo según el algoritmo señalado antes, simulado durante 60 años, arroja un promedio y desvío parecidos a los de los datos reales, conside-



$\pi\lambda\nu\sigma$ = errante). Se veía también que dos de ellos (Mercurio y Venus), giraban efectivamente alrededor del sol.



a posiciones T_2 y T_4 , por debajo y por encima del plano de la órbita de J, cortan a la bóveda respectivamente en el paralelo superior e inferior.

El dibujo representa una proyección cónica de la traza sobre el cielo vista desde el polo sur celeste. La traza real observada sobre la bóveda desde la tierra se obtiene rectificando el eje curvo del dibujo, que es el arco que representa la eclíptica.

rando que el comienzo de los ciclos pueden tener hasta una diferencia máxima de 43 horas para que haya efectivamente eclipse. Estas diferencias se distribuyen con un promedio de 22 h y un desvío standard de 12 h.

Se presentan las tablas con estos resultados y los histogramas respectivos obtenidos con una planilla de cálculo que se puede solicitar por correo electrónico a americodini@hotmail.com

Planetas

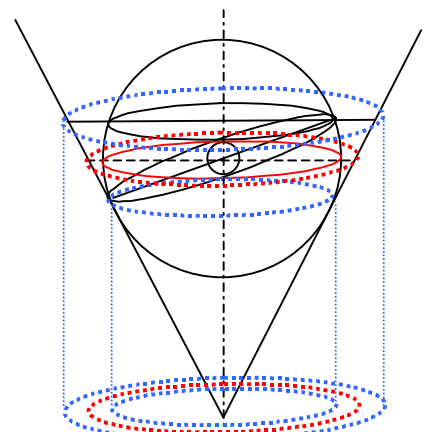
La observación atenta del cielo mostró a los primeros cosmógrafos que había astros que, a diferencia de las estrellas, la luna y el sol, describían trayectorias aparentemente caprichosas, con rizos y lazos, sin llegar a circunvalar los polos celestes. Se presentaban todos ellos en la región zodiacal, esto es cerca de la eclíptica.

Para explicar estos hechos basándose en una estructura geocéntrica del universo (Tolomeo), se debía admitir la existencia de cuerpos invisibles alrededor de los cuales giraban algunos de estos astros rebeldes a los que se llamó planetas (del griego $\pi\lambda\nu\sigma$ = errante). Se veía también que dos de ellos (Mercurio y Venus), giraban efectivamente alrededor del sol.

Este aparente desorden celeste pasó a explicarse en forma sencilla a partir de Copérnico, con un modelo en el que los planetas giran todos ellos alrededor del sol en órbitas elípticas de pequeña excentricidad.

En la figura se esquematiza la trayectoria aparente (proyección de la visual sobre la bóveda celeste) de un planeta J que en razón de su mayor distancia al sol S que la tierra T tiene menor velocidad de rotación sobre su órbita, cubriendo un arco J_1 - J_5 mientras la tierra cubre una vuelta entera alrededor del sol, es decir en un año terrestre.

Se supone en el ejemplo algo que normalmente ocurre con todos los planetas, que el plano de la órbita de J no coincide exactamente con el plano de la órbita terrestre, que es por definición el de la eclíptica. Por tal motivo la traza de su trayectoria en la bóveda oscila entre dos círculos paralelos a uno y otro lado de aquélla. Así, cuando la tierra está en las posiciones diametrales T_1 y T_3 sobre el plano de la órbita de J, las visuales respectivas cortan a la bóveda sobre la eclíptica, mientras que las visuales que corresponden



Esquema de la proyección utilizada para dibujar la traza