

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO “Ing. ÁNGEL DI PALMA”

NOTAS del CURSO de

“ INICIACIÓN a la ASTRONOMÍA ”

Introducción : Propósito y contenidos del curso

Durante varios años el observatorio de Mercedes ha dictado una serie de cursos de astronomía, comenzando por este básico, introductorio, y continuando con otros cursos o talleres que profundizan los conceptos – según las inquietudes de los asistentes - que aquí se dan. Lógicamente, este curso inicial es el que cuenta con mas concurrencia, porque intenta dar una respuesta a las preguntas *elementales* que nos hacemos cuando miramos el cielo y queremos interpretar lo que en él vemos. Y ponemos especial énfasis en “interpretar” porque apunta a nuestra idea sobre este curso: OBSERVAR EL CIELO, conocerlo. Construir con cierto esfuerzo nuestro conocimiento de manera tal que lo aprendido sea aprehendido, incorporado a nuestro saber cotidiano. Si la astronomía es “la ciencia que estudia los astros” (movimientos reales y aparentes, sus leyes; naturaleza y características de los mismos, etc) consideramos importante llegar a ese conocimiento, en la medida de lo posible, en la forma en que fue históricamente construido: observando. En este sentido avanzaremos en nuestra exposición. Descubriremos que la astronomía es una ciencia integradora, es decir recurre a muchas disciplinas; su casi total ausencia en planes de estudio actuales es otro motivo para el dictado de estos cursos.

En función de lo expuesto:

- Insistimos en observar: si el clima no nos acompaña en los días de curso, los Viernes hay atención al público en el Observatorio y los podemos aprovechar. Si esto falla, a reunirnos o reunirse cuando y donde se pueda, o salir al jardín (si no está muy iluminado...). LA CUESTIÓN ES OBSERVAR EL CIELO.
- Puede ser necesario abrigarse, o repeler mosquitos. En todo caso, una pequeña linterna (o, si tenemos una grande, disminuir su luz con un celofán rojo delante) es necesaria para ver las cartas celestes sin encandilarnos.
- Estas notas son un complemento al curso (fundamentalmente: tablas, gráficos y diagramas, definiciones y notas importantes) para completar con apuntes tomados en clases. El OAMM posee una biblioteca especializada, que eventualmente se puede consultar.
- El CD que (opcionalmente) se entrega tiene un soft excelente para generar cartas celestes; las que usaremos en este curso (11 en total) se generaron con él. Obviamente, el CD sólo es útil al que posee una PC con Windows 95 o superior. Si tenemos PC y acceso a Internet, otros datos (tablas, p.ej. del “Manual Astronómico”, que aquí también se encuentran) pueden consultarse en la página web del observatorio, www.astronomiamercedes.org , o en muchos otros links dados en la misma.

(I) OBSERVANDO EL CIELO A SIMPLE VISTA

ESTRELLAS Y CONSTELACIONES



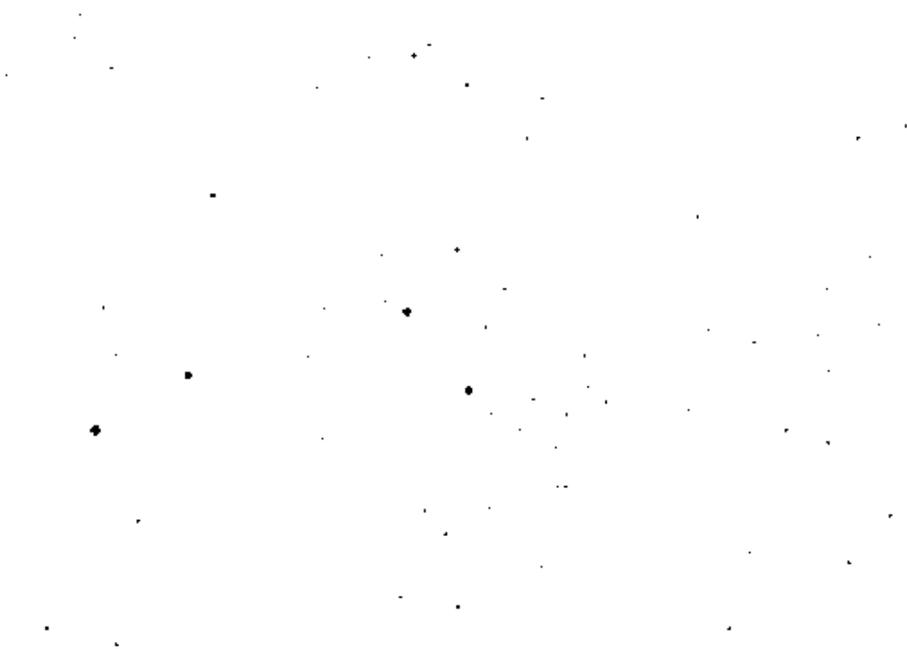
El “cielo” es la porción del universo que podemos observar desde un determinado lugar y a una cierta hora.

Nuestra vista abarca unos 70° ; por lo tanto, usaremos cartas celestes que nos muestran una representación del cielo de unos 90° , para minimizar distorsión en los bordes.

Para mayor claridad, dibujamos en “negativo”, es decir puntos negros sobre fondo blanco. El tamaño de los puntos (estrellas) guarda relación con su brillo aparente o magnitud: más brillantes, mayor diámetro del punto.

Si observamos el cielo hacia el Sur a principios de la noche en Abril, observamos estas estrellas; en particular, las cuatro del centro de la imagen forman una constelación, Crux o cruz del sur.

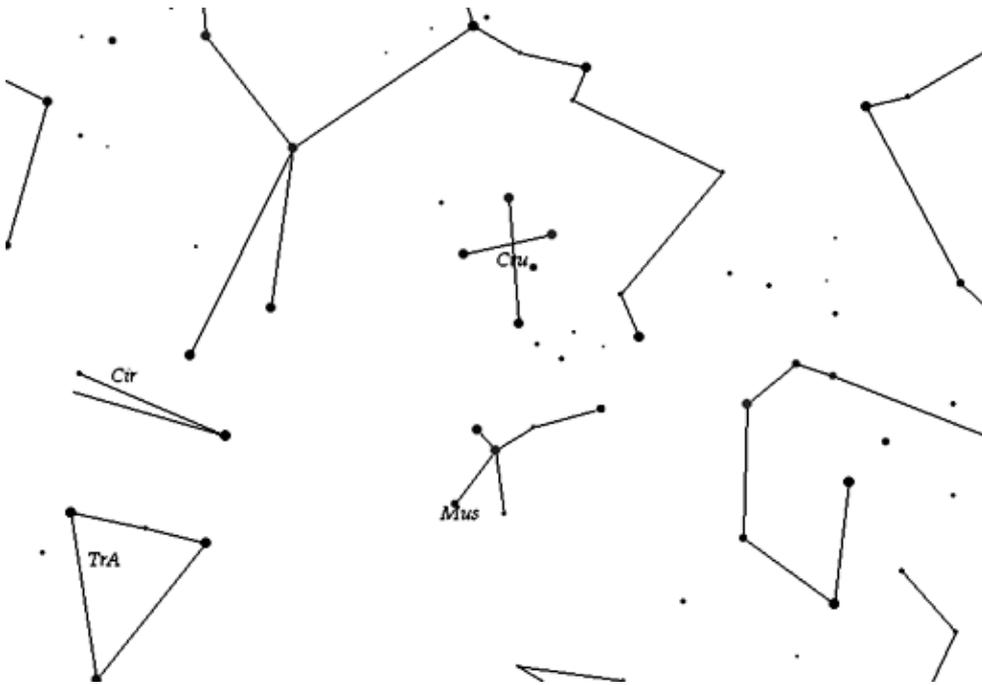
CARTAS CELESTES



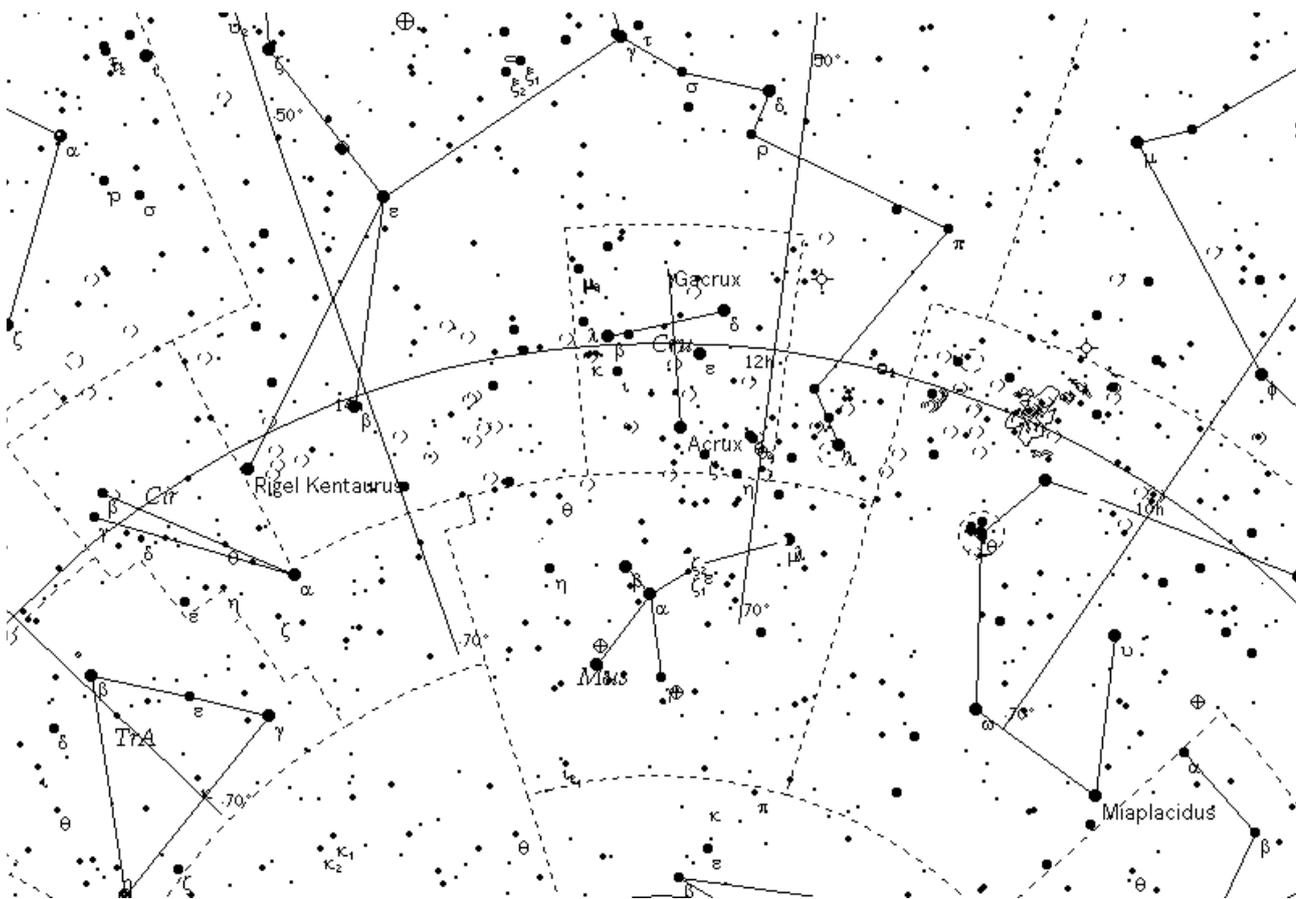
Podemos dibujar esa parte del cielo....

Las constelaciones son dibujos o figuras imaginarias y aleatorias que trazamos en el cielo, generalmente uniendo estrellas de una zona definida. Su uso se remonta a los inicios de la astronomía. En la actualidad, nos sirven como guía para identificar sectores del cielo, donde podemos encontrar objetos que nos interese observar. Las estrellas que son parte de una constelación no tienen relación física entre sí, es decir no son iguales ni están a la misma distancia de nosotros, etc. Desde otro lugar de nuestra galaxia, no veríamos la misma “forma”.

Las cartas que usaremos nos muestran para este lugar y fecha del curso, a las 21 hs., el cielo (estrellas, constel.) hacia el S; constelaciones hacia el N; coordenadas horizontales hacia el S, en



...O usando una PC y el soft adecuado (“planetario”) representarla, marcando astros, constelaciones, etc.



Además, podemos agregar otros datos: objetos débiles, límites de constelaciones, su “dibujo”, nombres de las mismas y de estrellas y otros objetos, coordenadas de cierto tipo, etc. SIEMPRE debemos especificar las coordenadas del lugar donde observamos, así como la fecha y la hora.

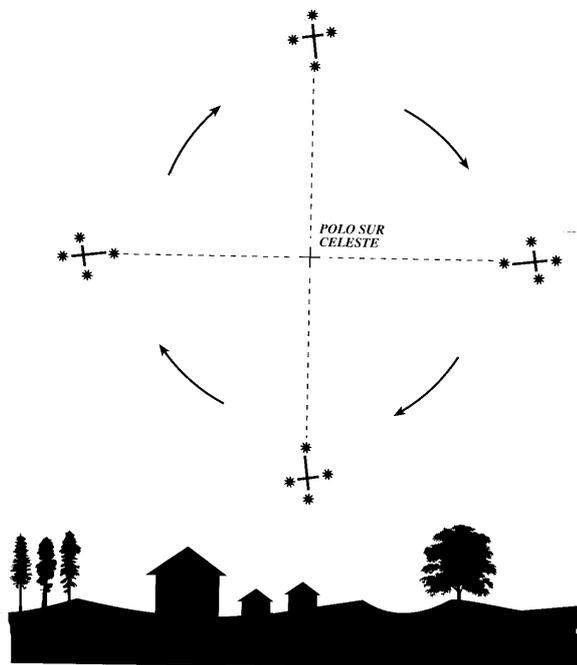
Las 88 Constelaciones Oficiales

La tabla presenta las 88 constelaciones reconocidas por la Unión Astronómica Internacional para ser usadas en catálogos, mapas y publicaciones científicas. Las columnas listan: Nombre en latín; Abreviatura IAU de 3 letras; Coordenadas (Ascensión Recta del centro de la constelación; Declinación del centro de la constelación); Traducción y/o significado (a veces, aproximado)

Nombre	Abrev.	AR	Dec.	Significado
Andromeda	And	1	40	Princesa de Etiopía
Antlia	Ant	10	-30	Inflador
Apus	Aps	16	-75	Ave del Paraíso
Aquarius	Aqr	23	-15	Aguatero (zodiacal)
Aquila	Aql	20	+5	Aguila
Ara	Ara	17	-55	Altar
Aries	Ari	3	+20	Cabra (zodiacal)
Auriga	Aur	5	40	Conductor de Carroza
Boötes	Boo	15	30	Boyero
Caelum	Cae	5	-40	Cielo
Camelopardalis	Cam	6	70	Jirafa
Cancer	Cnc	9	20	Cangrejo (zodiacal)
Canes Venatici	CVn	13	40	Perros de Caza
Canis Major	CMa	7	-20	Perro Mayor
Canis Minor	CMi	8	5	Perro Menor
Capricornus	Cap	21	-20	Cabra (zodiacal)
Carina	Car	8	-60	Quilla del Navío de Argos
Cassiopeia	Cas	1	60	Casiopea, Reina de Etiopía
Centaurus	Cen	13	-45	Centauro (ser mitológico)
Cepheus	Cep	22	70	Cefeo, Rey de Etiopía
Cetus	Cet	2	-10	Ballena
Chamaeleon	Cha	10	80	Camaleón
Circinus	Cir	15	-60	Compás
Columba	Col	6	-40	Paloma
Coma Berenices	Com	13	20	Cabellera de Berenice
Corona Austrina	CrA	19	-40	Corona Austral
Corona Borealis	CrB	16	30	Corona Boreal
Corvus	Crv	12	-20	Cuervo
Crater	Crt	11	-20	Cráter
Crux	Cru	12	-60	Cruz del Sur
Cygnus	Cyg	21	+40	Cisne
Delphinus	Del	21	10	Delfín
Dorado	Dor	5	-60	Dorado
Draco	Dra	16	60	Dragón
Equuleus	Equ	21	10	Potrillo
Eridanus	Eri	2\5	-20	Río Erídano
Fornax	For	3	-30	Horno
Gemini	Gem	7	20	Gemelos (zodiacal)
Grus	Gru	23	-45	Grulla
Hercules	Her	17	30	Hércules (personaje mitológico)
Horologium	Hor	3	-50	Reloj
Hydra	Hya	11	-20	Anguila Hembra
Hydrus	Hyi	2	-70	Anguila Macho
Indus	Ind	22	-60	Indio
Lacerta	Lac	22	55	Lagartija
Leo	Leo	11	15	León (zodiacal)
Leo Minor	LMi	10	30	León Menor
Lepus	Lep	6	-20	Liebre
Libra	Lib	15	-15	Balanza (zodiacal)
Lupus	Lup	15	-40	Lobo
Lynx	Lyn	8	-50	Lince
Lyra	Lyr	19	40	Lira
Mensa	Men	6	-80	Mesa
Microscopium	Mic	21	-40	Microscopio

Monoceros	Mon	7	0	Unicornio
Musca	Mus	13	-70	Mosca
Norma	Nor	16	-50	Escuadra
Octans	Oct	21	-85	Octante
Ophiuchus	Oph	17	-10	Serpentario (personaje mitológico)
Orion	Ori	6	5	Orión, el Cazador (personaje mitológico)
Pavo	Pav	20	-65	Pavo real
Pegasus	Peg	23	20	Pegaso, el Caballo Alado (personaje mitológico)
Perseus	Per	4	40	Perseo (personaje mitológico)
Phoenix	Phe	4	-50	Ave Fénix
Pictor	Pic	6	-50	Caballote del Pintor
Pisces	Psc	1	10	Peces (zodiacal)
Piscis Austrinus	PsA	22	-30	Pez Austral
Puppis	Pup	8	-30	Popa del Navío de Argos
Pyxis	Pyx	9	-30	Brújula del Navío de Argos
Reticulum	Ret	4	-60	Red
Sagitta	Sge	20	20	Flecha
Sagittarius	Sgr	19	-30	Sagitario, el Arquero (zodiacal)
Scorpius	Sco	17	-30	Escorpión (zodiacal)
Sculptor	Scl	0	-30	Escultor
Scutum	Sct	19	-10	Escudo
Serpens Cauda	Ser	16	10	Serpiente (se divide en dos)
Serpens Caput	Ser	18	-5	Serpiente
Sextans	Sex	10	0	Sextante
Taurus	Tau	5	15	Toro (Zodiacal)
Telescopium	Tel	19	-50	Telescopio
Triangulum	Tri	2	30	Triángulo
Triangulum Australe	TrA	16	-65	Triángulo Austral
Tucana	Tuc	0	-65	Tucán
Ursa Major	UMa	11	50	Osa Mayor
Ursa Minor	UMi	16	80	Osa Menor
Vela	Vel	10	-50	Vela del Navío de Argos
Virgo	Vir	13	0	Virgen (zodiacal)
Volans	Vol	8	-70	Pez Volador
Vulpecula	Vul	20	25	Zorro Pequeño

Nota: Las constelaciones con declinación superior a unos $+40^\circ$ no son visibles desde Mercedes.



Para ubicar el punto cardinal sur (S) usamos Cru para hallar el Polo Sur Celeste (PSC), bajando desde éste una vertical al horizonte. El dibujo es desde Mercedes, y sirve para cualquier mes y hora.

- 1) Identificar, en el cielo, PSC con Cru; determinar S,N, E, W.
- 2) ¿Algún otro medio de orientarnos?
- 3) Señalar en la carta Cru y PSC.
- 4) Identificar estrellas brillantes con sus nombres.
- 5) ¿Imaginamos alguna constelacion?
- 6) El brillo o magnitud aparente ¿Nos informa algo sobre las estrellas observadas?

A simple vista, con buenas condiciones, podemos ver unas 6000 estrellas, en total.

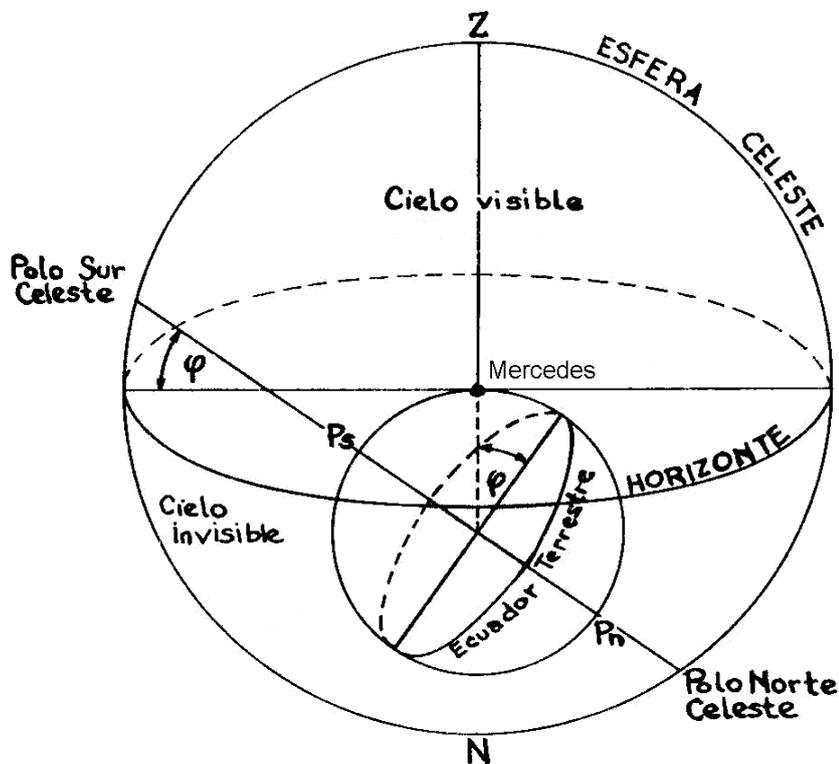
Al usar las cartas con las constelaciones marcadas, tener en cuenta que:

- a) En la carta se da el nombre abreviado de la constelación, por razones de claridad. Anótese el nombre completo detrás, o memorícelo (es más fácil de lo que parece).
- b) El dibujo de la constelación puede diferir con el de otros autores o soft. Casi nunca recuerda el objeto del que toma el nombre. Lo importante es reconocer la zona.
- c) Las constelaciones tienen límites, no están dibujados para no agregar líneas; y no tienen mayor importancia.
- d) No observemos cerca del horizonte, para evitar inconvenientes por refracción (desvío de la luz y por lo tanto deformación) y extinción (absorción de la luz y cambio del color). En lo posible, observar cerca del cenit (vertical al lugar: pero esto es sólo posible con unas pocas constelaciones, depende del lugar) o cerca del meridiano (línea que une el punto cardinal sur - PSC - cenit del observador - punto cardinal Norte: divide el cielo E - W). Más adelante definiremos estos términos con mayor rigor.
- e) Para observar constelaciones no es preciso un cielo absolutamente despejado y oscuro, pero algunas son difíciles de ver con luces y/o Luna brillante o con un cielo nuboso o velado (nube más o menos uniforme, tenue, difícil de percibir al ojo no entrenado o en lugares iluminados; confiere al cielo un aspecto lechoso).
- f) Es sabido que la pupila del ojo se dilata en condiciones de pobre iluminación para captar más luz, y se contrae al recibir mucha (adaptación). Como queremos observar objetos débiles (estrellas) debemos tener la pupila dilatada; por lo tanto, si queremos consultar las cartas, debemos iluminarlas con una luz tenue, en lo posible roja, para no encandilarnos.
- g) No tratar de reconocer todo el cielo de un vistazo. Ubicar la carta apropiada, orientada, reconocer una constelación o estrella notable, y a partir de ella avanzar a otra constelación. Repetir el proceso.
- h) Estas cartas están elaboradas para Mercedes y la fecha del curso, a las 21 hs. Unos pocos días de diferencia, a la misma hora, no cambia mucho (sólo para el caso de estrellas! Sí lo es para la Luna, p. ej.). Tampoco cambia si nos desplazamos a ciudades cercanas. Un par de horas de diferencia sí introduce un cambio importante y notable.
- i) Las estrellas de una constelación se denominan en cierto orden por letras griegas: α , β , γ , δ ,...seguida por el nombre de la constelación (más precisamente, el genitivo latino). Entonces Rigel Kent se transforma en "alfa Centaurii" o, abreviado, α Cen. Si no alcanza el alfabeto griego, se usan letras del alfabeto latino o directamente números. Unas pocas, brillantes y/o notables, tienen nombre "propio". Las muy débiles, solo números de catálogo.
- j) Obvio que no tiene sentido hablar de distancias lineales, p. ej. kilómetros, entre los astros (no sabemos su distancia). Pero podemos expresar la separación entre astros, e incluso su diámetro aparente en forma angular; así, el diámetro de la Luna y del Sol son más o menos iguales y equivalen aprox. a $1/2^\circ$; el ancho del dedo pulgar con el brazo extendido ante nuestros ojos equivale a unos 2° ; el puño cerrado en igual posición cubre alrededor de 10° y la mano abierta y extendida representan unos 20° entre pulgar y meñique. Los planetas tienen un diámetro aparente vistos con un telescopio, en cambio las estrellas son puntuales (en la práctica tienen un cierto diámetro aparente por efecto de la atmósfera y defectos de las ópticas, en general de 1 a 5 segundos de arco).

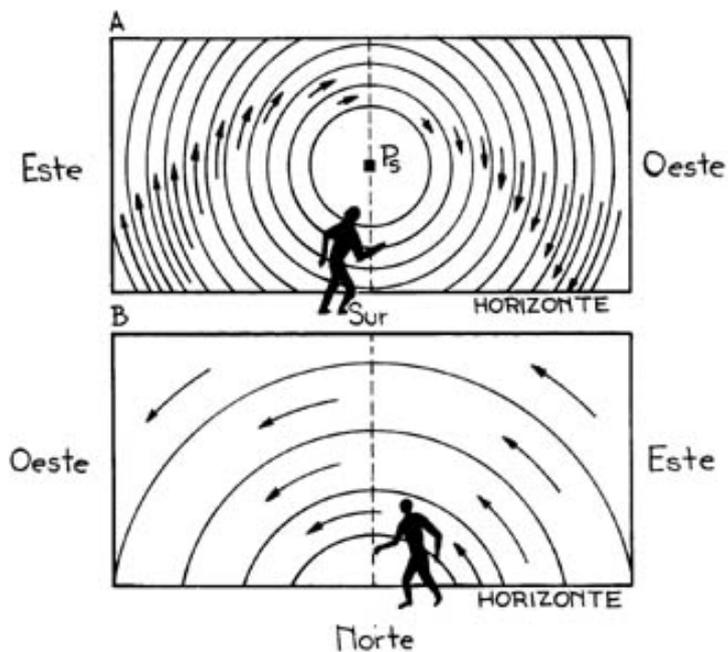
- 1) Reconocer las constelaciones más notables de las cartas celestes suministradas.
- 2) Indicar objetos notables en el cielo: estrellas cercanas (después del Sol, claro); la Vía Láctea (nuestra galaxia, que NO es una constelación, y a la que pertenecen todas las estrellas individuales que vemos); algún cúmulo globular y algún cúmulo abierto; alguna nebulosa.
- 3) ¿La constelación de su "signo astrológico" (!), es visible? ¿Cuándo lo es, relacionado con su cumpleaños? ¿Por qué de día no vemos estrellas?
- 4) ¿Se ve algún planeta? ¿La Luna? ¿Algún otro objeto del sistema solar? ¿Y satélites artificiales?
- 5) ¿En este lugar y a esta hora, el cielo es igual que el visto en otras fechas? ¿Por qué?
- 6) Si en la fecha de la carta y en este lugar observamos varias horas (o un rato cada hora, p. ej.): ¿Que cambios, o sea movimientos en el cielo, notamos? Márquese en cada carta (S, N, E, W) los desplazamientos observados. ¿Es para todas igual?
- 7) ¿Hasta qué magnitud aparente puede observar? Regístrese el estado del cielo y luces cercanas.
- 8) Si observo con largavistas o un telescopio ¿Puedo ver más estrellas? ¿Resolverlas mejor? ¿Verlas "más grandes"? ¿Y con un planeta? Relacionado con el funcionamiento del ojo ¿Qué hace un telescopio?
- 9) ¿Puede estimar que separación hay entre las distintas estrellas de Crux?
- 10) ¿A qué altura sobre el horizonte S se encuentra el PSC? ¿Esa medida, le recuerda alguna otra?
- 11) ¿Vemos estrellas de distintos colores? ¿Las estrellas de una constelación, están todas a igual distancia? ¿Son físicamente iguales? ¿Y las de un cúmulo?
- 12) ¿Con lo visto hasta ahora, podemos determinar distancias a un astro? ¿Podemos decidir si se encuentran todos a la misma, o no?

(II) LA ESFERA CELESTE

Llamamos *esfera celeste* a la representación convencional del *cielo* (parte del universo que veo en un lugar y momento dado) como una envoltura esférica de **radio infinito** sobre la que aparecen **proyectados** los astros; el observador se encuentra en el centro de esa esfera y en un instante dado ve, teóricamente, la mitad de la misma.



Puntos notables. Z = cenit, N = nadir; $\phi = 35^\circ$ en Mercedes.

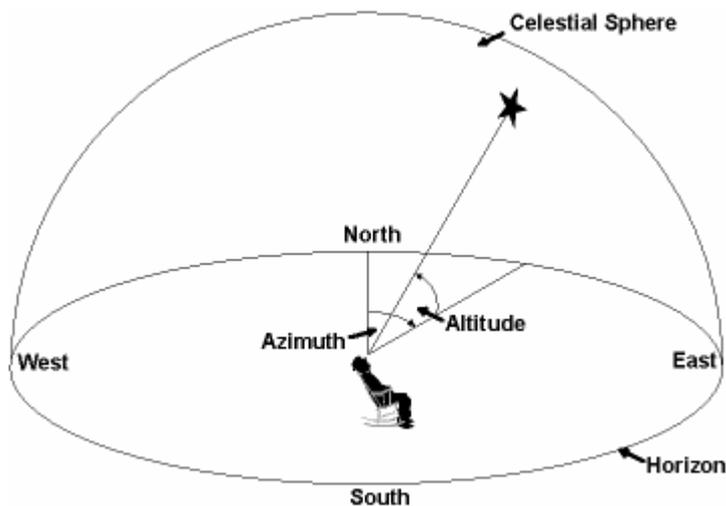


Dispositivo para medir distancias angulares:

Para medir distancias angulares, armaremos un dispositivo, para lo que necesitaremos: una regla milimetrada de 30 cm, y un hilo de 70 cm de largo aproximadamente. Con un taladro o un alambre caliente se perfora la regla por su punto medio, de manera de realizar un pequeño orificio que permita el paso del hilo. Se lo fija a la regla mediante un nudo que se hace en la parte posterior, y se culmina el dispositivo haciendo otro nudo o marcando con un palito sobre el hilo a una distancia de 57,3 cm de la regla. Para medir la distancia o separación angular entre dos estrellas o astros, se procede así: Se hace coincidir una división de la regla con una de las estrellas, sosteniendo tirante el hilo y mirando con el nudo o marca a la altura de un ojo, manteniendo el otro cerrado; se gira la regla para ver ambas estrellas alineadas sobre la escala de la regla; se lee la división que corresponde a la segunda estrella. Si se mantuvo el hilo tirante, entonces un centímetro de la regla corresponde a un grado de separación angular, por lo tanto, la distancia angular entre las dos estrellas resulta de restar la primera lectura de la segunda. Por ejemplo, si la estrella R se ajustó a 10 cm y la estrella S a 25 cm, entonces la distancia angular entre R y S es $25 - 10 = 15^\circ$ ¿Por qué esta medida en cm coincide con la distancia angular en grados?. La respuesta es la siguiente: Si queremos que 1 cm equivalga a 1° necesitamos disponer de una circunferencia que tenga una longitud de 360 cm (la misma cantidad de cm que de grados). En esta situación, sabiendo que la longitud de la circunferencia se calcula con $L = 2 \cdot \pi \cdot R$, despejamos R, lo que resulta: $R = L / (2 \cdot \pi) = 360 \text{ cm} / (2 \cdot \pi) = 57,3 \text{ cm}$, lo que justifica la longitud del hilo, que coincide con el radio de la circunferencia. (Para aumentar la precisión, se debería curvar la regla para que tome la forma de arco de circunferencia cuyo radio es 57,3 cm, pero para nuestros fines, la precisión es adecuada).

SISTEMAS de COORDENADAS Nos permiten indicar la posición de un astro en la esfera celeste.

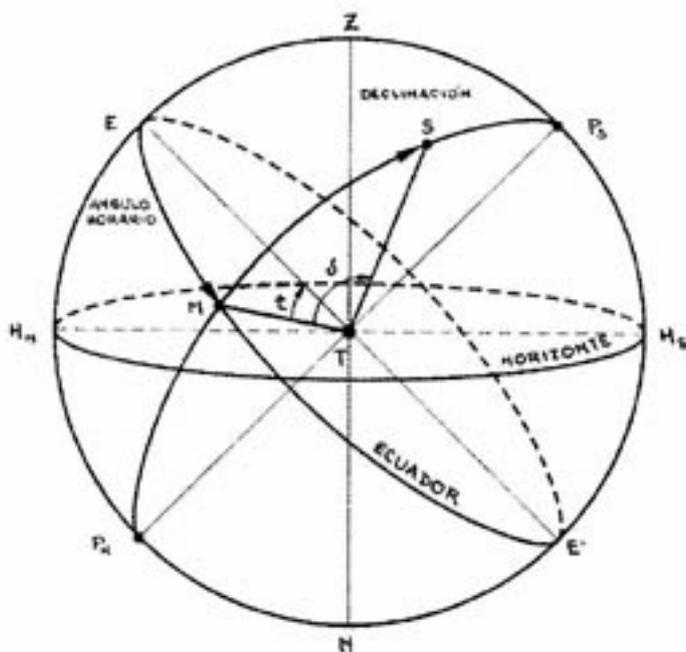
COORDENADAS HORIZONTALES El plano de referencia es el horizonte; es local y actual.



1) Continuar observando e identificando estrellas y constelaciones, pero además asignarles coordenadas A y h.
 2) Sobre las cartas S de 21 y 23 hs., hallar el PSC con Crux. Medir cuantos grados rotaron las estrellas en esas dos horas.
 Remarcamos algunos puntos:
 NO se indican distancias, los astros se encuentran en el infinito (las coordenadas son esféricas, bidimensionales)
 Nos referimos a estrellas: las coordenadas del Sol, Luna y planetas varían de un día para otro por el movimiento de la tierra (Sol) y/o de esos cuerpos (planetas y Luna).

COORDENADAS ECUATORIALES El plano de referencia es el ecuador celeste.

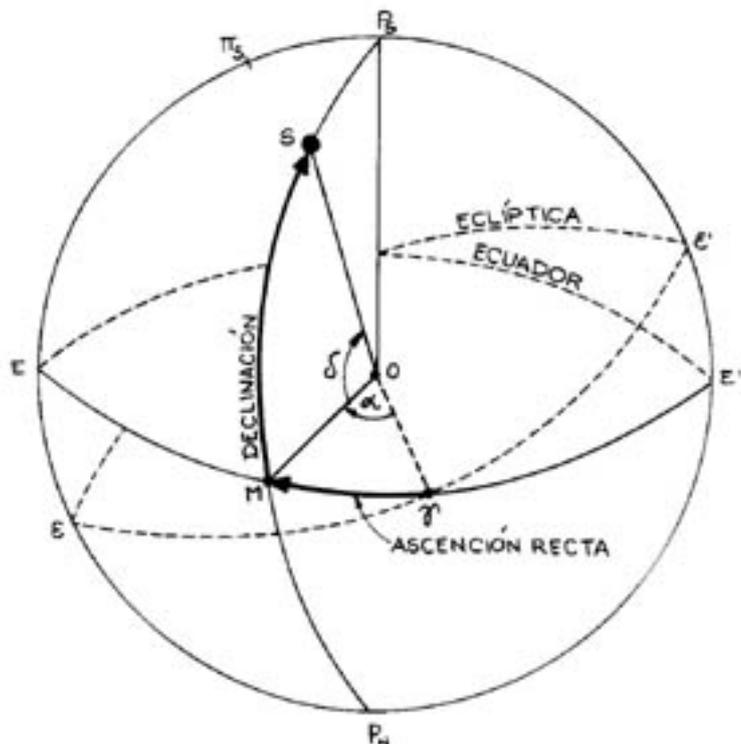
LOCAL: Ángulo Horario t : es la distancia (en horas, minutos y segundos de tiempo) desde la proyección del astro sobre el ecuador celeste hasta el meridiano (superior) del lugar; es una medida instantánea, con origen en el meridiano del lugar (0 hs.) y va de 0 a 24 hs. (360° : 15° /hora, o sea la rotación de la esfera celeste. $1^\circ = 4$ m, y 1 m = $15'$) Declinación δ : es la distancia (en grados, minutos y segundos de arco) entre la visual al astro y el ecuador celeste, positiva hacia el N (0° a $+90^\circ$) y negativa hacia el S (0° a -90°), contando desde el ecuador (0°).



Ya hicimos referencia a la refracción, esta es muy importante en el horizonte (unos $35'$). Observar con la menor *distancia cenital* y en las mejores condiciones atmosféricas posibles. Esto se puede ver recordando que el diámetro aparente del Sol (o Luna) es aprox. $0^\circ,5$ y entonces los vemos salir antes (y poner después) por aumentar su altura la refracción (y también su diámetro).
 Además del reloj sidéreo (o programa de computadora) y la observación de astros con $t = 0$, otra forma de obtener T_s es de tablas. Estas pueden indicar (a) T_s a 0 hs. UT (Greenwinch), por lo que debemos corregirlo a la longitud de nuestro lugar de observación o (b) T_s local, como se observa en el Manual Astronómico del OAMM: para este año y para cada día de cada mes del curso se indica la hora sidérea local (observatorio) a las 0 hs. UT (21 hs. HLA del día de la fecha anterior).

NO LOCAL: Se reemplaza el ángulo horario por la Ascensión Recta, α , definida como la distancia entre el punto vernal γ (origen del sistema, intersección del ecuador celeste y la eclíptica (plano de la órbita de la Tierra en torno al

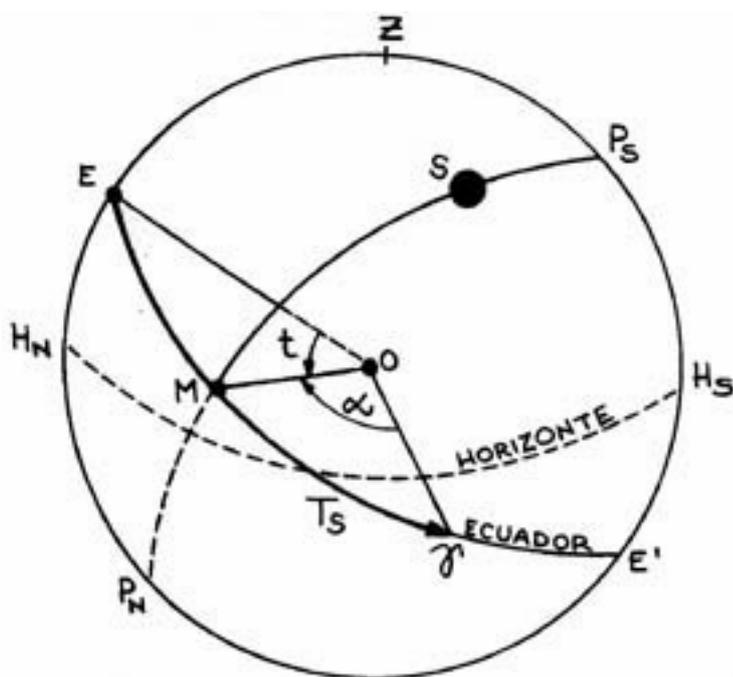
Sol)) y la proyección del astro sobre el ecuador celeste. Se mide de 0 a 24 hs. (360°), de W a E. La declinación se define como antes. Como estas coordenadas no cambian con el lugar ni la hora o fecha, se las usa en los catálogos.



RELACIÓN ENTRE AMBOS SISTEMAS: TIEMPO SIDÉREO (Ts)

Esta es la relación que usamos para, dada las coordenadas del objeto, apuntar al mismo el telescopio; el Ts lo leemos de un reloj especial, o de tablas para el lugar, o lo calculamos. Es distinto del tiempo solar medio.

$$t = T_s - \alpha$$



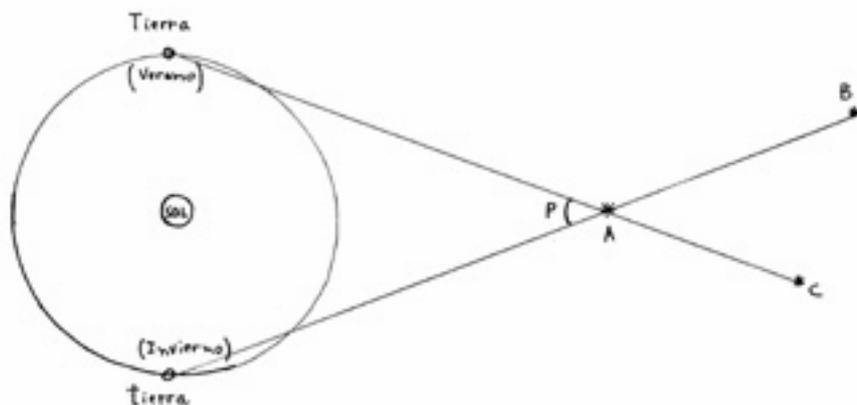
Instrumento de medición: sextante

También llamado astrolabio ya que estos instrumentos miden alturas celestes, como el diseño que vamos a proponer. La función principal de este instrumento casero es medir la altura de los astros respecto al horizonte, en grados sexagesimales. Necesitamos un transportador, un tubito recto de 30 cm de largo (puede ser un mango de chupetines de paleta, un trozo de caño de cortina, el tubo de una birome, y hasta un sorbete de bebidas, pero no de los que tienen el codito para doblarlo), cinta de enmascarar, pegamento, un trozo de tanza fina y una plomada u objeto pequeño y pesado. Se le puede adicionar un mango o soporte, para lo que además necesitaremos un trozo de varilla roscada o una varilla de madera de 1 cm² de sección aproximadamente, tuercas y arandelas (para la varilla) o un trozo de alambre (para la madera). Disponemos los materiales pegando el tubo con el pegamento o la cinta a la parte recta del transportador, y colgando la plomada del centro del mismo a través de la tanza, y observamos que por la disposición geométrica en que queda la plomada, el ángulo que forma el hilo con la división de los 90° corresponde al ángulo de elevación sobre el horizonte, de un objeto al que hayamos apuntado, mirando por el interior del tubo. Una aplicación posible consiste en evidenciar la rotación aparente de la esfera celeste. Para ello en una noche despejada, seguimos el movimiento de una estrella previamente elegida durante dos o tres horas, midiendo con el sextante y anotando su altura (h) sobre el horizonte cada 15 minutos. Complementamos con datos tomados sobre la ubicación hacia la que se apunta, respecto a los puntos cardinales. Para esto podemos hacer uso de una brújula, o perfeccionar el instrumento, incorporando al mismo un medidor de rumbo, fijamos el soporte a una tabla que sirva de base, de manera que aquel pueda girar libremente respecto a esta; fijando una especie de aguja al soporte la misma indicará el ángulo en una escala horizontal (un círculo graduado de 0° a 360°). Para que las medidas de ángulos horizontales resulten útiles se debe fijar un sistema de referencia, orientando p. ej. el 0° hacia el Sur. En este caso, tenemos un teodolito.

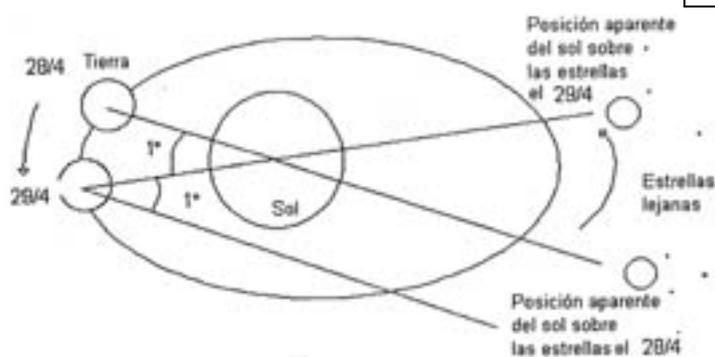
(III) EL SISTEMA SOL-TIERRA-LUNA.

TRASLACIÓN de la TIERRA.

Una prueba de la misma es la **paralaje anual**. Si el ángulo marcado es $1''$, la distancia es un parsec (pc), que equivale a 3.26 años luz.



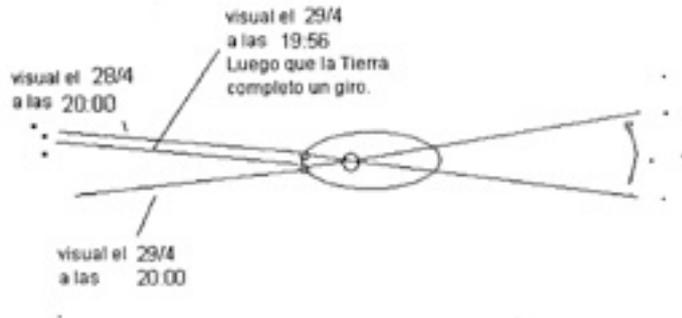
En los dos gráficos siguientes vemos porqué las estrellas salen 4 minutos antes cada día.



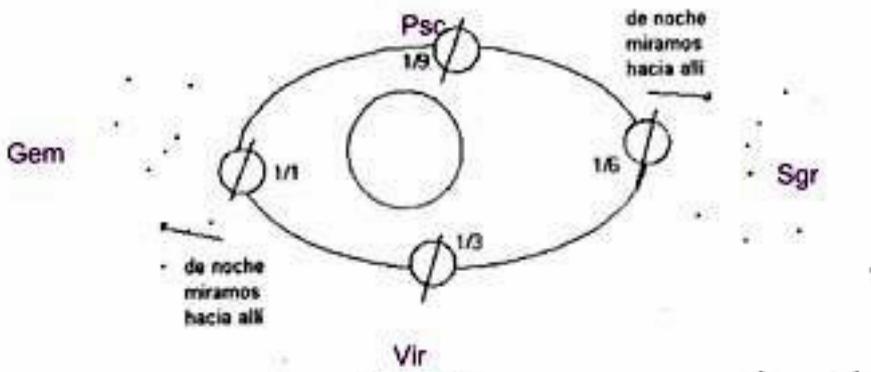
ROTACIÓN: Como prueba experimental mencionaremos el **péndulo de Foucault (1851)**: Imaginemos un péndulo con un hilo muy largo (70 mts., de acero) con un peso (30 kg.) y sujeto con una rótula. En tales condiciones este péndulo físico (real) se aproxima mucho a uno matemático (ideal). Puesto a oscilar (3 mts, aprox.) lo hace en un plano *fijo en el espacio* (conservación del momento, energía y dirección del movimiento), por lo que parece desviarse respecto a la Tierra o sea girar. Esta desviación es de una vuelta en 24 hs. en los polos, es nula en el ecuador y en latitudes intermedias mayor a 24 hs. (en París, donde se efectuó la prueba original, es 32 hs y se encuentra a 45° N). En el hemisferio N la rotación es horaria, y en el S en contra de las agujas del reloj. La velocidad de rotación de la Tierra, en el ecuador, es 1670 km/h.

Si un día a una cierta hora observamos el paso de una estrella por el meridiano del lugar, y la continuamos observando los días siguientes a la misma hora de nuestro reloj, notaremos que el primer día la estrella está 4 minutos al W, el siguiente 8, etc. Es decir, la diferencia entre tiempo sidéreo y hora civil. En un mes esta diferencia es $4 \text{ min} \times 30 \text{ días} = 120 \text{ min}$, o sea dos horas que al cabo de un año de 12 meses es 24 horas o sea un día. Si se observa el cielo en, p. ej, invierno y verano esta diferencia es muy notable: en verano al comienzo de la noche Orión se encuentra culminando y Crux es casi invisible en su culminación inferior; en cambio en invierno a la misma hora Crux está en su culminación superior y Orión está bajo el horizonte. Otra forma de visualizar esto es contar en un año cuantas veces pasa

una estrella por su culminación superior y cuantas lo hace el Sol: sabemos que este último pasa 365 veces, por la diferencia anterior la estrella lo hace 366 veces (aún no es el momento de hablar de año bisiesto...).



Esto explica porqué vemos distintas constelaciones al comienzo de la noche en el curso de un año.



MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL: ESTACIONES.

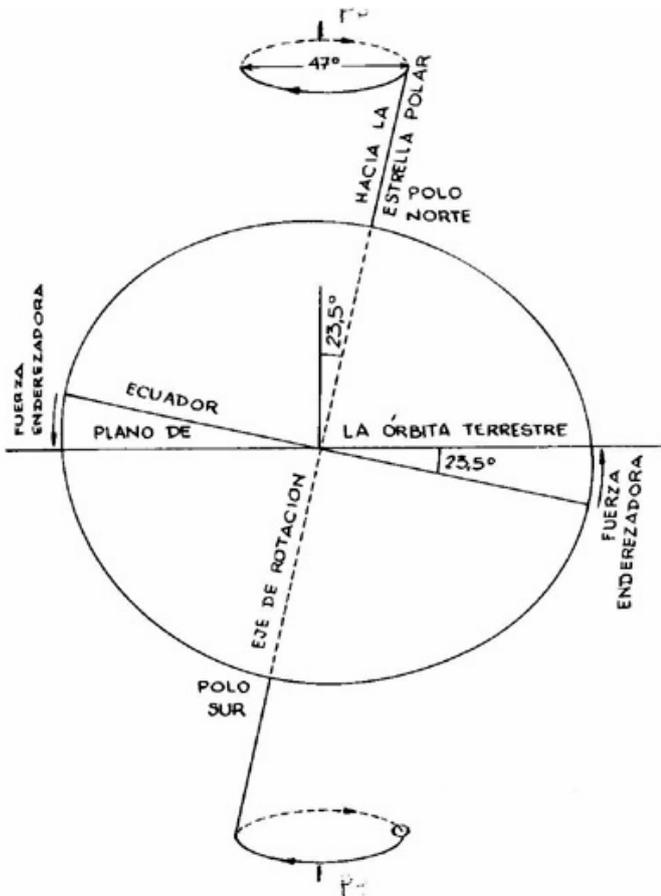
estación	inicia	AR y Dec.
Otoño	21/03	0 hs y 0°
Invierno	21/06	6 hs y + 23° 27'
Primavera	21/09	12 hs y 0°
Verano	21/12	18 hs y -23° 27'

El inicio de las estaciones es aproximado (un día antes o después). La causa de las estaciones, como se ve en el diagrama, es la inclinación del eje de la Tierra sobre la eclíptica, y NO la diferencia de distancia al Sol.

Distancias y sus unidades

en astronomía: En el sistema solar utilizaremos la Unidad Astronómica, **UA**, que es igual a la distancia promedio Tierra – Sol y equivale a 149 597 870 km. Cuando nos referimos a estrellas y sus asociaciones, en la galaxia o extragalácticas, usaremos el parsec (**pc**) y sus múltiplos (**Kpc**, **Mpc**) por mil y por millón respectivamente. Un pc es la distancia correspondiente a una paralaje de 1"; esta gran unidad nos permite visualizar una distancia por cómo se vería la órbita de la Tierra desde ella. Otra unidad, muy didáctica, es el año luz (**AL**), que NO es unidad de tiempo sino la distancia que recorre la luz en el vacío (a casi 300 000 km/seg) en un año y equivale a casi 10 trillones de km. Esta unidad tiene la ventaja de informarnos cuánto hace que salió del objeto que observamos la luz que recibimos ahora: si observamos un astro a 10 AL, lo vemos cómo fue hace 10 años, etc. Un pc equivale a 3,26 AL. Señalemos que la paralaje es confiable hasta unos 50 pc, y algo más allá de los 100 pc no es útil.

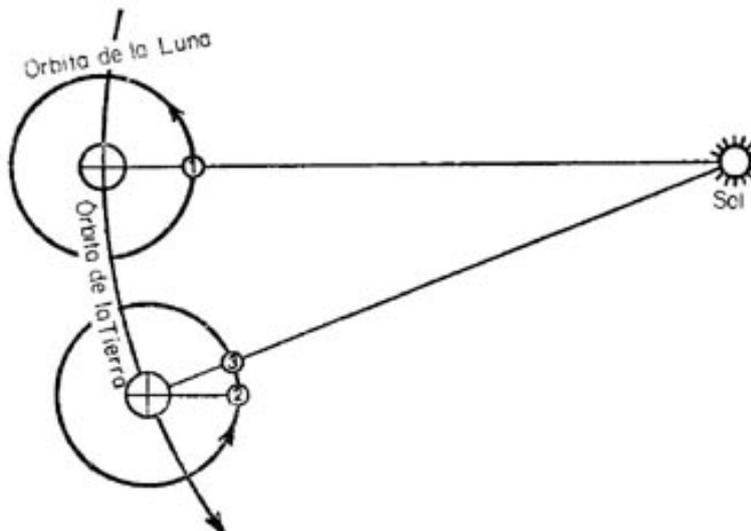
El fenómeno de la precesión de los equinoccios, indicado abajo, altera las fechas de entrada en cada signo, y además por donde pasa el Sol: actualmente, lo hace por 13.



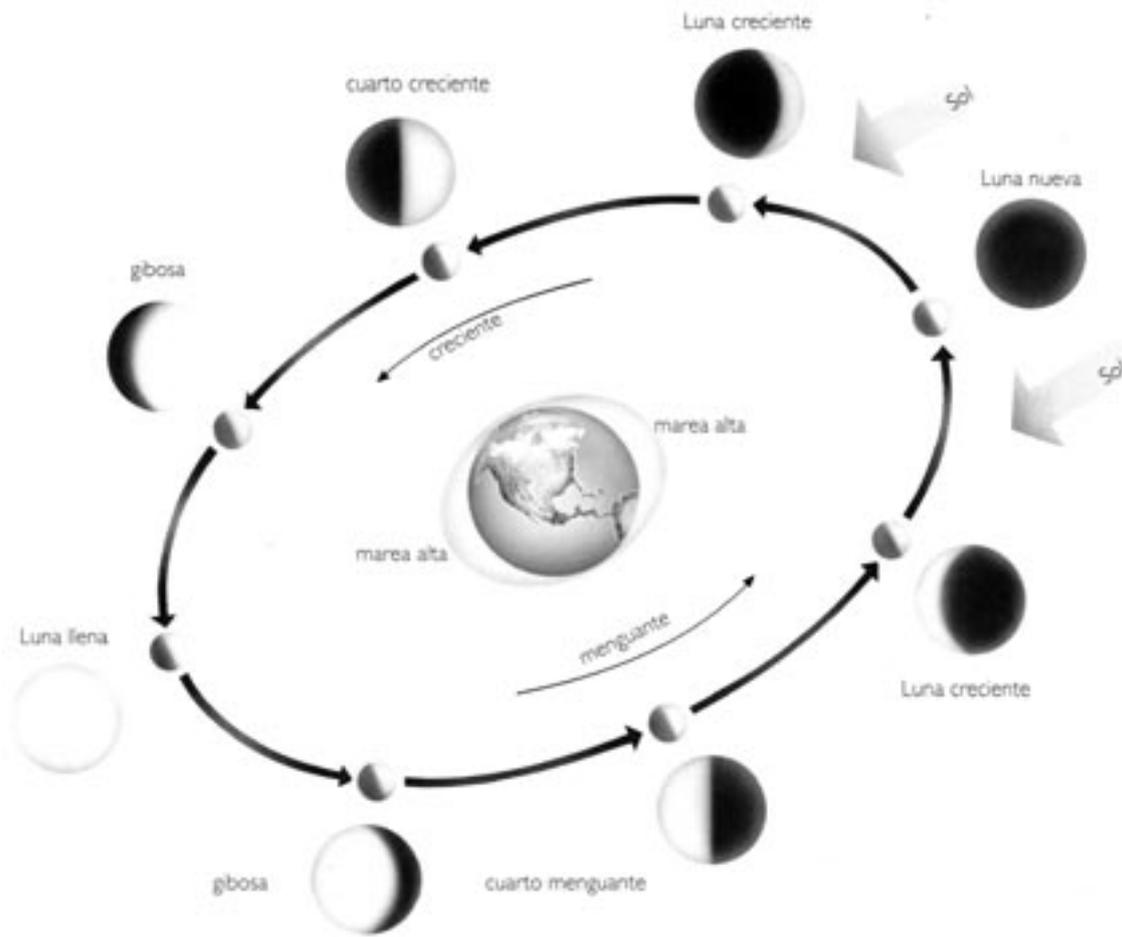
- 1) De un catálogo apropiado, para el equinoccio 2000.0, seleccionar: Una estrella doble; un cúmulo abierto; un cúmulo globular; una nebulosa; una galaxia; y dadas sus coordenadas ubicarlas. ¿Varía mucho su posición para la fecha actual? ¿Y con las coordenadas 1950.0 del catálogo de estrellas cercanas?
- 2) Ubicar un astro con el telescopio y obtenidos Dec. y AH calcular AR. Plotear en la carta celeste.
- 3) Si se puede observar un planeta, obtener sus coordenadas. ANOTAR HORA Y FECHA.
- 4) ¿Hasta que declinación se pueden observar astros en nuestra ciudad? ¿Cuál es la Dec. de un astro en el cenit del observatorio local? ¿A cuantos grados bajo nuestro horizonte se encuentra el PNC?
- 5) Indicar que AR (por horas, redondeadas) están visibles a las 01 hs local de la fecha, conociendo el Ts local.
- 6) AR y Dec. de los catálogos en uso ¿Se pueden usar en la Luna? ¿Marte? ¿En un planeta extra-solar?
- 7) Si está visible la Luna a principios de la noche, tomar de alguna manera sus coordenadas aproximadas y comprobar si varían, y más o menos cuanto, cada día.
- 8) En una hipotética culminación superior calcular la altura sobre el horizonte de Crux en Mercedes, Ushuaia, La Quiaca, Quito y París ($\phi = -35^\circ, -55^\circ, -20^\circ$ y $+45^\circ$ aprox. respectivamente).
- 9) En vez de cartas celeste para un lugar, fecha y hora ¿podríamos tener una carta de todo el hemisferio S, p. ej.? ¿O cartas de todo el cielo, en pequeños sectores (atlas)? ¿Cómo usaríamos unos y otros? Dar ejemplos.
- 10) Con un soft planetario observar el cambio de cielo a distintas latitudes.

MOVIMIENTOS de la LUNA. FASES. MAREAS.

Relación entre período sidéreo (1 a 2, 27.32166 días) y período sinódico (1 a 3, 29.53059 días).

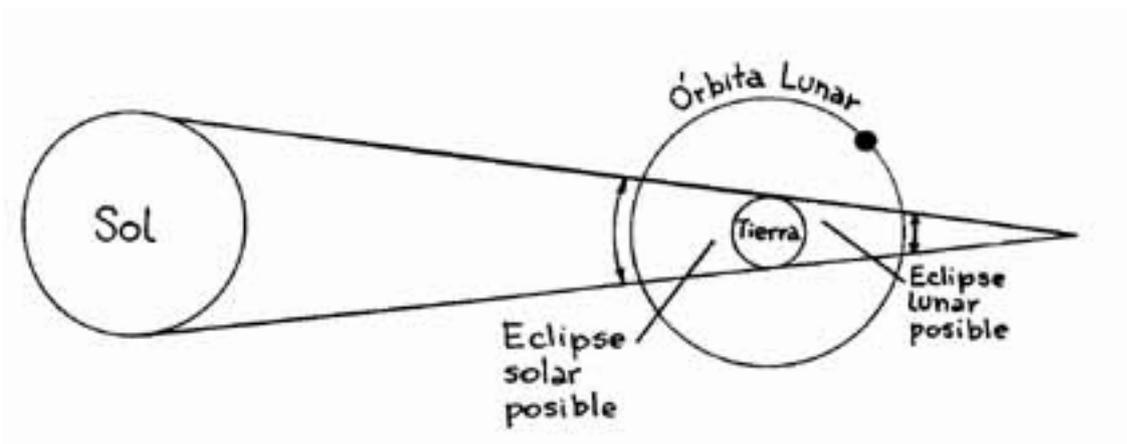


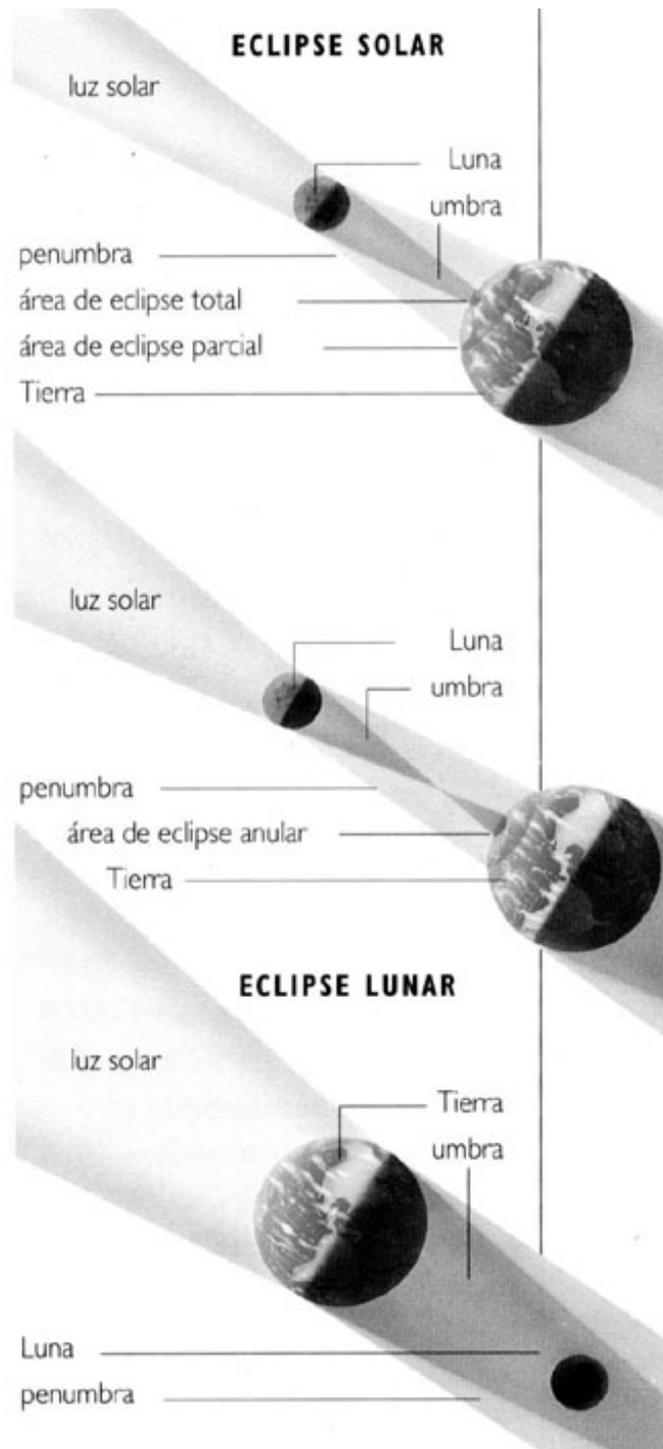
En un P. sinódico se dan las fases, como consecuencia de la desigual iluminación debido a la configuración Sol – Tierra – Luna. Al rotar sobre su eje en igual tiempo que su traslación, vemos igual “cara”.



ECLIPSES.

Límites eclípticos:





Los eclipses se repiten en ciclos denominados “saros”:

1 saros = 18 años 11 días = 223 lunaciones	= 6585,32 días
1 saros = 19 años draconítics	= 6585,78 días
1 saros = 239 meses anomalísticos	= 6585,54 días
1 saros = 242 meses draconítics	= 6585,35 días

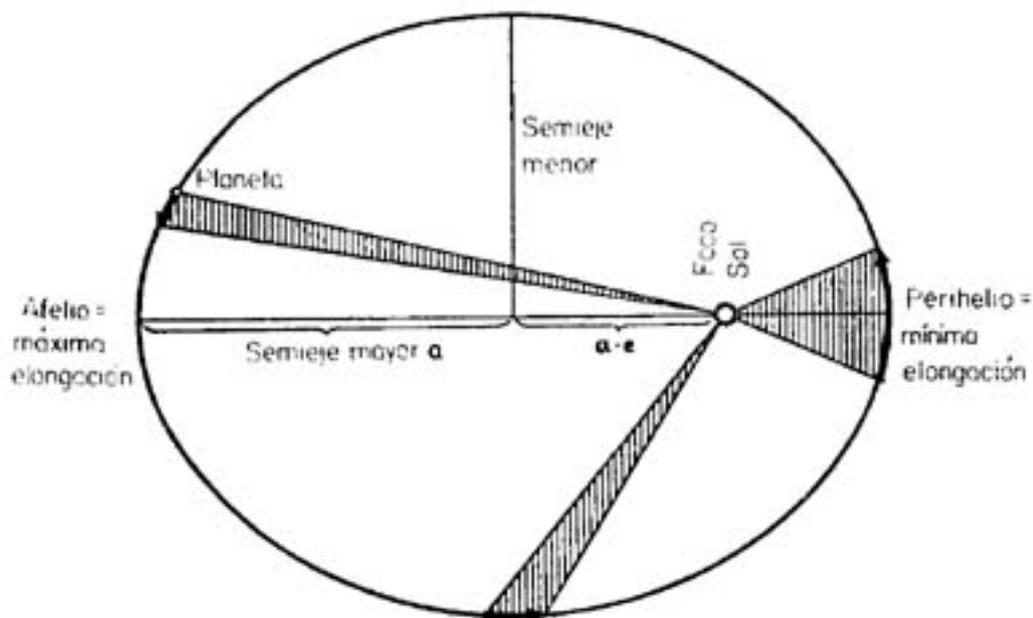
LEYES de KEPLER y de NEWTON. GRAVEDAD.

Las mismas nos explican la mecánica de los movimientos orbitales.

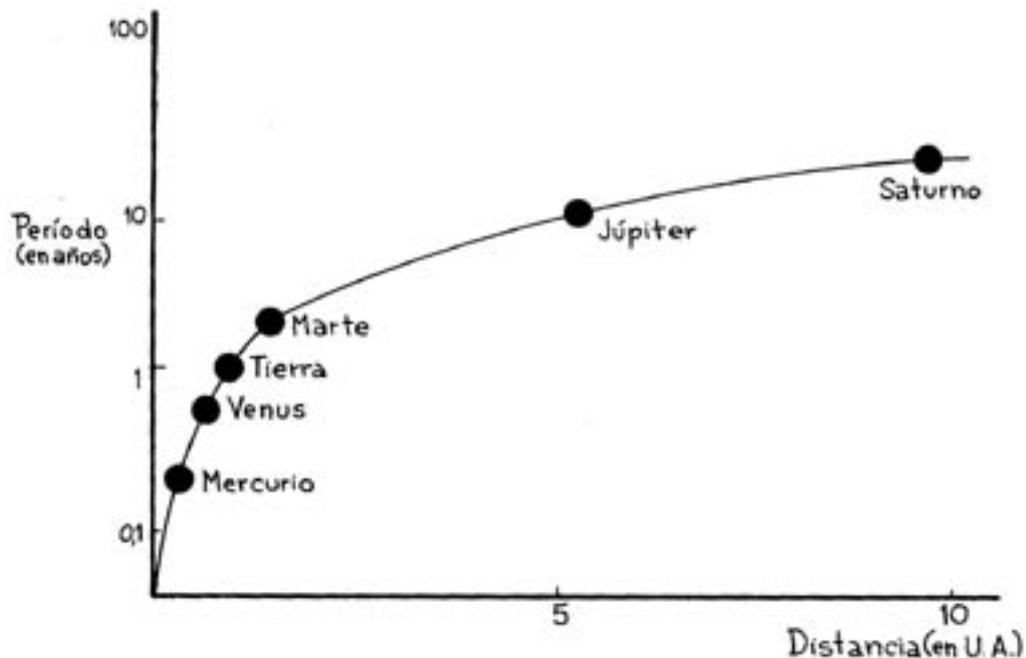
LEYES de KEPLER.

1. Cada planeta se mueve en una órbita con forma de elipse, en uno de cuyos focos (común a todos) se encuentra el Sol.
2. El radio vector del planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. Los cuadrados de los período de revolución de dos planetas están en la misma relación que el cubo de sus distancias medias (semieje mayor) al Sol.

$$(T_A^2 / T_B^2) = (a_A^3 / a_B^3)$$



- 1) ¿Cómo se ve el Sol desde la Tierra en distintas épocas del año? ¿Como podemos verificarlo? NOTA: Jamás mirar el Sol directamente, es muy peligroso para la vista!!!
- 2) ¿Puede estar el Sol en el cenit de Mercedes?
- 3) ¿Como explica y justifica la "noche polar": 6 meses de luz, 6 meses de noche? ¿Se lo puede observar en alguna base antártica Argentina?
- 4) ¿Coincide su "signo" para la época actual? ¿Solo hay 12 "signos" actualmente, o pueden ser más, o menos?
- 5) Utilizando datos del "Manual astronómico" del año en curso, observe la diferencia entre salida y puesta del Sol en el período del curso. Graficar. Ídem para la Luna.
- 6) VERIFICAR (con el "Manual astronómico", p. ej.) cuando coincide mi reloj con el sidéreo. ¿Es lo esperado? ¿Porqué difiere?
- 7) Discutir como se pone en órbita un satélite artificial.
- 8) Comparar datos de planetas y sus satélites, en cuanto a la órbita de los últimos.



Los PRINCIPIOS de NEWTON. LEY de GRAVEDAD.

Los tres *principios* básicos de la mecánica de Newton son:

1. Principio de Inercia: Un cuerpo permanece en reposo o se mueve con velocidad constante sobre una recta en tanto no esté sometido a una fuerza exterior. En otras palabras, para mover un cuerpo de masa m debemos aplicar una fuerza proporcional a la masa que será entonces una medida de la inercia.
2. La velocidad de variación del impulso de un cuerpo es proporcional a la magnitud de la fuerza externa que sobre él actúa y se ejerce en la dirección de esta fuerza.
3. Las fuerzas con que interactúan mutuamente dos cuerpos son de la misma magnitud y de sentido opuesto (acción y reacción).

Para obtener una teoría de los movimientos cósmicos Newton agregó a los fundamentos de la mecánica su famosa **ley de la gravitación**: dos puntos de masa m_1 y m_2 separados por una distancia r se atraen en la dirección del segmento que los une con una fuerza proporcional a ambas masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que la separa, o sea

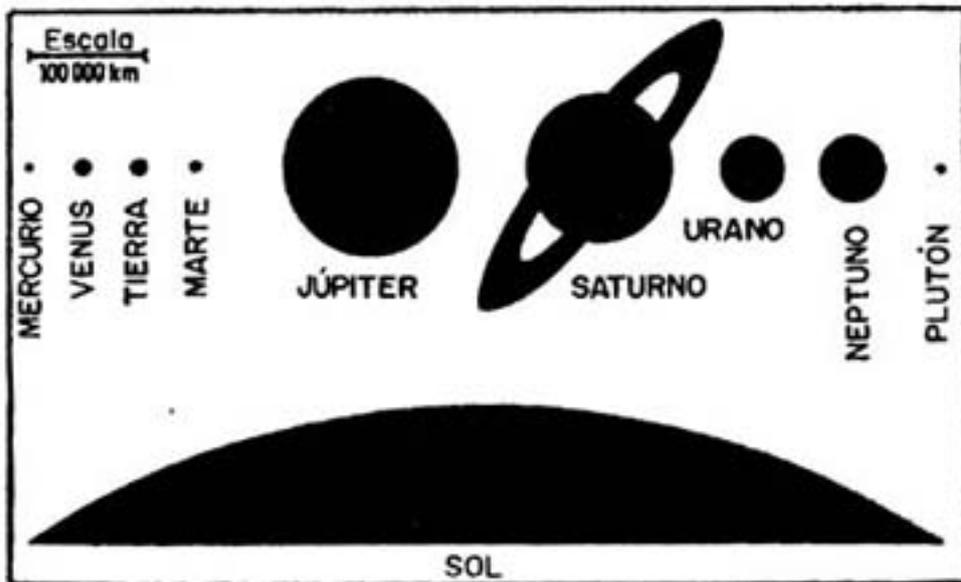
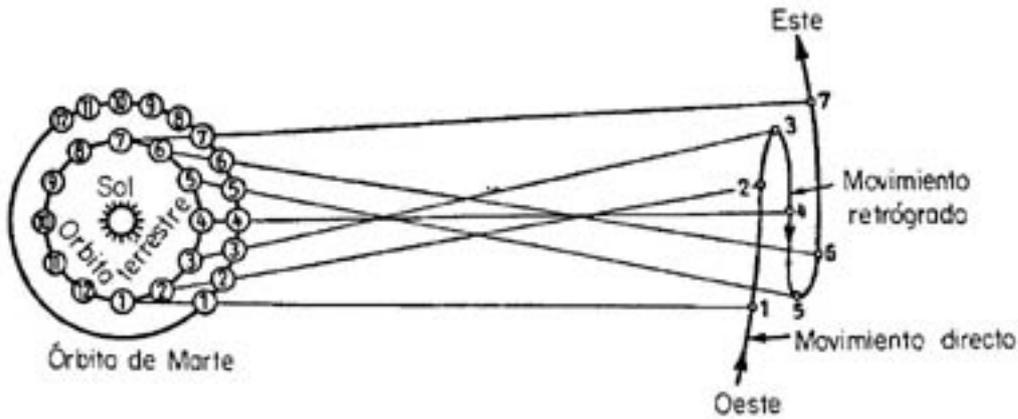
$$F = -G ((m_1 * m_2)/r^2)$$

siendo G una “constante de gravitación universal”.

(IV) EL SISTEMA SOLAR.

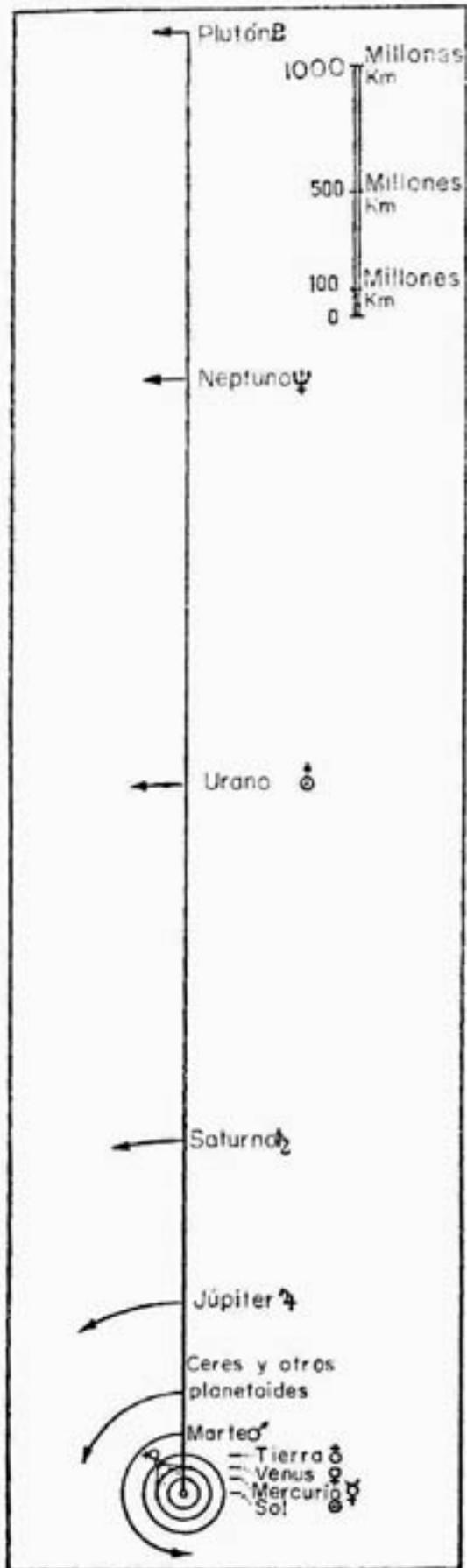
EL SISTEMA SOLAR: REPRESENTACIÓN.

El gráfico nos muestra la causa de los movimientos de los planetas con respecto a las estrellas de fondo.



Los tamaños reales de los planetas y del Sol.

El gráfico siguiente nos da una idea de revoluciones y distancia al Sol (para Plutón se da una media).



¿Como recordar las distancias (medias y aproximadas) de los planetas desde el Sol? Una regla elaborada por Titius y Bode puede sernos útil para esto, y en su momento llevó, indirectamente, a descubrir los asteroides. Tomemos los números

0 3 6 12 24 48 96 192 384 768 (desde el 3 todos duplican el anterior).

Sumemos 4

4 7 10 16 28 52 100 196 388 772

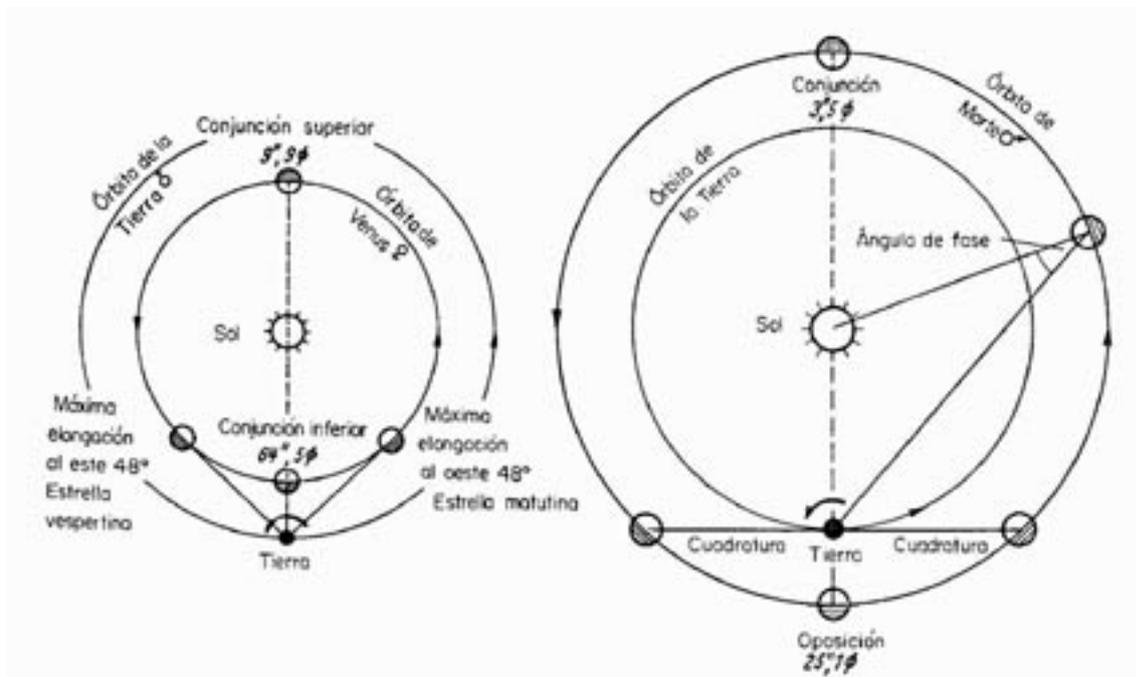
y dividimos por 10 (o sea corremos un lugar la coma decimal)

0,4 0,7 1,0 1,6 2,8 5,2 10,0 19,6 38,8 77,2

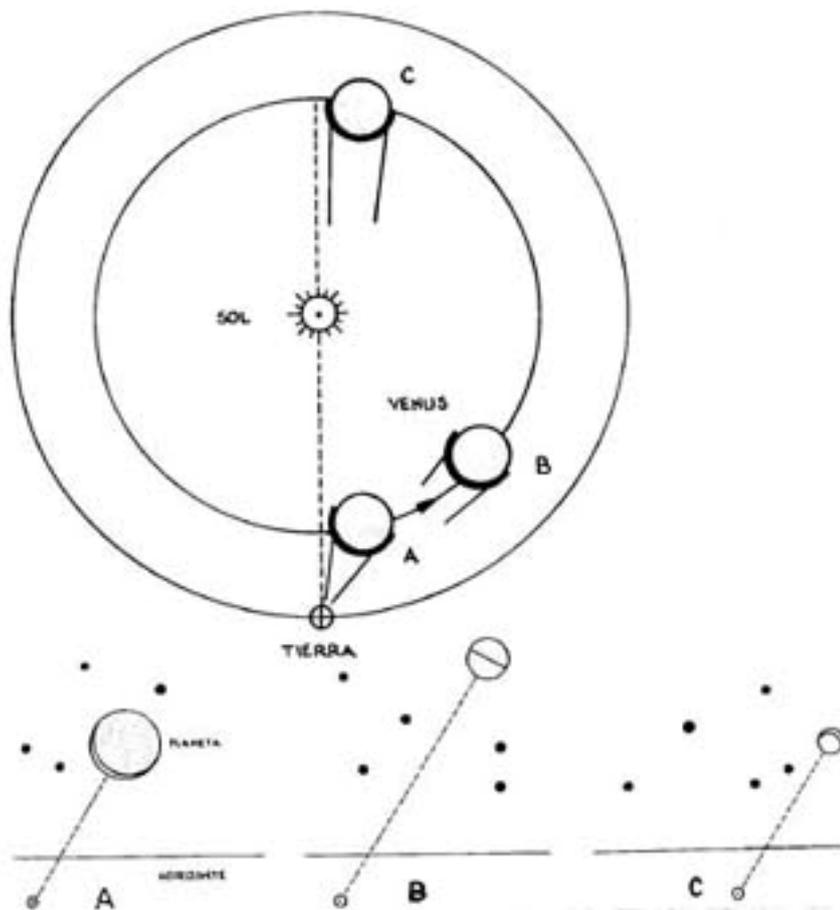
Y estas son, aproximadamente, las distancias de los planetas al Sol en orden y expresadas en UA. La relación falla para los dos últimos, Neptuno y Plutón (no conocidos en la época de Titius-Bode), que están a 30,7 y 39,5 UA respectivamente. No se sabía de un cuerpo a 2,8 UA en esa época y se lo buscó: resultó ser el cinturón de asteroides, resto de un planeta no formado y ubicados principalmente entre Marte y Júpiter.

EL SISTEMA SOLAR: COMO LO VEMOS EN EL CIELO.

Configuraciones posibles para un planeta interior (izq.) y para uno exterior (der.). Más abajo: Venus y sus fases.



Hasta el año 2002, se han encontrado unos 100 POSIBLES sistemas extrasolares. La mayoría consisten en un solo planeta en torno a la estrella central, pero en algunos casos se postulan 2 y hasta 3 candidatos a planetas en el sistema en cuestión. Estos cuerpos tendrían masas comparables a Júpiter y hasta 10 veces más, y en casi todos los casos la distancia a su respectivo sol es comparable a los planetas interiores de nuestro sistema solar.



1. Si se pudo observar un planeta al comienzo del curso y tomar sus coordenadas ecuatoriales, volver a observarlo (si continúa visible) y tomarlas nuevamente.
2. Hacer un "ploting" de la posición de Marte y de Plutón sobre una carta celeste, con las posiciones dadas en un manual astronómico del año en curso. Observar sobre un programa planetario el movimiento de varios planetas en un año.
3. Elaborar los datos de los planetas para expresarlos en función de la Tierra (=1).
4. En bibliografía o Internet buscar más datos de los planetas. Ídem de los satélites. Ídem para un cometa y un asteroide.
5. ¿Que datos necesita para calcular el peso de un objeto sobre otro planeta?
6. ¿Cómo poner algo en órbita terrestre? ¿Para que parezca fijo sobre un punto?
7. ¿Por qué un objeto en órbita no tiene peso?
8. ¿Que fases de la Tierra veo desde la Luna? ¿Coinciden con las lunares? ¿Como veo ambos desde Marte?
9. Conseguir datos de algún sistema planetario extra-solar. Comparar con el solar.
10. ¿Cómo descubrir un cometa "nuevo"; como verificar que lo es? ¿Y un asteroide?
11. ¿Cómo cambia el diámetro aparente del Sol al ir de planeta en planeta? Sabiendo cuánto es en la Tierra, y que es inversamente proporcional a la distancia ¿Podemos calcularlo?
12. Sugiera un método para observar meteoros.

En la siguiente tabla, que nos permite ante todo comparar cuerpos del SS, se consigna: **P** periodo (en días o en años terrestres); **e** excentricidad; **i** inclinación del plano orbital respecto a la eclíptica (en grados y minutos, separados por un punto); **día** o rotación (en días o en horas y minutos); **I** inclinación del eje respecto al plano de la órbita (en grados y minutos); **R** radio (en kilómetros); **M** masa (en masas terrestres; cuanto mayor es esta, mayor la gravedad superficial); **T** temperaturas medias (en °C: para Mercurio se dan Max. y Min.); **Satél.** cuantos satélites posee; **δ** densidad (en gr/cm³); **a** distancia media al Sol (en **millones de Km**; ya fue dada antes, en UA). Ceres es un ejemplo de asteroide bien conocido, como lo es Halley de un cometa: se dan pocos datos de ellos. Obviamente, se podrían dar muchos mas datos: composición de la atmósfera, campos magnéticos, achatamiento, etc.

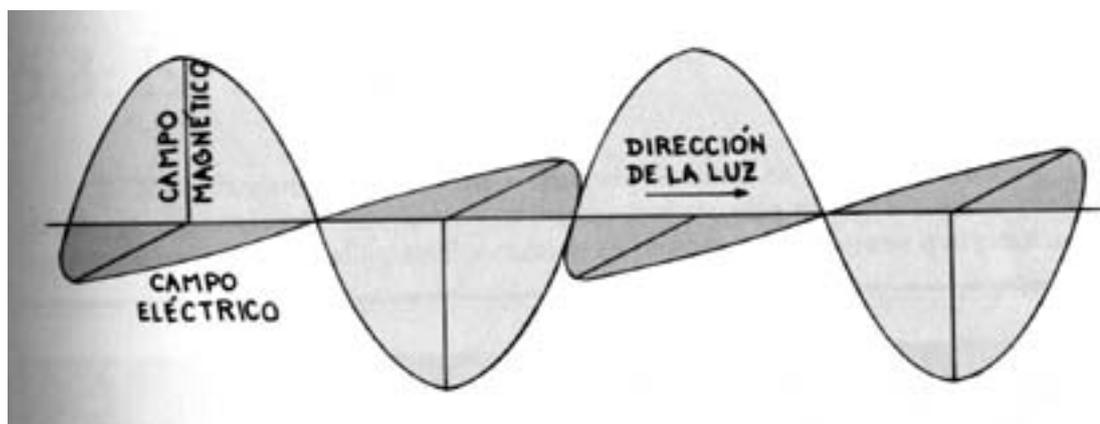
Datos de los integrantes del Sistema Solar

	Merc	Venu	Tierr	Mart	Cer	Júpit	Satur	Uran	Nept	Plutó	Halle
P	88 días	224,7 días	1 año	1,88 años	4,6 año	11,86 años	29,42 años	83,75 años	163,73 años	248,0 años	76 años
e	0,206	0,007	0,017	0,093	.08	0,048	0,056	0,047	0,009	0,249	
i (° . ')	7 . 0	3 . 23	0 . 0	1 . 50	11°	1 . 18	2 . 29	0 . 46	1 . 46	17.09	
día	58,6 días	243,2 días	23 h 56 m	24 h 37 m		09 h 50 m	10 h 39 m	16,8 horas	18 horas	6,4 días	
I(° . ')	2 . 0	2 . 07	23.27	23.59		3 . 12	26.44	82.05	28.48	122.0	
R (km)	2489	6310	6378	3390	457	71714	60330	26200	25225	1530	
M terres.	0,055	0,815	1	0,108		318,1	95,15	14,6	17,2	0,1	
T (°C)	+430 -180	+482	+22	-23		-148	-179	-215	-218	-230	
Satél.	0	0	1	2	----	18	30	15	8	1	-----
δ g/cm ³	5,43	5,248	5,52	3,933		1,33	0,69	1,24	1,66	2,00	
a (mill. de Km.)	57,9	108,2	149,6	227,9	414	778,3	1429	2875	4504	5915	5200 afelio

(V) NATURALEZA de la LUZ e INSTRUMENTOS.

Cambiaremos ahora el enfoque del curso e, inevitablemente, de estas notas. Los temas a tocar son tan variados y extensos que solo podemos indicarlos a grandes rasgos. Nuestra atención se trasladará de un universo “geométrico” a uno “físico”, de una “astronomía de posición” a una “astrofísica”. La astronomía es una ciencia *observacional*, casi excluyentemente, y dependemos de lo que recibimos de los astros en forma de **radiación electromagnética**, de la que la luz visible es solo una forma, una parte del **espectro electromagnético**. Como éste es lo único que recibimos de los astros, nos interesa conocerlo.

LA LUZ:

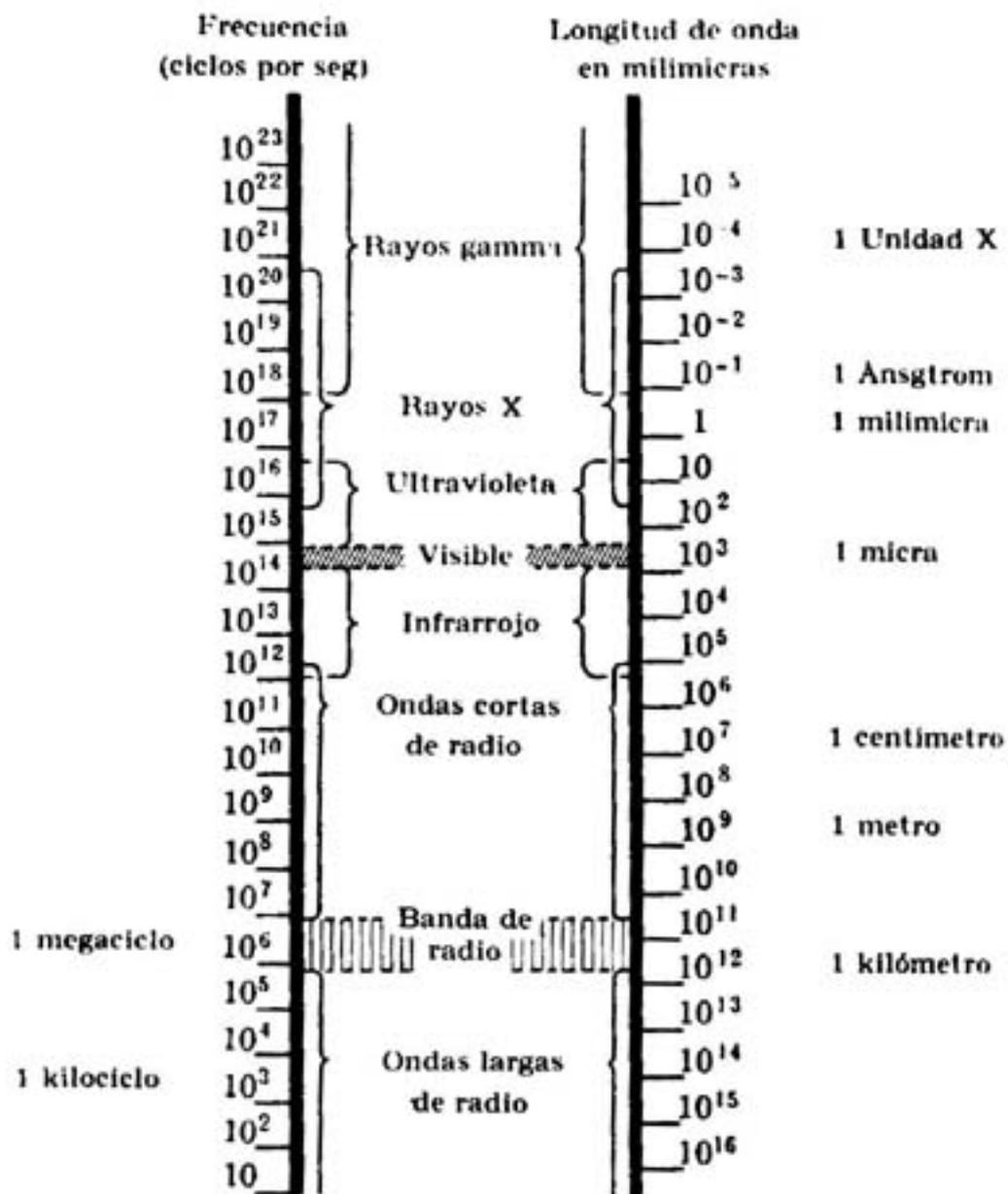


En astronomía se utilizan distintos instrumentos para captar y analizar la radiación electromagnética que recibimos de los cuerpos celestes, tanto en el rango óptico (visual, infrarrojo y ultravioleta) como en radio (radioastronomía) o en rayos X, γ , “cósmicos”, etc.; los que solo difieren entre sí en la frecuencia (o longitud de onda), como se ve en el gráfico siguiente. En general, podemos analizar la intensidad, y su variación; polarización; color, etc. Como algunas radiaciones no penetran el aire, se deben colocar los telescopios y detectores acoplados a ellos en el espacio, con la ventaja adicional de no sufrir la inevitable absorción y distorsión que introduce nuestra atmósfera.

Cómo la emisión de “luz” de una sustancia o un cuerpo depende de su composición química (que elementos la forman) y su estado (gaseoso para las estrellas) y las condiciones (temperatura, campos magnéticos, etc.) imperantes, el análisis de la luz que se hace al obtener un espectro (dispersión de la luz) nos revela que elementos la emiten y en que condiciones se encuentran.

Todos los telescopios, sean con lentes (refractores) o con espejos (reflectores) cumplen la misma función: coleccionar la mayor cantidad de luz posible (en función del diámetro del objetivo) y concentrarla en un punto, el foco, donde observamos o, mejor aún, colocamos un instrumento detector, que nos permite tener una imagen permanente, o analizar la luz, o medir su intensidad, etc. Estos periféricos pueden ser placas fotográficas, fotómetros, espectrógrafos, cámaras CCD, polarímetros, interferómetros, micrómetros, etc.

Otro aspecto importante, además de la óptica y su rígido soporte, es la montura del telescopio: esta es una construcción mecánica que nos permite dirigir el instrumento al objeto a observar, visualmente o por coordenadas, y mantenerlo centrado a pesar del movimiento de la Tierra. Esto puede hacerse de varias maneras, como se ve en las ilustraciones, pero todas comparten un movimiento horario, paralelo al ecuador celeste (lo que implica un eje polar apuntando al polo celeste elevado, paralelo al eje de la Tierra), y otro en declinación. Estas instalaciones permanentes requieren un albergue adecuado, con cúpulas. El lugar de su instalación es tan importante como el instrumento: la calidad del cielo es esencial. Obvio, pequeños instrumentos no lo necesitan, y su montura puede ser azimutal.

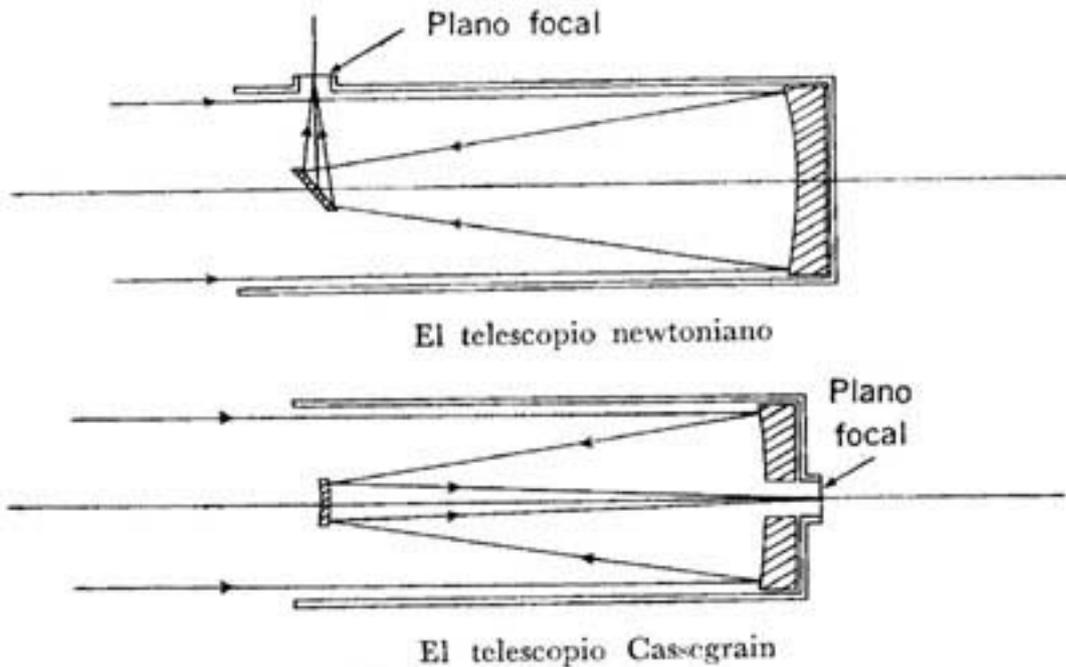


INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS.

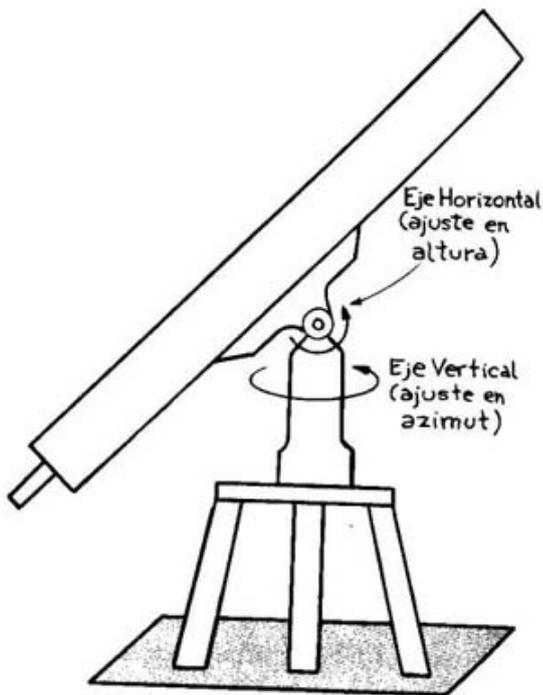


TELESCOPIO REFRACTOR.

TELESCOPIOS REFLECTORES



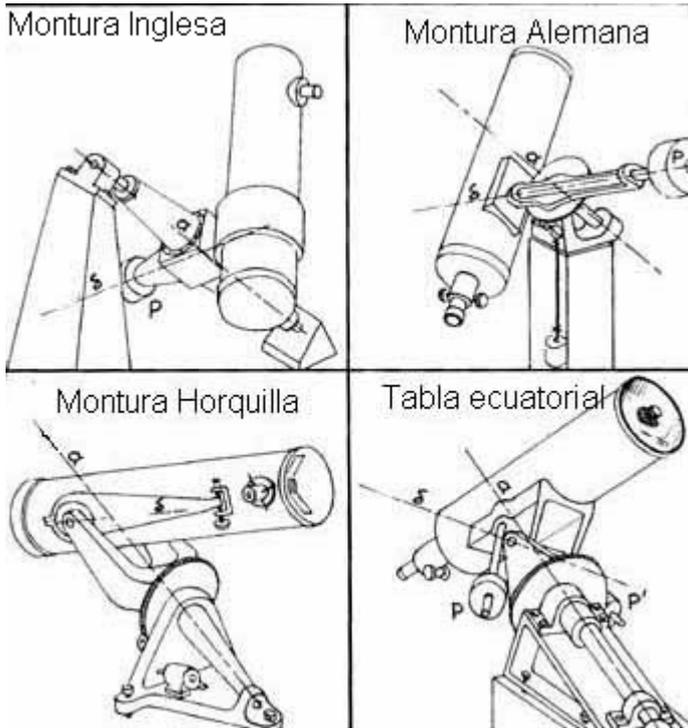
MONTURAS:



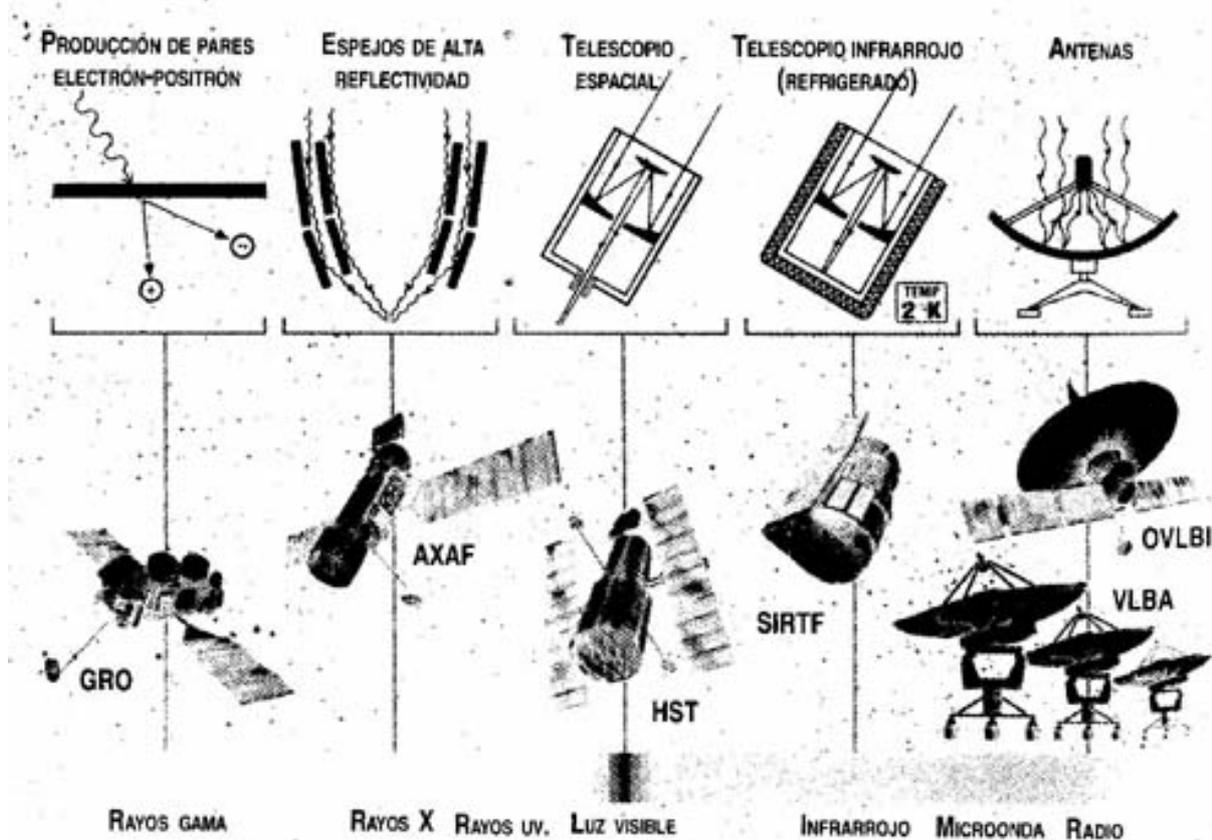
Azimutal

Sean del tipo o diseño que fueren, todos los telescopios concentran el haz de luz que incide en el objetivo en un **plano focal**, es decir **enfocan**, formando la imagen. La distancia entre el objetivo y el plano focal se denomina **distancia focal**; cuanto mayor es esta, mayor es la **escala de placa** del instrumento (es decir, menor distancia angular del cielo abarcada en mayor distancia lineal en el plano focal). La imagen puede observarse a través de un **ocular**, que es una pequeña lente (usualmente, intercambiable) donde acercamos el ojo. El **aumento** lo da la relación entre las distancias focales del objetivo y del ocular. Un parámetro importante es la **razón focal**, f/d : es el cociente entre la distancia focal y el diámetro del objetivo, y nos dice que tan "luminoso" es el instrumento. Cuanto menor es f/d , más luminoso (p. ej., impresiona más rápido una emulsión fotográfica en la que registramos la imagen de un astro); esto se paga, generalmente, con menor escala de placa. Además está decir lo importante de la calidad óptica, esta NO debe sacrificarse para adquirir un instrumento más "grande"; recordemos que trabajamos con la luz de un astro, y CON TODAS LAS INTERFERENCIAS QUE ÉSTA SUFRE EN SU RECORRIDO POR LA ATMÓSFERA Y LAS DISTINTAS PARTES DEL INSTRUMENTO. Nunca se insistirá bastante en esto, es una cadena que se corta por el eslabón más débil: buen cielo (despejado y oscuro), estabilidad térmica (previene turbulencias en la imagen), buena óptica (lo más libre posible de aberraciones, ¡cuidado con lentes simples, plásticas, etc.!) y **montura** adecuada al trabajo a realizar.

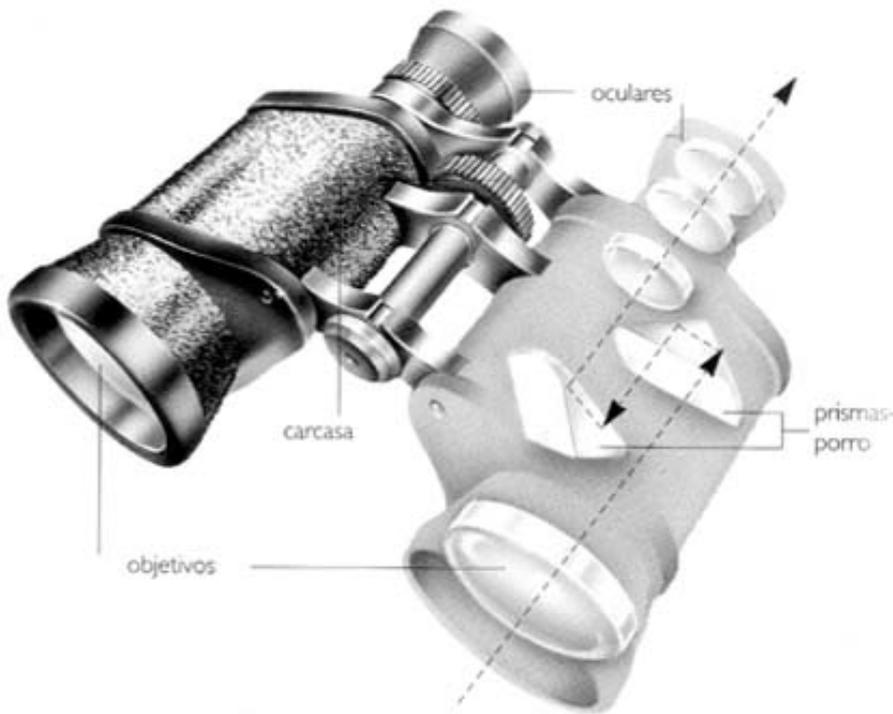
ECUATORIALES.



Si deseamos “apuntar” nuestro telescopio hacia un astro, lo que en la jerga se denomina *calar*, y el mismo posee un soporte mecánico o *montura ecuatorial*, estará dispuesta de tal manera que un eje sea paralelo al eje de la tierra (por lo tanto, con un extremo apuntando al PSC, elevado en Mercedes 35°, y el otro al PNC, bajo el horizonte en nuestra ciudad). Un círculo graduado en hs, min. y seg. de tiempo unido a él es paralelo al ecuador celeste y se llama círculo horario por permitir leer dicha coordenada. Sobre el extremo elevado del eje polar se encuentra el eje de declinación, solidario al telescopio (óptica y su soporte o “tubo”, más accesorios) y a un círculo de declinación donde se lee esta coordenada en °, ‘ y “ de arco. El conjunto debe ser muy estable y bien balanceado, existiendo varias disposiciones para lograrlo (alemana, inglesa, horquilla, etc.). En estas condiciones, si deseamos calar un astro consultamos sus coordenadas en un catálogo y fijamos la declinación en forma directa, luego calculamos y ponemos el ángulo horario (a partir de su AR y la hora sidérea) y tenemos el astro centrado; y así lo mantendrá un mecanismo de relojería que mueve el conjunto en el eje polar compensando la rotación terrestre (o acompañando la de la esfera celeste).



Distintas formas de aprovechar el espectro electromagnético, tanto desde tierra como en el espacio.



Dejamos para el final el re-descubierto prismático (binoculares, “largavistas”). Reiteradamente se nos consulta por un telescopio “para iniciarme, no se nada de astronomía”. Respuesta: 1° **Ojos**, y **conocer el cielo** 2° **prismáticos**, que por un costo no tan alto como el de un telescopio chico (pero bueno) nos permiten ver más de lo que imaginamos, tienen otros usos (naturaleza, etc.) y son fáciles de transportar e inmediatos de usar 3° un telescopio, pero sólo cuando lo sabemos usar y entendemos que observamos, y porque la vista o los prismáticos son insuficientes. Sólo resta agregar que sin ser muy chicos (“de teatro”) tampoco deben ser muy grandes, en ese caso es imprescindible un soporte o trípode. [una advertencia: hacer un telescopio desde cero es una experiencia interesante, pero larga, precisa y, a veces, frustrante]. Los prismáticos son excelentes para recorrer la Vía Láctea, p. ej., y observar la Luna.

QUÉ Y CÓMO OBSERVAR:

Es costumbre (¿argentina?) proceder al revés: tenemos un instrumento dado, ¿que puedo ver?. Si bien esto se justifica con un gran instrumento, para aprovecharlo al máximo, el planteo es distinto: ¿que me interesa? ¿como observarlo? ¿cuales son mis limitaciones? (dejemos de lado las económicas...).

A **SIMPLE VISTA**, y conociendo el cielo, con cartas celestes o un soft adecuado, y con algún manual astronómico, es muy instructivo seguir el movimiento aparente del Sol, de la Luna y sus fases, de los planetas. Identificar constelaciones, estrellas. Ver eclipses, lluvias de meteoros, quizás un cometa notable.

Con **PRISMÁTICOS** es fascinante recorrer la Vía Láctea e identificar objetos notables: cúmulos, nebulosas, estrellas dobles y variables, etc. Alguna galaxia brillante y grande. Algo parecido podemos hacer con un pequeño (pero bueno!) telescopio refractor, quizás con montura azimutal.

Un **TELESCOPIO**, máxime si es “grandecito” (unos 0,3 mts de diámetro) nos introduce en otro tipo de actividad, a nuestro criterio. Y ésta es la de contribuir a algún programa de estudio. La posibilidad de descubrir un cometa, investigar una estrella variable, detectar una nova o supernova. Tener una cámara fotográfica como periférico, quizás montada sobre el telescopio y con un teleobjetivo, o bien en el plano focal, incrementa nuestro campo de acción, o nuestro deleite. Por supuesto que un instrumento así, para que rinda sus frutos, debe tener una montura ecuatorial, rígida y orientada (“puesta en estación”), con todos sus accesorios (¿motores? buscadores, lectura de coordenadas, etc.), lo que implica casi siempre un lugar fijo (observatorio) o, caso contrario, un gran trabajo de traslado. Y este lugar fijo, claro, es deseable que tenga buen cielo (oscuro). Como suele suceder, los problemas que se presentan a veces decepcionan. Por eso es importante plantearnos que nos gustaría hacer. Para finalizar, otra posibilidad es integrar un asociación o club. O acercarse a un observatorio ya instalado...

A nuestra observación a simple vista, podemos agregar las tomas **FOTOGRAFICAS** sin telescopio ni guía, hechas con una cámara que permita exposición (B o “bulbo”), con película muy sensible (400 ISO, o más) color (que se verá falseado un poco) o blanco y negro (que será lento de revelar, salvo que lo hagamos nosotros). Debemos poner la cámara en un soporte estable (trípode, pero firme, sobredimensionado!) con retardo y cable disparador. Si la cámara es reflex, podemos usar distintos objetivos. Una exposición de pocos segundos impresionará astros brillantes, constelaciones, Luna, etc., y casi no mostrará trazos de las estrellas. Por el contrario, una larga exposición (condicionada por la luminosidad o *fondo de cielo*) mostrará esos trazos, marcando p. ej. el PSC, etc.

De cualquier manera que observemos, debemos recordar algunas cosas:

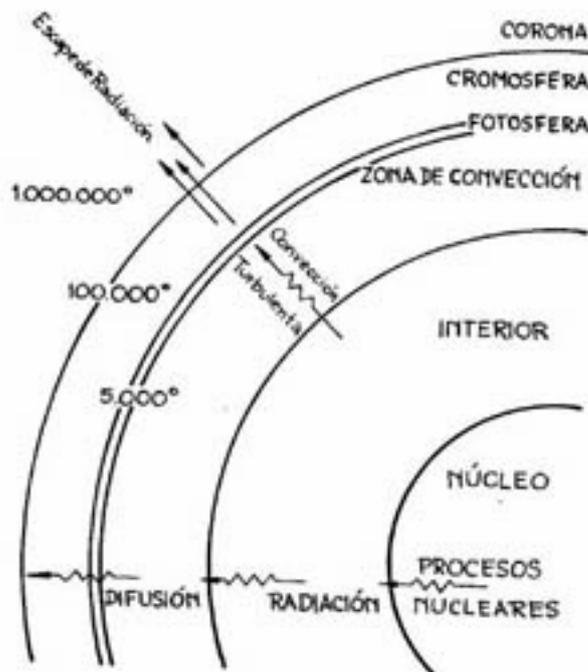
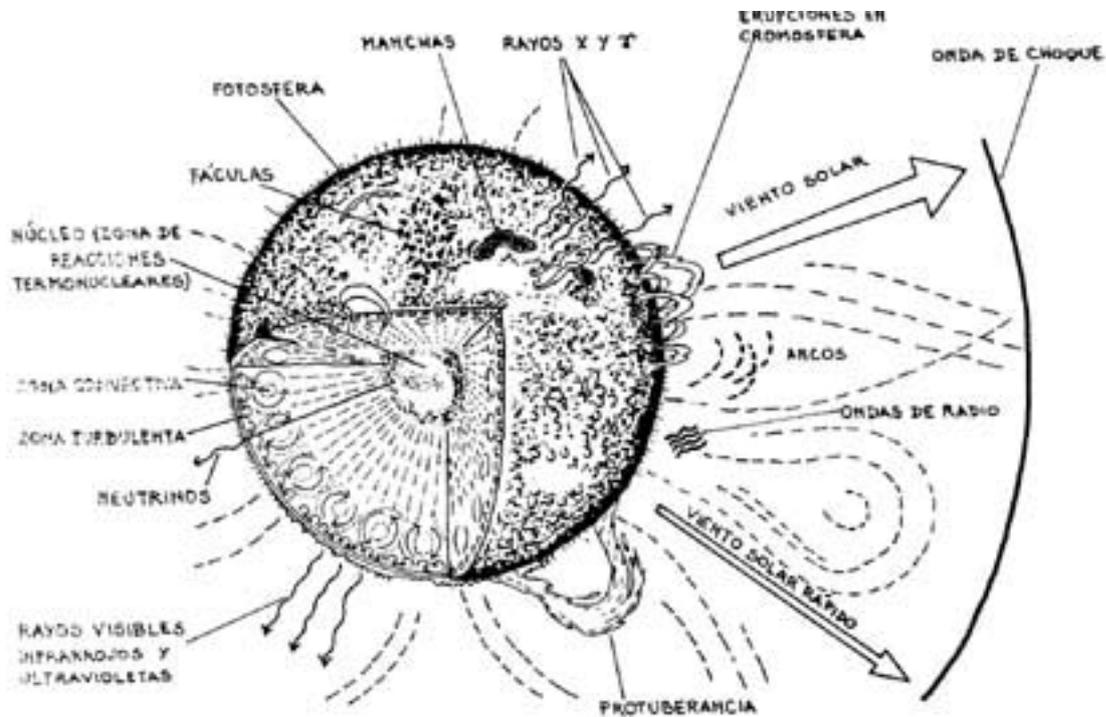
- Cartas celestes (o PC), guía de campo, manual astronómico, hora sidérea, cronograma del evento a observar (si es un eclipse, p. ej.), etc. Todo, relacionado con la actividad u observación.
- Instrumental a usar (ojos y binoculares están listos siempre, pero un instrumento que se transporta es otra cosa; el asunto es más fácil con una instalación fija: las cosas sólo se rompen, no se olvidan).
- Llevar un registro de observaciones es una **MUY** buena idea: fecha y hora(s), participantes, lugar (si no es fijo), clima, cielo, que se observó (planeado, efectuado, aleatorio), problemas. Si usamos un instrumento, los datos de él, aumentos, tiempo de exposición, película, filtros, etc.
- Comprender el clima y sus cambios, la calidad del cielo (despejado, oscuro) y de las imágenes (seeing, centelleo), la conveniencia del lugar de observación si no es fijo, si tendremos Luna y cuanto/cuando y si molestará o no, son también aspectos esenciales que nos dará la práctica mejor que esta lectura. Al igual que abrigo, repelente para mosquitos, linterna/s, etc.
- Como hemos señalado más de una vez, tengamos presente refracción, extinción, masa de aire; en una palabra, observemos alto (cerca del meridiano, en lo posible). Esta premisa puede servirnos para planificar la jornada: tomar la hora sidérea local del *medio* de la noche (aprox. 01 hs. HLA) para la fecha y disponer la/s observación/es para que se centren en ella, es decir que si es un (1) objeto su época *ideal* (pero no única!) de observación es aquella en que su AR coincide con la hora sidérea local del medio de la noche; si son varios, se los observa a medida que transitan, o cerca del meridiano. Claro que esta regla puede tener muchas excepciones, es sólo una guía.
- Si viajamos a zona de montaña alta, y además el lugar es seco, árido, alejado de luces, no olvidemos cartas, prismáticos y cámara: la visión del cielo en esos lugares es maravillosa.

La observación profesional rara vez es visual. En realidad, para ver el “valor” de un instrumento debemos agregar a la cadena cielo – lugar – telescopio –, el **PERIFÉRICO** adosado al mismo. Es decir, el instrumento con el que haremos las observaciones. Este puede ser (raro) visual (p. ej. un micrómetro bifilar), una placa fotográfica (tiende a dejarse de usar), espectrógrafos, fotómetros fotoeléctricos, fotopolarímetros, interferómetros (p. ej. el Speckle), o un detector electrónico como el CCD (“charge coupled device”, o sea “dispositivo de carga acoplada”): podemos asimilarlo a una placa con detección fotoeléctrica, digital en vez de analógica.

Después del telescopio espacial, con gran la ventaja de sus imágenes no perturbadas por la atmósfera y sus problemas de enorme costo y muy difícil mantenimiento y reparación, surgió una nueva generación de grandes telescopios (8 mts.) basados en tierra: los de óptica activa y adaptable, es decir que pueden “deformar” instantáneamente su superficie óptica para corregirla en función del estado y cambios de la atmósfera

(VI) EL SOL.

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra, y la única que presenta un disco en el que se pueden observar rasgos superficiales. Lo usaremos como modelo para comprender otras estrellas



En la “vista” y el “corte” del Sol se aprecian fenómenos superficiales (manchas, protuberancias, etc.) y distintas zonas del mismo. En el núcleo ocurre el proceso de fusión nuclear que da origen a la energía liberada por el Sol. Procesos similares ocurren en toda las estrellas: se fusiona Hidrógeno para dar Helio, liberándose energía según la relación $E = mc^2$. Hay distintos caminos para esto. El parámetro fundamental de la evolución estelar es la masa inicial de las mismas (se puede obtener la masa estudiando estrellas binarias), y en menor medida la rotación.

Con un diámetro de casi 1400000 km y una masa de casi 2×10^{30} kg es con mucho el objeto más grande del sistema solar (tiene más del 99% de la masa total, y la Tierra entraría más de 1000000 de veces en él), pero comparado con otras estrellas es más bien pequeño: Antares es unas 300 veces más grande. Su densidad **media** es algo mayor que la del agua ($1,41 \text{ gr/cm}^3$) debido a su carácter gaseoso (recordemos que la terrestre es de 5,5), y la temp. superficial es de unos 5800° K (unas 20 veces mayor que la media terrestre). Como su ecuador está inclinado sobre la eclíptica poco más de 7° , desde la Tierra vemos a veces su PS (Marzo), otras su PN (Septiembre) o ambos pero “ladeados” (Diciembre y Junio). La aceleración de la gravedad en su superficie es de 274 m/seg.^2 (70 kg en la Tierra son 1946 kg en el Sol). La energía que incide sobre nuestro planeta por radiación es de más de 1 Kw/m^2 , y es sólo $1/2000 \ 000 \ 000$ de lo que emite, lo que nos da una idea de la enorme energía generada por una estrella. Esto nos lleva a considerar el origen de la misma. Para abreviar, diremos que una estrella es un “horno termonuclear”: en su núcleo (gaseoso como el resto), a gran temperatura (unos $15 \ 000 \ 000 \ ^\circ\text{K}$) y enormes presiones (la densidad alcanza 160 gr/cm^3) los átomos de hidrógeno se **FUSIONAN** para formar helio (el siguiente elemento de la tabla periódica) y liberar energía, de acuerdo a la relación

$$E = m C^2,$$

que para dar una idea implica que POR SEGUNDO $592 \ 000 \ 000$ toneladas de H se convierten en $587 \ 900 \ 000$ toneladas de He, o sea que $4 \ 100 \ 000$ ton. corresponden a la energía liberada y equivale a la combustión de $11 \ 500 \ 000 \ 000$ de toneladas de carbón. Esta energía se propaga por radiación y convección hasta la superficie, en un largo proceso, y nos llega por radiación a la Tierra. El Sol se mantiene estable por un equilibrio entre la energía generada y liberada, y la fuerza de gravedad.

Todas las estrellas “normales” se componen de los mismos elementos (H y He fundamentalmente; algunos elementos más pesados al ir evolucionando, en baja proporción) y “funcionan” de igual modo, en líneas generales. El Sol se formó hace unos $5 \ 000 \ 000 \ 000$ de años, a partir de una gran nube de gas que fue colapsando por atracción gravitatoria de sus componentes hasta formar una esfera con un núcleo a tal presión y temperatura que inició las reacciones nucleares, y tiene por delante un tiempo más o menos igual en este estado “normal”, hasta que cambios en su estructura lo modifiquen y alteren sustancialmente. Veremos luego que todas las estrellas se forman en parecidas condiciones, pero su evolución (incluido su final) está condicionada por su masa inicial, entre otros factores.

Al formarse el Sol, se vió enriquecido con metales pesados (es decir, además de H y He en su composición inicial, tenía otros elementos), posibles residuos de una explosión de supernova cercana, de cuya nube en expansión (o parte) se formó el sistema solar (Sol, planetas, etc.). No hay una única teoría, convincente en todos sus detalles, del origen del SS y de sus objetos: planetas mayores y sus satélites; planetas menores (asteroides, restos de un planeta que no se formó); cometas (nube de Öort), cinturón de Kuiper, polvo, etc.

(VII) ESTRELLAS: EL DIAGRAMA H-R.

Analizaremos cómo usar la luz estelar para extraer información que nos permita realizar un “orden” en las distintas estrella que observamos.

MAGNITUDES:

Lo primero que observamos en las estrellas (además de su posición) es su brillo; este no es igual para todas, y en algunos casos (estrellas variables) fluctúa. El brillo (flujo luminoso) se mide en una escala logarítmica de magnitudes, con una diferencia entre cada una de:

$100^{1/5} = 2,512$, diferencia de intensidades (brillo) entre cada magnitud. O bien,
 $m_1 - m_2 = -2,5 \log (I_1/I_2)$ (ley de Pogson, I=intensidad o flujo luminoso). Para dejarlo claro:

Una estrella de $m=2$ es 2,512 veces más débil que una estrella de $m=1$, y

“	“	“	“	3	“	6,3	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“
				4		15,84										
				5		39,81										
				6		100,0										“, etc.

Pero estas magnitudes son las que apreciamos desde la Tierra, y se denominan **aparentes**; la distancia al astro y sus características intrínsecas (tamaño, temperatura) le dan a cada una un brillo que sólo podemos comparar si estuvieran todas a igual distancia. Denominamos magnitud **absoluta** al brillo que tendría una estrella si estuviera a una distancia de 10 pc.

COLORES y ESPECTROS:

Otro rasgo notable es el color de una estrella (algo difícil de apreciar para nuestra vista en el caso de astros débiles). Este color es indicador de su temperatura superficial (las rojas más frías, las azules más calientes). Como vemos más abajo, hay una relación entre esto y el tipo espectral (que resulta de clasificar los espectros obtenidos de distintas estrellas, según sus condiciones particulares).

S_t		O	B	A	F	G	K	M	C	S (divid. en 10: ...F0, F1...F9....etc)
CI		-0,4	0		0,5	1	1,6			
color		azul	blanco	amarillo	rojo					
temp. superf.		50	25	11	7,6	6	5,1	3,6	3	3 (x 1000, °K)
Comp. química		H, He, O, N H ₂ , metales H ₂ , metales, moléculas								

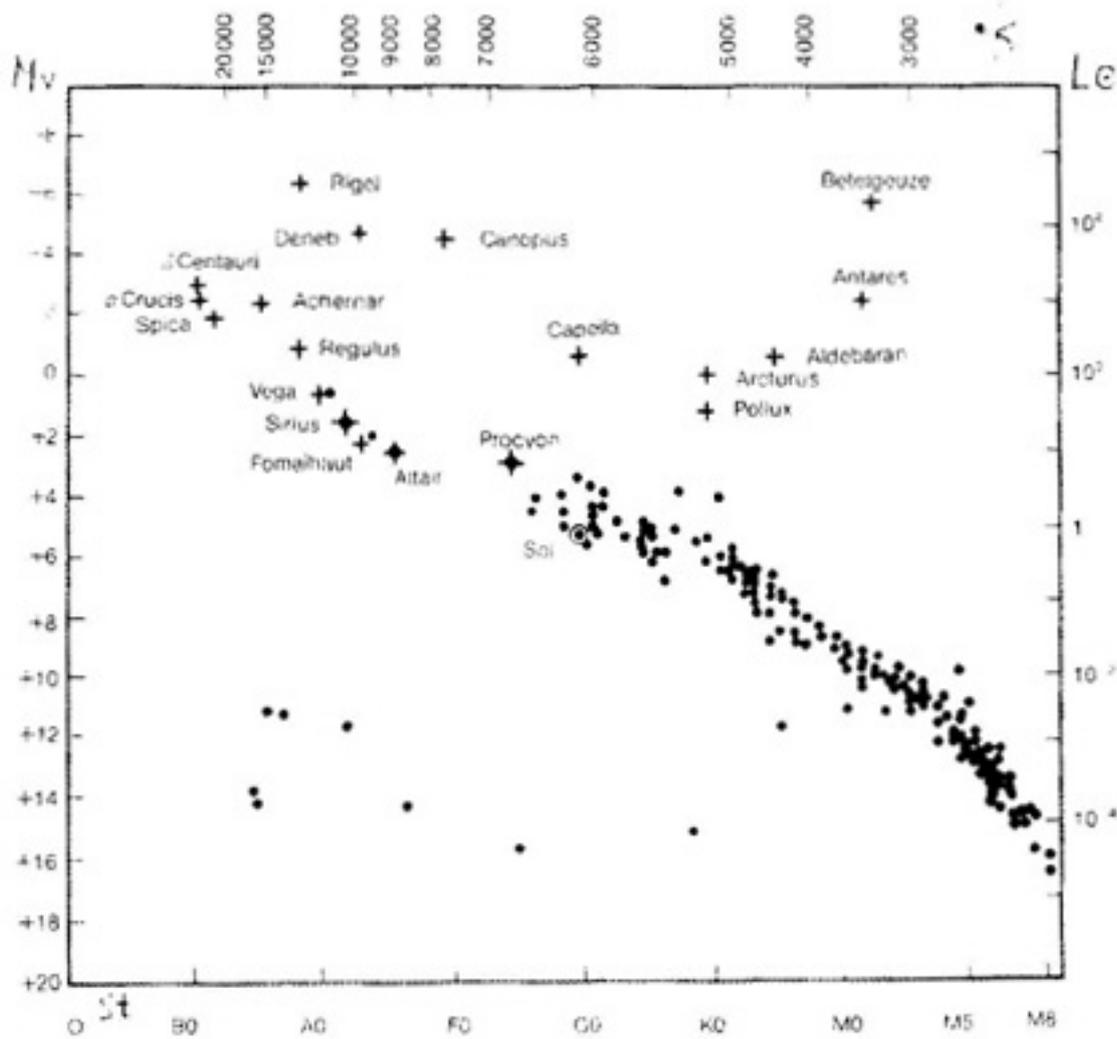
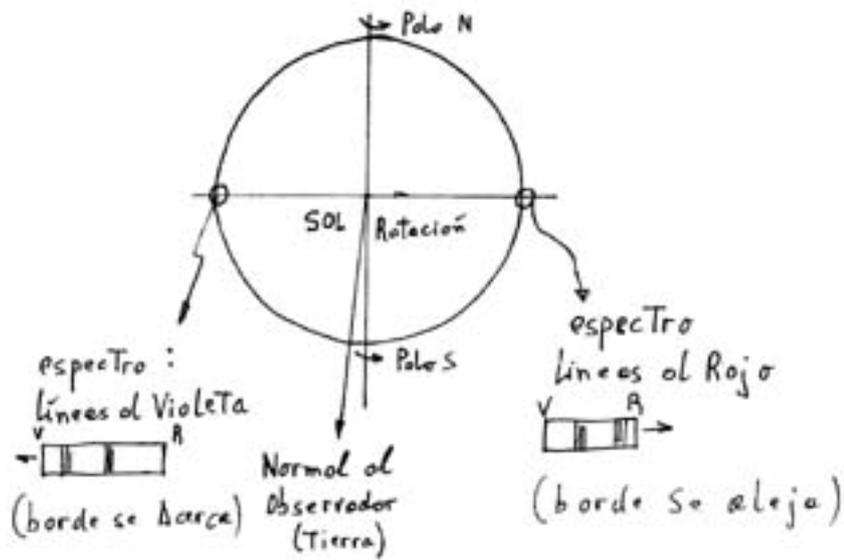
Definimos **Índice de Color (CI)** como la diferencia entre las magnitudes fotográficas y fotovisuales, es decir entre el amarillo y el azul. Además de objetivizar el color de una estrella (las rojas tienen $CI > 0$, o sea positivo, y las azules son negativas: recordar que a mayor brillo menor magnitud), nos permite clasificarlas y, como veremos luego, saber algunas propiedades de la estrella estudiada.

Otro dato importante que surge del estudio espectral es la rotación de las estrellas (por el efecto Doppler). En el Sol, una rotación se da en aprox. 26 días (en su ecuador). [véase diagrama más abajo]

Las estrellas más brillantes visibles desde la Tierra

HIP	Nombre	Vmag	M_abs	Distancia (pc)	B-V (mag)	Tipo Espectral
32349	Sirius	-1.44	1.45	2.64	0.009	A0m
30438	Canopus	-0.62	-5.53	95.88	0.164	F0Ib
69673	Arcturus	-0.05	-0.31	11.25	1.239	K2IIIp
71683	Rigil Kentaurus	-0.01	4.34	1.35	0.71	G2V
91262	Vega	0.03	0.58	7.76	-0.001	A0Vvar
24608	Capella	0.08	-0.48	12.94	0.795	G5IIIe+G
24436	Rigel	0.18	-6.69	236.97	-0.03	B8Ia:
37279	Procyon	0.40	2.68	3.5	0.432	F5IV-V
7588	Achernar	0.45	-2.77	44.09	-0.158	B3Vp
27989	Betelgeuse	0.45	-5.14	131.06	1.5	M2Ib
68702	Agena	0.61	-5.42	161.03	-0.231	B1III
97649	Altair	0.76	2.20	5.14	0.221	A7IV-V
60718	Acrux	0.77	-4.19	98.33	-0.243	B0.5IV
21421	Aldebaran	0.87	-0.63	19.96	1.538	K5III
65474	Spica	0.98	-3.55	80.39	-0.235	B1V
80763	Antares	1.06	-5.28	185.19	1.865	M1Ib+B2.
37826	Pollux	1.16	1.09	10.34	0.991	K0IIIvar
113368	Fomalhaut	1.17	1.74	7.69	0.145	A3V
62434	Becrux	1.25	-3.92	108.11	-0.238	B0.5III
102098	Deneb	1.25	-8.73	990.1	0.092	A2Ia
71681	a Cen B	1.35	5.70	1.35	0.9	K1V
49669	Regulus	1.36	-0.52	23.76	-0.087	B7V
33579	Adara	1.50	-4.10	132.1	-0.211	B2II
36850	Castor	1.58	0.59	15.81	0.034	A2Vm
61084	Gacrux	1.59	-0.56	26.96	1.6	M4IIIH
85927	Shaula	1.62	-5.05	215.52	-0.231	B1.5IV+B
25336	Bellatrix	1.64	-2.72	74.52	-0.224	B2III
25428	El Nath	1.65	-1.37	40.18	-0.13	B7III
45238	Miaplacidus	1.67	-0.99	34.08	0.07	A2IV
26311	Alnilam	1.69	-6.38	411.52	-0.184	B0Ia
109268	Al Nair	1.73	-0.73	31.09	-0.07	B7IV
26727	Alnitak	1.74	-5.26	250.63	-0.199	O9.5Ib
39953	Alshail	1.75	-5.31	257.73	-0.145	WC8+O9I
62956	Alioth	1.76	-0.21	24.81	-0.022	A0p
15863	Algenib	1.79	-4.50	181.49	0.481	F5Ib
90185	Kaus Australis	1.79	-1.44	44.35	-0.031	B9.5III
54061	Dubhe	1.81	-1.08	37.91	1.061	K0IIIa
34444	Wezen	1.83	-6.87	549.45	0.671	F8Ia
67301	Alkaid	1.85	-0.60	30.87	-0.099	B3V
41037	e Car	1.86	-4.58	193.8	1.196	K3III+B2
86228	q Sco	1.86	-2.75	83.4	0.406	F1II
28360	Menkalinan	1.90	-0.10	25.18	0.077	A2V
82273	a TrA	1.91	-3.62	127.39	1.447	K2IIb-II
31681	Alhena	1.93	-0.60	32.13	0.001	A0IV
42913	Koo She	1.93	-0.01	24.45	0.043	A1V
100751	a Pav	1.94	-1.81	56.18	-0.118	B2IV
11767	Polaris	1.97	-3.64	132.28	0.636	F7:Ib-II
30324	Mirzam	1.98	-3.95	153.14	-0.24	B1II/III
46390	Alphard	1.99	-1.69	54.35	1.44	K3III

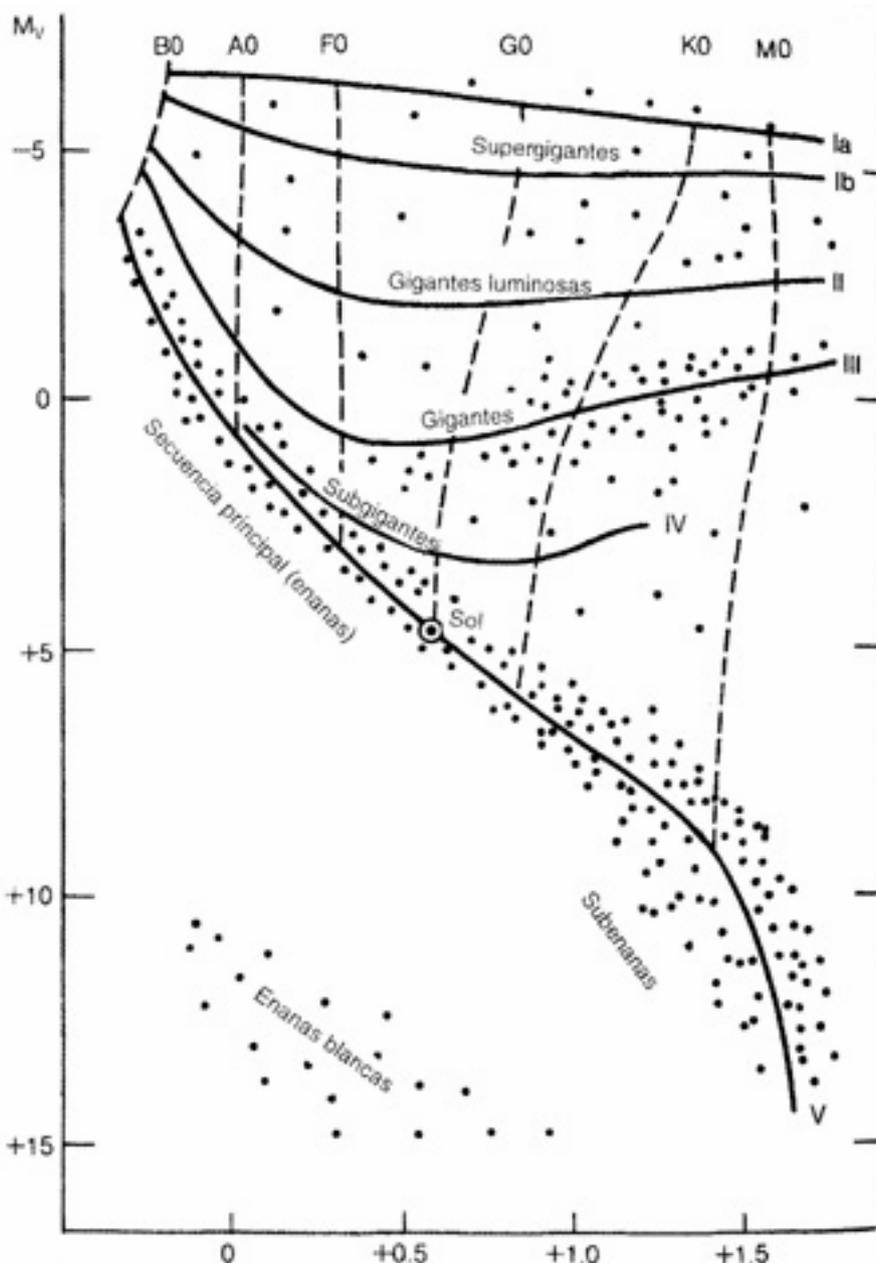
Podemos apreciar la diferencia entre mag. aparente (m) y absoluta (M), así cómo su color (B-V) y tipo espectral.



Ordenando tipos espectrales (St) (o colores o temperaturas) y magnitudes absolutas M_v (o luminosidades, comparadas con el Sol) se obtiene esta clasificación. Es importante señalar que NO es un diagrama evolutivo. Esta diagrama de Hertzsprung y Russell es bidimensional y en su forma original sólo consideraba estrellas cercanas (para poder obtener M_v).

Se observa una SECUENCIA PRINCIPAL, en forma de S alargada y oblicua (nuestro Sol pertenece a ella); una zona de GIGANTES ROJAS (arriba, a la derecha); una de SUPERGIGANTES (extremo superior) y otra de ENANAS BLANCAS y azules (abajo, a la izquierda). Adyacente a la secuencia principal, hacia abajo, están las SUBENANAS; se destacan las enanas rojas, abajo a la derecha.

En el diagrama de más abajo se ve esta clasificación en secuencias o tipos, debido a Morgan, Keenan y Kellman; es más general, debido a incluir más estrellas.

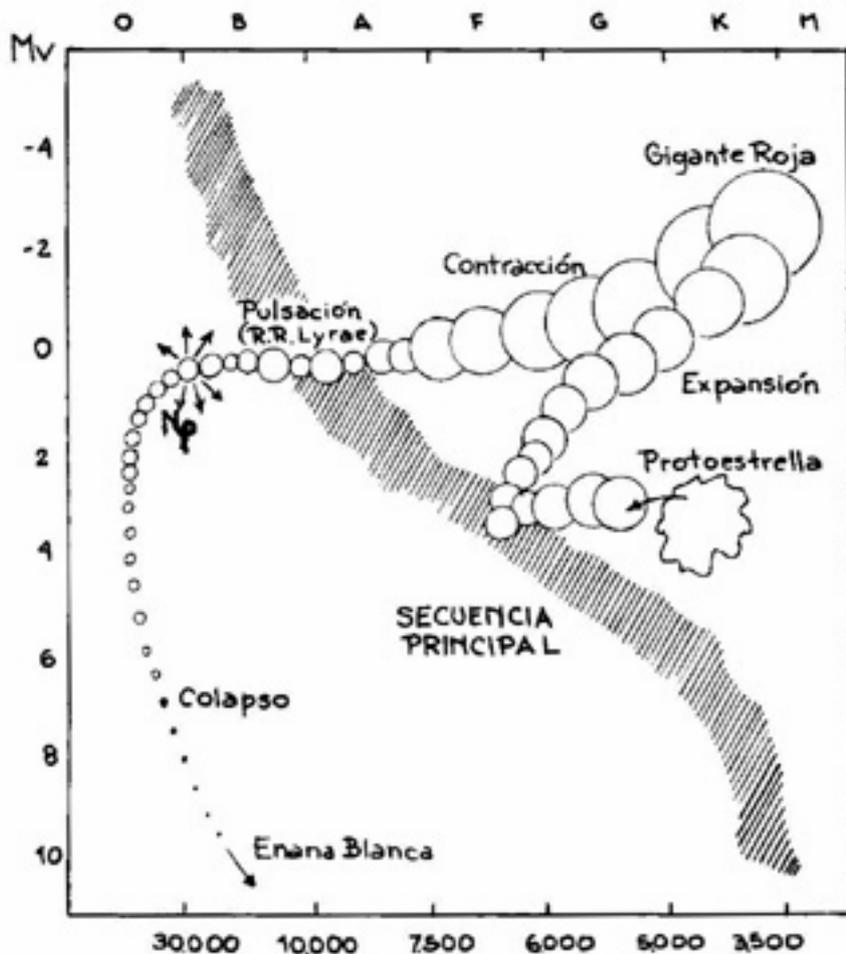


Observemos la correspondencia St o CI- temperatura, $M_v - L$ (que nos da también idea de tamaños: éstos van desde 0,05 radios solares para una enana blanca a 500 para una supergigante). Un punto importante sobre las estrellas es su masa, dijimos que es el principal factor en la evolución de la misma y que se puede obtener con observaciones de sistemas binarios (lo que implica una muestra escasa). Podemos establecer, sin embargo, **una relación entre masa y luminosidad** (siendo esta proporcional al cubo de la masa, en estrellas "normales", o sea V). Y esta relación nos da valores inferiores de algo menos de 0,1 masas solares y superiores de unas 60 masas solares (si este valor es 100, la estrella es inestable); es decir, no vemos estrellas ni de menor ni de mayor masa que las acotadas.

Es importante comprender que no es imposible encontrar estrellas fuera de estas clases o límites, p. ej. en su evolución una estrella puede pasar de una secuencia o clase a otra, permaneciendo un tiempo relativamente pequeño entre ellas; es el caso de algunas variables, y que las estrellas que lo forman no están, necesariamente, en un

mismo estado o edad. La posición del Sol no indica nada especial. Como a gran distancia es difícil o imposible tener paralajes, podemos tomar estrellas de un cúmulo (que, prácticamente, están todas a igual distancia de nosotros) y asumir su m como M (es decir, la diferencia entre ambas es igual para todas las estrellas del mismo). Así, en el caso de cúmulos abiertos (OC) y globulares (GC), sus HR respectivos son marcadamente distintos

En el diagrama HR siguiente vemos las etapas que atraviesa el Sol desde su formación hace unos 5000 000 000 de años a partir de una nube gaseosa, asentándose en la secuencia principal, donde se encuentra actualmente. Luego se convertirá en una gigante roja, y posteriormente (en otros 5 000 000 000 de años más) terminará como una enana blanca. Nótese que no se desliza por la secuencia principal, sino que se llega a ella y luego se sale de ella.



Este camino, este final y estos tiempos se alteran radicalmente si la masa inicial de la estrella es distinta. Estrellas de 25 masas solares viven 2 000 000 de años, mientras que estrellas de 0,5 masas solares pueden vivir 50 000 000 000 de años. Estrellas de hasta 11 masas solares (St A y más tardías) evolucionan como el Sol (es decir, un camino similar y no igual tiempo), pudiendo pasar a fase de supergigante roja. Estrellas de 11 a 50 masas solares (O, B) pasan a supergigantes rojas o azules, luego explotan como una *supernova* y su residuo es un objeto compacto y pequeño (pocas decenas de km.) compuesto por neutrones dado que la gravedad aplastó sus órbitas electrónicas: es una *estrella neutrónica*, que al mantener su giro en un campo magnético cada vez mayor (por disminuir su tamaño) emite un haz de radiación intensa en la gama de radio: es un *púlsar*. Pero si la estrella tiene más de 50 masas solares la explosión de supernova deja un residuo casi puntual, infinitamente denso y capaz de deformar el espacio-tiempo inmediato adyacente completamente: es un *agujero negro*, solo detectable por su acción sobre, p. ej., una estrella cercana orbitándolo (una binaria).

Es evidente que las estrellas no son como los planetas (no muestran sus movimientos o desplazamientos) ni son todas iguales: además de distinto brillo (dado por m y d , o sea M) tienen distinto color y, por lo tanto, distinta temperatura superficial. El estudio de muchas de ellas nos muestra, como dijimos, una similitud con el Sol (y entre ellas) en cuanto a composición química, naturaleza gaseosa y generación de energía. Sus diferencias las encontramos en la masa, el tamaño, la ya mencionada temperatura superficial, y la edad o estado evolutivo. Los *sistemas dobles* (estrellas que rotan una alrededor de la otra, formando un par físico), ya sean dobles *ópticas* (se pueden resolver con el telescopio), *espectroscópicas* (este análisis las identifica como tales) o *eclipsantes* (nuestra visual coincide con el plano de su órbita), nos proporcionan los datos sobre masas y radios estelares. Las agrupaciones de estrellas como las *asociaciones* (acumulación dispersa de estrellas azules, St: O y B, de menos de 10 000 000 de años, vinculadas a gas y polvo; se conocen menos de 100), los *cúmulos abiertos* (agrupación de 50 a 1000 estrellas, tempranas, con edades desde 1 000 000 de años a 1 000 000 000 o más; se conocen unos 1000) y los *cúmulos globulares* (agrupaciones densas, con varios centenares de miles de estrellas en promedio, de St tardío, orbitan la galaxia con centro en su núcleo, edad superior a los 1 000 000 000 de años, se conocen menos de 200) nos proporcionan estrellas que se formaron juntas (entonces, tienen la misma edad) pero que luego evolucionaron de acuerdo a características propias de cada una de las estrellas componentes (p. ej. la masa): esto nos permite estudiar los procesos de evolución (al igual que las binarias muy cercanas). Justamente esta diversidad nos permite comprender procesos que demandan millones de años.

(VIII) ESTRELLAS BINARIAS y ESTRELLAS VARIABLES:

Denominamos estrellas variables a aquellas cuyo flujo luminoso (magnitud) oscila en un rango apreciable en un tiempo relativamente corto (pocas horas a no muchos años), en forma regular (periódica) o irregular. Esta variación se manifiesta en la curva de luz de la estrella, donde se aprecia su amplitud y período, así como otras propiedades. La importancia de su estudio radica en que nos permite comprender la evolución estelar. Insistimos en que esto es solo una pequeña muestra, suficiente para nuestro propósito. Veamos donde ubicar algunos tipos en el HR; obvio, las eclipsantes no están.

Podemos **clasificar las variables en dos grandes grupos:**

1. **Variables extrínsecas, geométricas o de eclipse:**

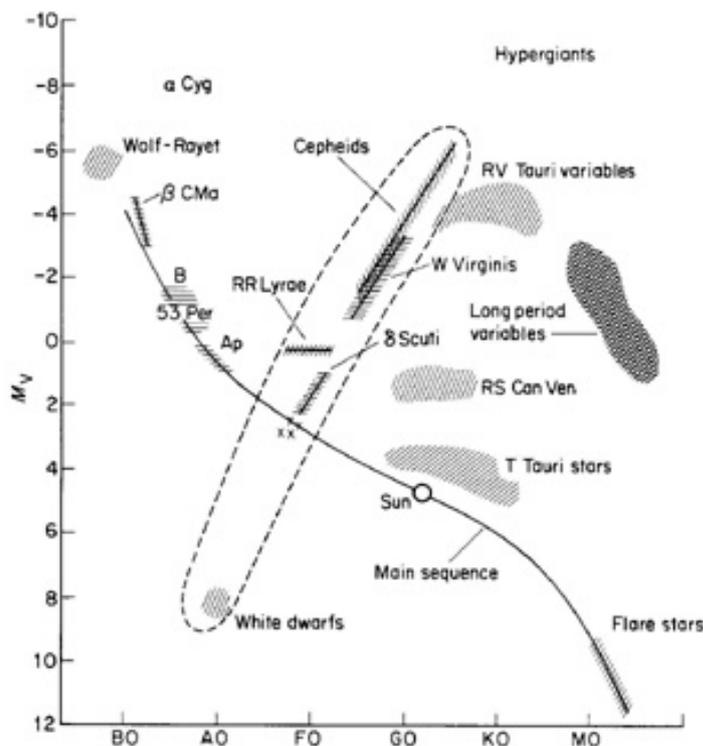
Son las **binarias eclipsantes**, las componentes no varían por sí solas sino que la geometría del sistema produce eclipses (tránsitos y ocultaciones) de una con respecto a la otra, variando así la luz total del sistema que recibimos. Como señalamos antes, nos brindan la única información que disponemos sobre las masas (aplicando ley de gravedad sobre 3° ley de Kepler), además nos proporcionan un verdadero laboratorio donde estudiar la evolución estelar, dado que las muy próximas entre sí se afectan en este sentido (en escalas cronológicas amplias, claro). Se dividen en unos pocos grupos, más o menos similares, y son muy numerosas (más de 5000). Suele incluirse (mal) las **rotacionales** entre éstas, así como las **RS CVn** (eruptiva y binaria).

2. **Variables intrínsecas:**

Son aquellas cuya luz varía a causa de un proceso físico interno o propio de la estrella en cuestión. Podemos dividirlos a su vez en dos grandes grupos:

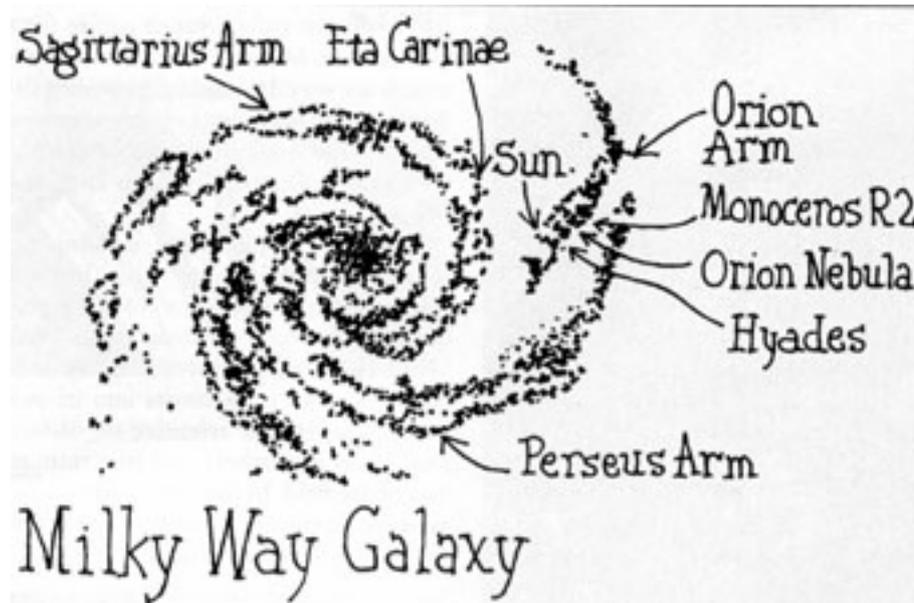
1. Pulsantes: Su variación de brillo, periódica, se debe al aumento y disminución de su radio. Varias clases y muchos miembros, p. ej. **cefeidas** (que al tener una relación entre el período y la luminosidad nos permiten estimar distancias donde la paralaje no sirve, como galaxias cercanas); **RR Lyr**; **W Vir**; **RV Tau**; **Mira**; **gigantes rojas** (semirregulares e irregulares). Es un grupo muy numeroso.

2. Eruptivas: Procesos violentos, irregulares o únicos, usualmente de gran amplitud, caracterizan este grupo. Destacamos las **cataclísmicas**, como ser **Novas** (generalmente binarias) y **Supernovas** (estadio final de estrellas de gran masa, con destrucción de la misma); y los **tipos**: **T Tau** (las estrellas más jóvenes); **R CrB**; **S Dor** (p. ej. η Car?), etc.

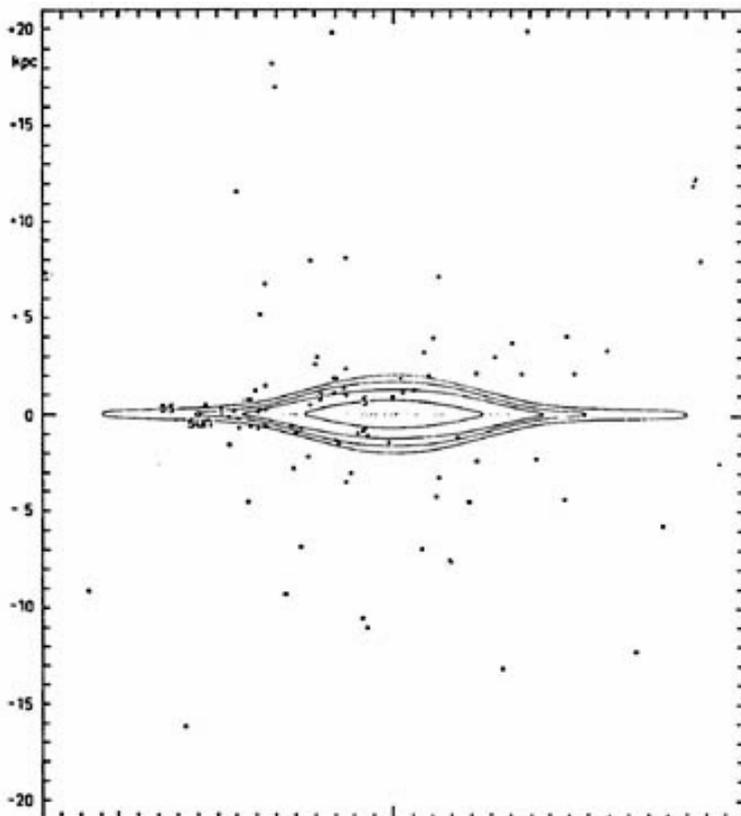


(IX) LA VÍA LÁCTEA.

Sólo en las últimas décadas se ha podido llegar a un cuadro de nuestra ubicación en el universo, y su composición y escala. El estudio de nuestra galaxia, la Vía Láctea, con sus componentes de gas, polvo y estrellas; y sus conjuntos de estrellas, cómo son los cúmulos abiertos o galácticos (jóvenes, en los brazos) y los cúmulos globulares (viejos, formando un halo centrado en el núcleo de la galaxia) fueron fundamentales en este proceso. Al comparar con otras galaxias, el cuadro se completa.



Vemos (arriba) la disposición de brazos y (abajo) las dimensiones de núcleo y disco. Obsérvese el Sol. Es similar a la galaxia de Andrómeda (foto negativa).



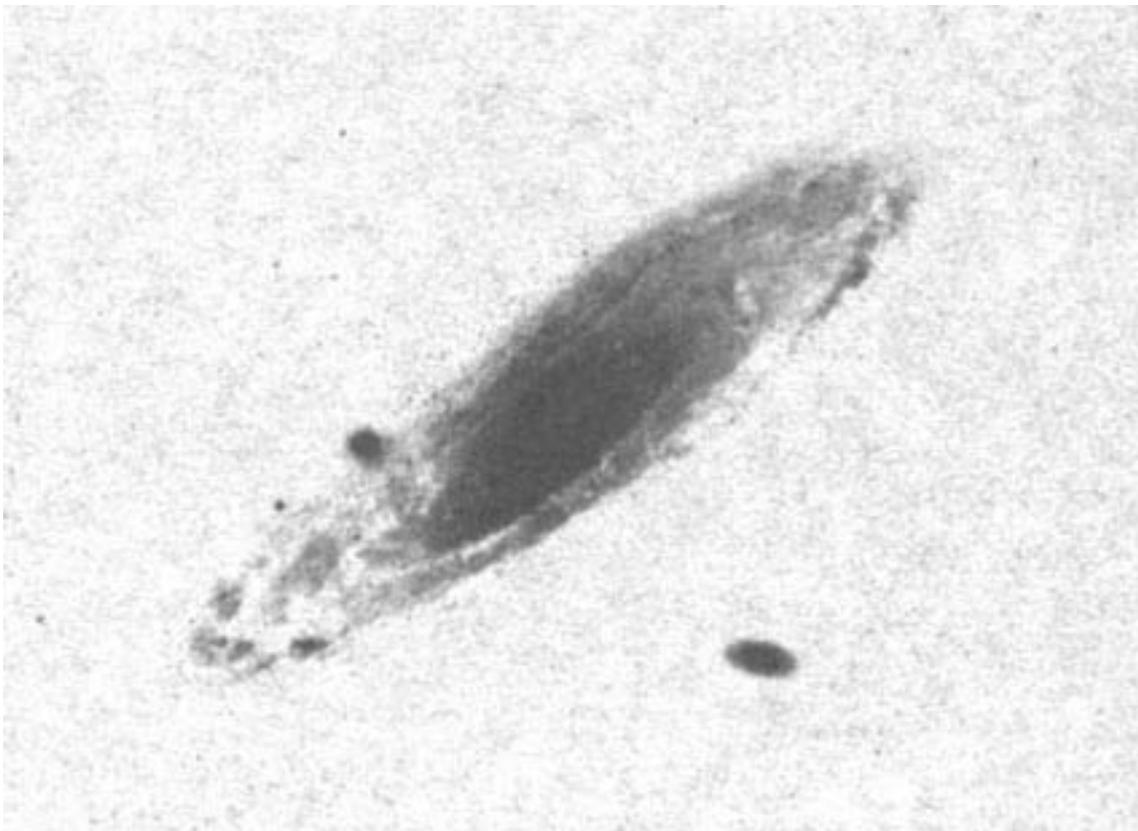
En 1940 Baade observó que se puede distinguir tres tipos de estrellas en estas galaxias, diferenciándolas por la edad y el contenido de metales: 1) las estrellas de **población I** son luminosas (**O, B**), **jóvenes** (menos de 10 000 000 de años), en **OC** y asociaciones, cefeidas, órbitas casi circulares, **metalicidad "normal"** (parecida al Sol, o sea **alta** por formarse de una nebulosa enriquecida con elementos pesados formados en estrellas más viejas que terminaron como supernovas) con un 2% de ellos + 70% de H_2 y 28% de He; suele dividirse en **extrema** (**brazos espirales**) y **antigua** (algo más viejos, **fuera de los brazos**). 2) La **población de disco** comprende nebulosas planetarias (PN) y la **mayoría de estrellas alrededor del Sol**; es un sistema aplanado, concentrado hacia el centro galáctico, al que incluye. 3) La **población II** incluye **GC**, subenanas, RR Lyr. Presentan **distribución esférica**, concentrando hacia el centro, con órbitas elongadas; **objetos viejos, poca metalicidad**, sin gas ni polvo. Se dividen en halo (más antigua) e intermedia.

A continuación damos un catálogo de objetos notables llamado Messier (M) por ser quién lo confeccionó, en París, en el S. XXVIII. Solo listamos los objetos con declinación menor de +40°, ordenados por AR; las coordenadas son 2000.0. Los objetos son tanto de la MW (pero no estrellas) como galaxias.

Catálogo Messier

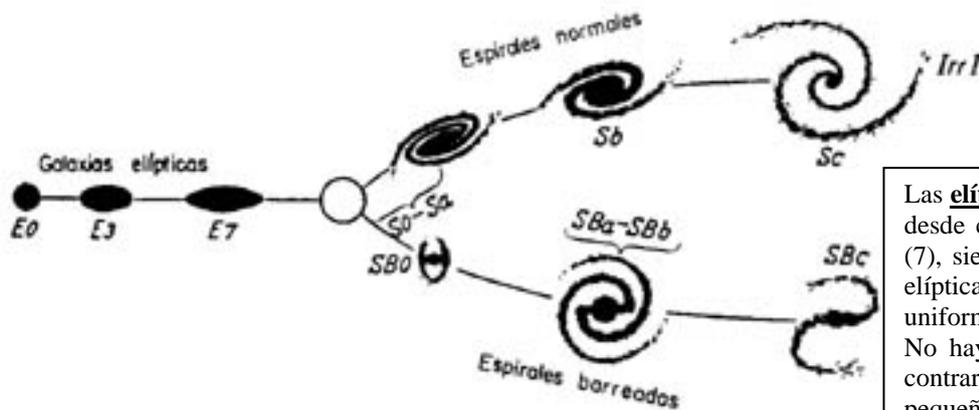
N°	N° NGC	A. R. h	2000 m	Dec. °	'	Tipo	Const.	Tamañ.(⁺)	Mv	Dist.
M32	221	0	42,7	40	52	G	And	3x2	8,7	2280000
M33	598	1	33,8	30	39	G	Tri	60x4	5,8	2280000
M74	628	1	36,7	15	47	G	Psc	8	10,2	?
M77	1068	2	42,7	0	-1	G	Cet	2	8,9	?
M45	-	3	47,5	24	7	CA	Tau	120	1,6	410
M1	1952	5	34,5	22	1	NEB	Tau	6x4	8,4	3423
M36	1960	5	36,3	34	8	CA	Aur	16	6,3	4200
M37	2099	5	53	32	33	CA	Aur	24	6,2	4200
M38	2912	5	28,7	35	30	CA	Aur	18	7,4	4200
M42	1976	5	35,3	-5	23	NEB	Ori	66x60	4,8	1500
M43	1982	5	35,5	-5	16	**	Ori	-	9	1500
M78	2068	5	46,7	0	-4	NEB	Ori	8x6	8,3	1630
M79	1904	5	24,2	-24	31	CG	Lep	8	7,9	42400
M35	2168	6	8,8	24	20	CA	Gem	29	5,3	2800
M41	2287	6	47	-20	48	CA	CMa	32	4,6	2200
M46	2437	7	41,8	-14	49	CA	Pup	27	6	5900
M47	2422	7	36,6	-14	29	CA	Pup	25	5	-
M50	2323	7	3	-8	21	CA	Mon	16	6,3	2970
M93	2447	7	44,6	-23	53	CA	Pup	18	6	3600
M44	2632	8	40	20	0	CA	Cnc	90	3,7	515
M48	2548	8	13,8	-5	48	CA	Hya	30	6	-
M67	2682	8	51,3	11	48	CA	Cnc	18	6,1	2700
M95	3351	10	44	11	42	G	Leo	3	9,9	?
M96	3368	10	46,8	11	49	G	Leo	7x4	9,1	?
M105	3379	10	47,8	12	35	G	Leo	2x2	9,2	?
M65	3623	11	18,9	13	6	G	Leo	8x2	9,3	?
M66	2682	11	20,3	13	0	G	Leo	8x2	8,4	?
M49	4472	12	29,8	8	0	G	Vir	4x4	8,6	3600000
M58	4579	12	37,7	11	49	G	Vir	4x3	9,2	3600000
M59	4621	12	42	11	39	G	Vir	3x2	9,6	3600000
M60	4649	12	43,7	11	33	G	Vir	4x3	9,3	3600000
M61	4303	12	21,9	4	28	G	Vir	6	9,7	3600000
M64	4826	12	56,7	21	41	G	Com	8x4	8,8	1950000
M68	4590	12	39,5	-26	45	CG	Hya	9	8	39100
M84	4374	12	25,1	12	53	G	Vir	3	9,3	3600000
M85	4382	12	25,4	18	11	G	Com	4x2	9,3	3600000
M86	4406	12	26,2	12	57	G	Vir	4x3	9,7	3600000
M87	4486	12	30,8	12	23	G	Vir	3	9,2	3600000
M88	4501	12	32	14	25	G	Com	6x3	10,2	3600000
M89	4552	12	35,7	12	33	G	Vir	2	9,5	3600000
M90	4569	12	36,8	13	10	G	Vir	6x3	10	3600000
M91	4548	12	35,4	14	30	G	Com	-	9,5	-
M98	4192	12	13,8	14	54	G	Com	8x2	10,4	3600000
M99	4254	12	18,8	14	25	G	Com	4	9,9	3600000
M100	4321	12	22,9	15	49	G	Com	5	9,9	3600000
M104	4594	12	40	-11	37	G	Vir	7x2	8,4	14350000
M3	5272	13	42,2	28	23	CG	CnV	19	6,4	45600
M53	5024	13	12,9	18	10	CG	Com	15	7,6	65200
M83	5236	13	37,7	-29	52	G	Hya	10x8	10,1	13000000
MS	5904	15	18,5	2	5	CG	Ser	20	6,2	27000
M4	6121	16	23,6	-26	31	CG	Seo	23	6,5	7500
M10	6254	16	57,2	-4	6	CG	Oph	12	6,7	16300
M12	6218	16	47,2	-1	57	CG	Oph	12	6,6	18900
M13	6205	16	41,7	36	28	CG	Her	23	5,7	22500
M80	6093	16	17	-22	59	CG	Seo	5	7,7	35850
M107	6171	16	32,5	-13	3	CG	Oph	8	9	7200
M8	6405	17	40	-32	12	CA	Sgr	26	5,3	2050
M7	6475	17	54	-34	49	CA	Sco	50	5	815

M9	6333	17	19,2	-18	31	CG	Oph	6	7,3	25800
M14	6402	17	37,6	-3	15	CG	Oph	7	7,7	23500
M19	6273	17	2,6	-26	16	CG	Oph	5	6,6	22500
M23	6494	17	56,9	-19	1	CA	Sgr	27	6,9	2200
M62	6266	17	1,2	-30	7	CG	Oph	6	6,6	22500
M8	6523	18	3,7	-24	23	NEB	Sgr	80x40	6	4900
M11	6705	18	51,1	-6	16	CA	Sct	12	6,3	5500
M16	6611	18	18,9	-13	47	CA/NEB	Ser	8	6,4	5900
M17	6618	18	20,8	-16	10	CN/NEB	Sgr	46x37	7,4	5900
M20	6514	18	2,4	-23	2	NEB	Sgr	29x27	6,9	5200
M21	6531	18	4,7	-22	30	CA	Sgr	12	6,5	4200
M22	6656	18	36,4	-23	54	CG	Sgt	17	5,9	9800
M24	6603	18	18,4	-18	25	CA	Sgr	4	4,6	16300
M25	4725	18	31,7	-19	14	CA	Sgr	35	6	1950
M26	6694	18	45,2	-9	24	CA	Sct	9	9,3	4900
M28	6628	18	24,6	-24	52	CG	Sgr	15	7,3	15000
M54	6715	18	55,1	-30	28	CG	Sgr	6	7,3	48900
M57	6720	18	53,6	33	2	NP	Lyr	1x1	9,3	1800
M69	6637	18	31,4	-32	21	CG	Sgr	4	8,9	23500
M70	6681	18	43,2	-32	17	CG	Sgr	4	9,6	65200
M27	6853	19	59,6	22	43	NP	Vul	8x4	7,6	650
M55	6809	19	40	-30	57	CG	Sgn	15	6,9	18900
M56	6779	19	16,6	30	11	CG	Lyn	5	8,2	45650
M71	6838	19	53,7	18	47	CG	Sge	6	9	17950
M29	6913	20	24	38	31	CA	Cyg	7	7,1	3900
M72	6981	20	53,5	-12	32	CG	Aqr	5	9,8	58700
M73	6994	20	59	-12	38	CA	Aqr	-	-	-
M75	6864	20	6,1	-21	55	CG	Sgr	5	8	78250
M2	7089	21	33,5	0	-49	CG	Aqr	12	6,3	52300
M15	7078	21	30	12	10	CG	Peg	12	6	48900
M30	7099	21	40,4	-23	11	CG	Cap	0	8,4	42400

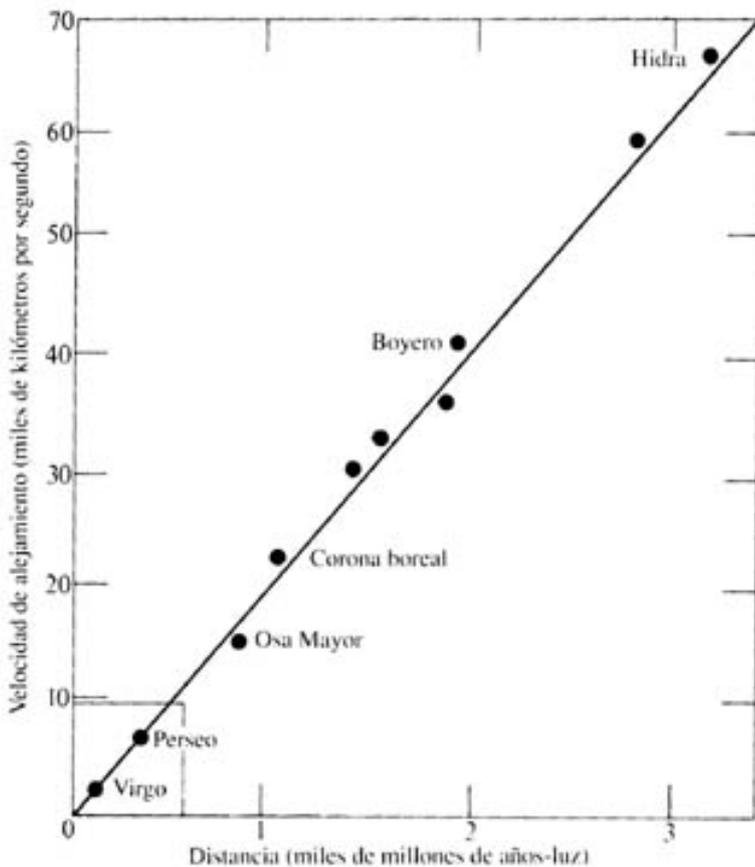


Las *dimensiones* de la MW son de unos 100 000 al de extensión, con un núcleo de unos 30 000 al de diámetro y contiene unas 200 000 000 000 de estrellas. El Sol efectúa una rotación al centro en unos 270 000 000 de años (ha dado 20 vueltas).

(X) GALAXIAS. EL UNIVERSO.



Las **elípticas (E)** tienen aspecto que va desde casi esférico (0) a muy elíptico (7), siendo más abundantes las menos elípticas; presentan una luminosidad uniforme, y no tienen brazos espirales. No hay evidencia de gas y polvo, al contrario de las espirales. Muchas son pequeñas y débiles, pero algunas como M87 son gigantes, mucho más grandes que las espirales. Las **S0 o lenticulares** son similares a las elípticas, pero con una condensación central bien marcada, a modo de núcleo, con disco, pero sin espirales. Podría ser un tipo intermedio entre espirales y elípticas, en la que las espirales pierden sus brazos: en este caso, el diagrama de Hubble puede ser, en parte, evolutivo, avanzando de derecha a izquierda (?). Las **espirales (S)** presentan brazos más o menos definidos emergiendo del núcleo y curvándose alrededor de él, a veces en más de una vuelta. El diámetro es mucho mayor que el espesor (son achatadas). Las siglas **a, b, c**, designan prominencia del núcleo y desarrollo de los brazos. Nuestra MW y Andrómeda son **Sb**. Los brazos rotan más lentos y se retrasan, o sea se "aprietan". Es de destacar que estos brazos espirales son recorridos por una onda de densidad, espiral y cuasiestacionaria, sobrepasada por la materia al doble de velocidad: es decir, los brazos no son "objetos" sino "procesos". Una variedad de espirales son las **barradas (SB)**, también divididas en **a, b, c** (cada vez más abiertos). Los brazos espirales en éstas salen de una "barra" luminosa que atraviesa el núcleo. No son tan frecuentes. En todas las espirales encontramos estrellas luminosas, gas y polvo (nebulosas), OC y GC y asociaciones.



En el diagrama superior se observa la clasificación (morfológica, y por impulso angular) de Hubble de las distintas galaxias: elípticas (como los satélites de Andrómeda); espirales (como la nuestra y Andrómeda); espirales barradas. Faltan las irregulares, como las Nubes de Magallanes (satélites de la Vía Láctea). No es un diagrama evolutivo. En el último gráfico, se observa la famosa relación descubierta también por Hubble: las galaxias (o cúmulos de las mismas) que se encuentran a mayor distancia, se alejan a mayor velocidad. Esto, que es igual desde cualquier punto del universo, se interpreta como consecuencia de la expansión del universo, debida a su formación en el Big Bang.

No podemos finalizar este curso sin hablar, muy superficialmente, de las estructuras a gran escala del universo: el grupo local de galaxias; los cúmulos de galaxias y, por fin, el universo, que como es TODO lo que contiene lo limitaremos a un punto de vista astronómico, mencionando de pasada teorías como el Big Bang (eminentemente física).

El sistema solar, las estrellas y casi todos los demás objetos que vemos a simple vista (una excepción son las Nubes de Magallanes, p. ej.) pertenecen a nuestra galaxia, la Vía Láctea (MW). Desde el SS la vemos como una franja luminosa, difusa, con zonas más y menos densas y con sectores oscuros, con polvo (el espacio “vacío” no es tan vacío: tenemos gas y polvo; por suerte podemos observar a través de él en ondas de radio). ¿Son todas las galaxias iguales a la nuestra, es decir en su forma, estructura, dimensiones, masa, edad y contenido estelar (poblaciones, objetos)? Hasta alrededor de 1930 se suponía que la MW era LA galaxia, y quizás todo el universo; pero mejores y mayores telescopios y detectores permitieron estudiar pequeñas “nebulosas” que resultaron ser “extragalácticas” (EG), lejanas a la MW, como se determinó al estudiar sus variables cefeidas. Importantes para este estudio fueron las Nubes de Magallanes (SMC y LMC), galaxias irregulares satélites de la nuestra, y sobre todo la galaxia de Andrómeda, parecida a la nuestra, incluso con galaxias satélites, pero elípticas; todas integrantes del grupo local. Las *dimensiones* son variadas, la MW es típica, las hay “enanas”. La mayor galaxia conocida tiene 8 000 000 a.l. de diámetro!. Del total clasificado de galaxias, 60% son espirales, contra 20% elípticas, 15% lenticulares y 5% irregulares. Algunos núcleos de espirales son más brillantes que la media, con gas a alta temperatura y radiando: son galaxias de núcleo activo (AGN) y tipo *Seyfert*. Los cuasares podrían ser núcleos de galaxias muy activas y primitivas, muy pequeñas, quizás con un agujero negro (BH) en su núcleo. Se los considera los objetos más luminosos del universo, y también los más lejanos, lo que implica ser los más antiguos, también. En todo caso, son galaxias activas, emisoras en radio, por lo que se las llama radiogalaxias. Las irregulares (I) no entran en los anteriores tipos, tienen estructura amorfa o (aparentemente) caótica (¿explosión en núcleo?) y composición similar a las espirales. Obvio, pueden ser (en cualquier caso) mal clasificadas, dado que esto depende de cómo la observamos. Para determinar la *distancia* a las galaxias se usan las estrellas variables cefeidas y RR Lyr, aplicando la relación período – luminosidad que corresponda. Otra posibilidad es detectar novas o supernovas y medir su brillo máximo. En galaxias tan alejadas que hacen imposible individualizar estos objetos se puede recurrir a medir su luminosidad o su diámetro aparente y comparar con galaxias conocidas. Por supuesto que en estos casos hay una cierta *incertidumbre* o error, a veces difícil de mensurar.

Así como las estrellas no están aisladas en el espacio (son dobles o más, o están en un cúmulo, o en última instancia pertenecen a una galaxia), las galaxias tienden a agruparse en cúmulos de galaxias. P. ej. la MW pertenece a un grupo local, pobre (algo más de 30 miembros, solo se destacan MW, M31 o Andrómeda y M33 o Triángulo) y con una extensión de 2 Mpc. Para comparar podemos citar el cúmulo de Virgo, con 5 Mpc y unas 2 500 galaxias. Estos cúmulos son la mayor estructura física del universo. Pero a su vez, la distribución de las galaxias (posición, distancia) no es uniforme y al azar: en 1980-90 se comprobó que los cúmulos tienden a conectarse, formando supercúmulos (p.ej. uno incluye el Local y el de Virgo). Se encuentran así regiones vacías de galaxias y otras con acumulación de ella. Una POSIBLE distribución nos muestra a las galaxias distribuidas sobre la superficie de enormes burbujas. Por cierto que esto depende del volumen de espacio analizado, todavía relativamente poco.

Interpretando la ley de Hubble como una expansión del universo es claro que desde cualquier punto veríamos lo mismo, en gran escala: cúmulos de galaxias alejándose unos de otros en función de sus distancias. No podemos definir un centro, cualquier punto lo es. Y recordemos ahora que distancia es tiempo, dada la velocidad finita de la luz. Podemos hacer una analogía con un globo con partículas de talco adentro; si lo inflamos las partículas se van alejando. La velocidad, proporcional a la distancia, la podemos expresar como

$$V = H \times d,$$

siendo H la constante de Hubble, cuyo valor actual (originalmente mucho mayor) está entre 50 y 100 km/seg por Mpc, lo que equivale a decir que un objeto a 100 o 200 Mpc (unos 300 a 600 millones de a.l.) se alejará a 10 000 km/seg.. Entonces se pueden medir distancias obteniendo el corrimiento al rojo ($z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$) en el espectro de la galaxia en cuestión... si nos da una velocidad de alejamiento de 10 000 km/seg, el objeto estará a 300 000 000 a.l.,... o a 600 000 000!. Debemos señalar, sin entrar en detalles, que investigadores como H. Arp discrepan con esta interpretación del corrimiento al rojo. Así y todo, es la única herramienta para determinar GRANDES distancias.

La “mejor” teoría que tenemos en la actualidad sobre el origen y evolución del universo es la del “Big Bang” o gran explosión. Según esta, TODO el universo actualmente observable estaba en un momento cero (hace entre 10 y 20 mil millones de años: no hay acuerdo completo sobre esto, depende entre otras cosas de H) comprimido en un punto. Luego comenzó a evolucionar, en una rápida expansión (la “explosión”, que no debe verse en el sentido clásico, de “afuera”) y enfriamiento. La materia, la energía (sus cuatro fuerzas), el tiempo, y el espacio, con todas sus

características, estaban o se formaron en ese punto. La evolución posterior nos llevó al estado actual, casi vacío y muy frío. La comprensión de la física del proceso es esencial para comprender porqué tenemos ahora estrellas, galaxias y cúmulos tal como lo observamos. Pruebas a favor del Big Bang son una radiación de fondo de casi 3° K en todo el cielo, residuo de esta explosión; el corrimiento al rojo de las galaxias, a causa de esta expansión; y, más fácil de ver, el cielo oscuro nocturno. En efecto, tomando la luz de todas las estrellas, serían un punto al lado del otro y el cielo brillaría como el Sol (paradoja de Olbers): esto no sucede por el desplazamiento al rojo, que debilita la luz (frecuencias menores, disminución de la intensidad) e incluso impide que llegue a nosotros (a mayor distancia, más velocidad).

¿Cual es la imagen del universo? Finito, pero ilimitado. Al igual que sucede con la superficie de una esfera, tiene un tamaño dado pero podemos desplazarnos por su superficie sin encontrar un límite. ¿Cual es su futuro? Para esto debemos saber cómo (si lo hace) frenará el universo su expansión (o velocidad de la misma). Esto implica conocer H y la densidad media (es decir, conocer su volumen y masa), lo que nos indicará un parámetro de desaceleración, q. Si q sobrepasa cierto valor, el universo dejará de expandirse y se volverá a contraer a un punto parecido al inicial (Big Crunch): es el caso de un universo elíptico cerrado. Si q es menor que ese valor, la expansión seguirá siempre: un universo hiperbólico abierto. Y si q es justo ese valor (0.5) tenemos el límite entre cerrado y abierto: un universo parabólico y plano, en equilibrio. ¿Cual es el valor de q? Hasta ahora no hay una respuesta a este interrogante.

