

UNAS PINCELADAS SOBRE NUESTRO UNIVERSO

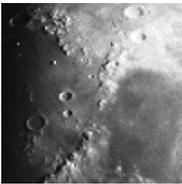
Objetivo:

Introducir conceptos básicos que nos permitan:

- Iniciarnos en la observación astronómica.
- Profundizar en nuestra comprensión del Universo

Desarrollo:

Empezamos planteándonos la pregunta: ¿Qué ocurre cuando empezamos a observar el cielo?



Tierra

Una de las primeras imágenes que solemos ver cuando miramos por primera vez por un telescopio es la de la superficie de la Luna. Nos damos cuenta que está llena de cráteres, que su superficie es muy distinta a la de la Tierra. La Tierra vista desde el exterior presenta el color azulado y blanco que la caracteriza. Si observamos otros planetas de nuestro Sistema Solar y los comparamos unos con otros nos damos cuenta de que son muy distintos entre sí, no sólo en color sino también en tamaños. Además, algunos son rocosos, otros tienen superficies gaseosas con anillos y los más alejados presentan superficies heladas.



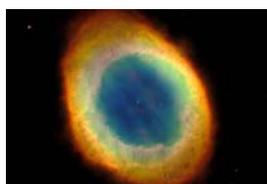
Cuerpos del Sistema Solar

Es decir, observar el cielo nos puede abrir la mente, nos hace plantearnos muchas preguntas. Empezamos a tomar conciencia y a apreciar el espacio que habitamos, nuestro planeta Tierra y nos percatamos que la Tierra es tan sólo un pequeño cuerpo que forma parte de un conjunto y que este conjunto gira alrededor de un cuerpo mayor, nuestra estrella, el Sol. Y todos estos cuerpos junto con los cometas, asteroides, y los hoy conocidos, objetos transneptunianos constituyen nuestro Sistema Solar.

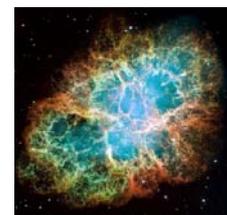
Si pasamos a observar objetos más lejanos (cielo profundo) tales como nebulosas, galaxias y cúmulos de estrellas nos surgen muchas más preguntas...



Nebulosa de Orión (M 42)



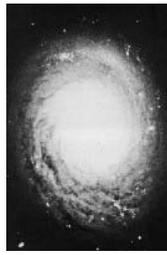
Nebulosa Anular de Lyra (M 57)



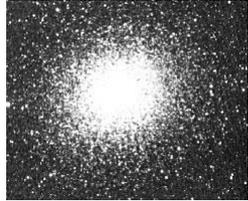
Nebulosa del Cangrejo (M 1) en Tauro



Galaxias espirales de Canes Venatici (M 51, M 94)



Galaxia del Sombrero en Virgo (M 104)



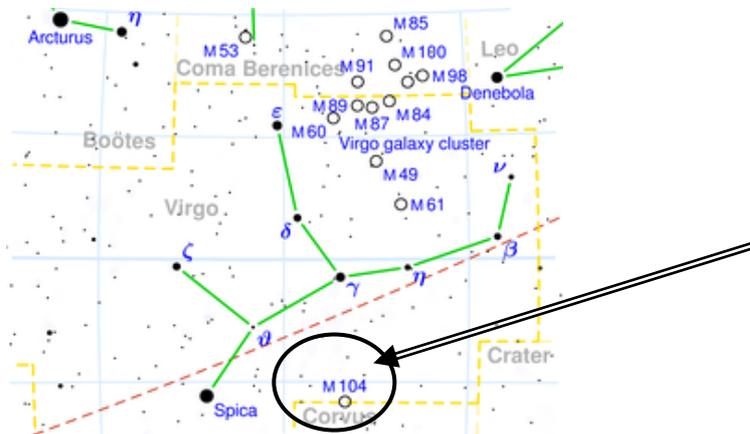
Cúmulo globular de Hércules (M 13)



Cúmulo abierto las Pléyades (M 45) en Tauro

Apreciado esta diversidad “tocamos” la idea de que hay todo un conjunto de cuerpos fascinantes y que nuestra Tierra es tan sólo un minúsculo cuerpo que forma parte de algo mucho más complejo y amplio que llamamos el Universo.

Si empezamos a indagar en los libros comprobamos que todos y cada uno de estos objetos pertenecen a alguna constelación, por ejemplo la galaxia del sombrero (M104) se encuentra en la constelación de Virgo. También observamos que estos cuerpos se denotan con la letra M seguida de un número. Las estrellas de las constelaciones (ver la figura) se enumeran por orden de brillo utilizando letras del alfabeto griego: α , β , γ , δ , ϵ , ζ , η , θ ...; de modo que las más brillantes se representan por un punto más grueso. Además, algunas de ellas (las más brillantes) tienen nombres propios, como Spica, la estrella α de Virgo.



Vamos a empezar a plantearnos preguntas e ir contestándolas:

- ¿Qué significa la numeración? M1, M13, M57...
- ¿Cómo cuantificamos el brillo de una estrella?
- ¿Qué es una constelación?
- ¿Son visibles las mismas constelaciones a lo largo del año?
- ¿Cuál es la estrella más brillante?
- ¿...y cuál la más cercana?



M1, M13, M57... es la numeración utilizada en el **catálogo Messier**. Messier era un astrónomo francés que vivió del 1730-1817 era un estudioso apasionado de los cometas: había descubierto unos quince y observado otros tantos. Para ello se servía de un pequeño anteojito reflector con el que conseguía

aumentar la imagen cien veces. Durante sus observaciones veía objetos que resultaban esféricos y difusos como las cabezas de los cometas. No era agradable darse cuenta que dichos objetos unas horas más tarde permanecían fijos entre las estrellas, no pudiendo tratarse por tanto de cometas. Era una gran desilusión. Messier que buscaba cometas decidió de una vez por todas librarse de los objetos celestes que le engañaban. Por este motivo, decidió recopilar una lista de objetos difusos fijos (dado que Messier vivía en Francia la lista contiene únicamente objetos del hemisferio norte). De ese modo realizó la obra más importante de su vida, gracias a la cual su nombre entró en la historia de la astronomía. Este catálogo contiene 110 objetos constituidos por Nebulosas, galaxias y cúmulos de estrellas. Estos objetos se enumeran empezando con la letra M seguida de un número. Algunos de ellos son visibles a simple vista, otros con unos prismáticos y para otros es necesario utilizar un telescopio modesto. Es por ello, que estos objetos son muy adecuados para observar por los aficionados a la astronomía, haciendo de este catálogo uno de los más usados.

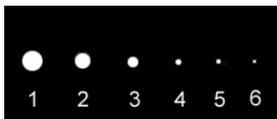


Existen otros catálogos de objetos de cielo profundo como son: NGC (Nuevo Catálogo General) con 7.840 objetos de cielo profundo, el IC (Catálogo Índice) con 5.386 objetos, el Cadwell, Hershel, Lorezin, PGC, PLN y SAC.

Una de las primeras preguntas que un aficionado a la astronomía se enfrenta es a la de cómo medir el brillo de una estrella. Para responder, imaginemos que estamos observando el cielo. Lo primero que nuestros ojos advierten es que las estrellas presentan brillos y colores diferentes: algunas deslumbrantes, otras de brillo medio y otras tantas sólo visibles con cierto esfuerzo.



¿Cómo expresar el brillo de una estrella...?



Los astrónomos emplean un sistema bien sencillo que procede de la antigua Grecia: la **magnitud**. A las estrellas más brillantes que eran visibles poco después de la puesta de Sol, se les asignó la magnitud 1. Las estrellas que eran aproximadamente la mitad de brillantes se las denominó de magnitud 2, y así sucesivamente hasta encontrarnos con

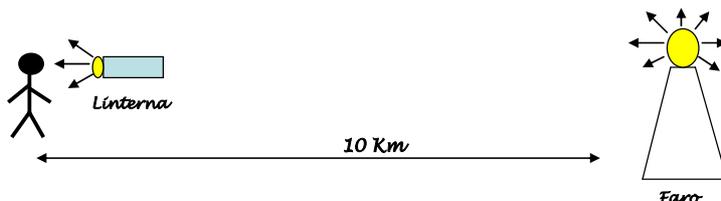
las estrellas más débiles visibles a simple vista en una noche clara que se les asignó magnitud 6. Una de las características de la escala de magnitudes es que la magnitud aumenta cuando el brillo disminuye.

En el **siglo XIX**, en un intento de mejorar la escala de magnitudes, se observó que las estrellas de sexta magnitud son unas 100 veces más débiles que las estrellas de primera magnitud, lo que supone que entre dos magnitudes sucesivas existe una diferencia de brillo de aproximadamente 2,5. La consecuencia de todo ello es que los objetos muy brillantes adquieren magnitudes negativas. Por ejemplo, una estrella que sea aproximadamente 2,5

veces más brillante que otra de primera magnitud, tendrá una magnitud menos, por lo que al restar 1 a 1, tendrá magnitud 0. Si tenemos otra estrella que a su vez sea 2,5 veces más brillante que otra de magnitud 0, tendrá magnitud -1, y así sucesivamente. El astro más brillante del cielo es el Sol con una magnitud de -26,8, después le sigue la Luna llena con una magnitud de -12,6 y a continuación Venus con una magnitud de -4,4.

No obstante, estas magnitudes corresponden al objeto tal y como se ve en la bóveda celeste, denominándose **magnitud aparente**. El brillo que podemos medir de las estrellas en el cielo, no nos da una indicación real de lo luminosa que es una estrella. Una estrella poco luminosa pero cercana al Sistema Solar puede aparecer más brillante que otra que sea más luminosa pero que esté más lejos.

Esto se puede entender fácilmente con el ejemplo de un faro situado a 10 km y una linterna que nos ilumina directamente a la cara. La linterna a pesar de ser menos luminosa nos parecerá más brillante.

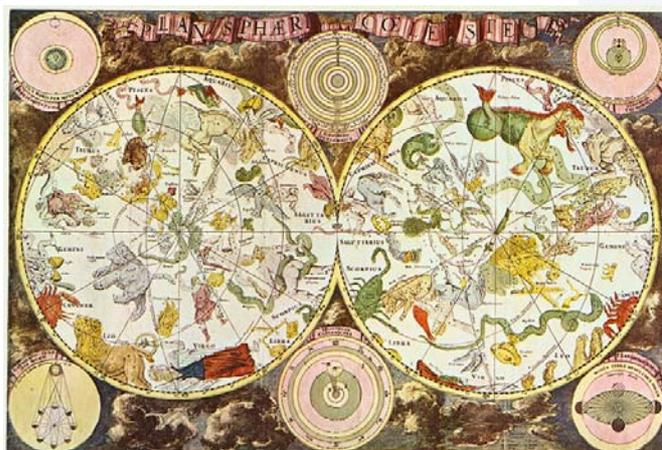
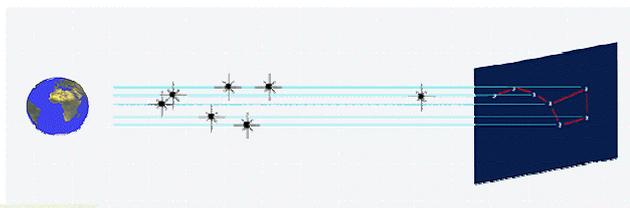


Los objetos que no podemos ver a simple vista:

- * Con prismáticos: magnitudes 7, 8 y 9
- * Con telescopio modesto: hasta magnitud 14
- * Con telescopios potentes: hasta magnitud 17 ó 18
- * Telescopio Espacial Hubble: hasta magnitud 25 ó 30

¿Qué es una constelación?. Se trata de una agrupación de estrellas cuya posición en el cielo nocturno es aparentemente tan cercana que ya las civilizaciones más antiguas decidieron conectarlas mediante líneas imaginarias, trazando así figuras sobre la bóveda celeste.

En el espacio tridimensional, en cambio, las estrellas de una constelación no están, necesariamente, físicamente asociadas; incluso pueden encontrarse a cientos de años luz unas de otras.



Por otro lado, dichos grupos son completamente arbitrarios, ya que distintas culturas han reconocido constelaciones diferentes. En la figura de la izquierda vemos un Planisferio francés del siglo XVII que muestra las constelaciones reconocidas en aquella época. A partir de 1928, la Unión Astronómica Internacional (UAI) decidió reagrupar oficialmente la esfera celeste en **88 constelaciones** con límites precisos, tal que todo punto en el cielo quedara dentro de los confines de una figura.

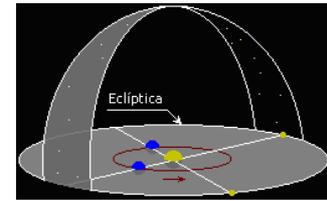
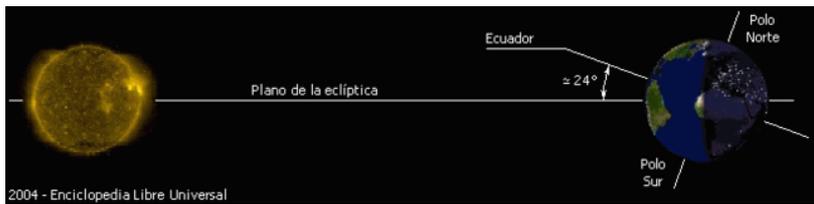
Destacamos las constelaciones:

- Septentrionales o boreales → las ubicadas al norte del ecuador celeste.
- Australes → las ubicadas al sur del ecuador celeste.
- Zodíaco → situadas sobre la eclíptica.

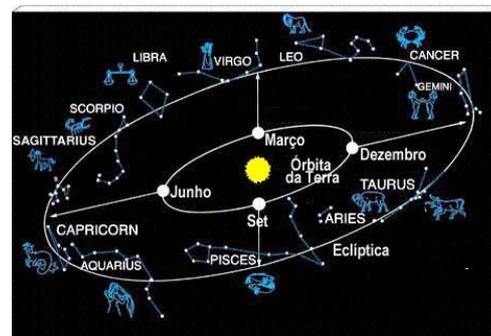
La Tierra, como cualquier cuerpo celeste, no se encuentra en reposo sino que está sometida a movimientos de diversa índole. Destacamos el movimiento de rotación alrededor de sí misma, el cual define el ecuador celeste (al norte del ecuador celeste tenemos situadas las constelaciones **Septentrionales o boreales** y al sur del ecuador celeste las **constelaciones australes**) y el de traslación de la Tierra alrededor del Sol.



La **eclíptica** es el plano que contiene la órbita de la Tierra alrededor del sol, y también, la línea aparentemente recorrida por el sol a lo largo de un año respecto del fondo *inmóvil* de las estrellas. La eclíptica no está en el mismo plano que el ecuador celeste sino que forma un ángulo



Es decir, que en la esfera celeste sobre sus dos hemisferios, el norte y el sur, el Sol se va *desplazando* a lo largo del año describiendo la eclíptica. La eclíptica está dividida en 12 tramos que constituyen las constelaciones del Zodiaco. El Sol cada mes recorre uno de los signos del Zodiaco.

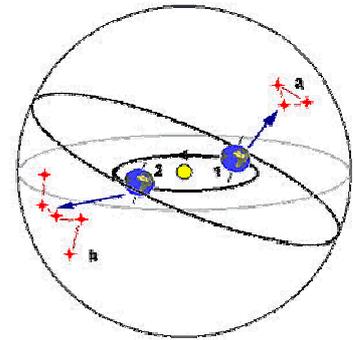


Supongamos que somos un observador situado sobre la Tierra. Si estamos situados en uno de los polos el plano del ecuador coincidirá con el plano definido por el horizonte astronómico. Por el contrario, si estamos en el ecuador estos planos serán perpendiculares entre sí y en una latitud intermedia formarán un ángulo.

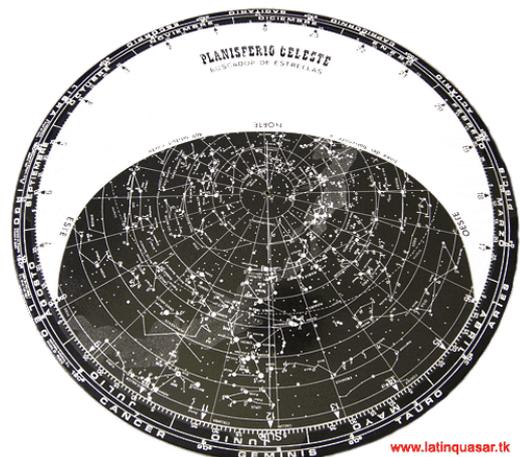
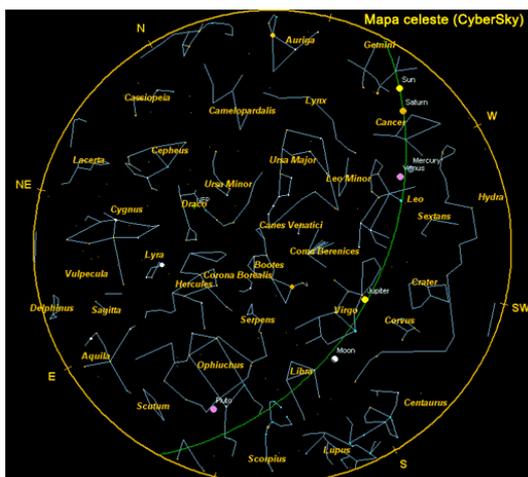


En nuestro caso (una latitud intermedia) las constelaciones circumpolares (que rodean al polo norte celeste) giran alrededor de la estrella polar y serán vistas durante toda la noche. El resto de constelaciones las veremos aparecer y desaparecer a lo largo de la noche.

Pero la cuestión es que no vamos a ver las mismas constelaciones a lo largo de todo el año. Esto lo podemos entender, si tenemos en cuenta que durante un año completo, mientras la Tierra va girando alrededor del Sol, unas constelaciones se van haciendo progresivamente visibles al estar más cerca de la Tierra, mientras que otras se van acercando al Sol, y por tanto haciéndose invisibles. Este ciclo se repite cada año igual, y es la razón por la cual Orión sólo se ve en óptimas condiciones en invierno, el Cisne y Sagitario en verano, etc. Cada año veremos las mismas constelaciones en las mismas regiones del cielo en las mismas épocas del año.



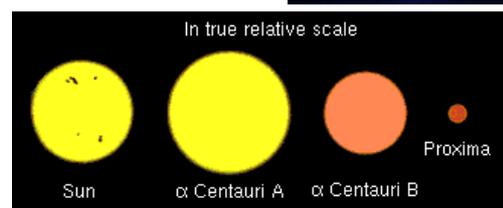
Nuestro lugar de observación y la fecha del año definen un mapa cenital. Los mapas cenitales representan el cielo tal y como lo vemos en una fecha y lugar determinado. Para cada día del año y cada hora podríamos hacer un mapa de este tipo. Los planisferios surgieron hace varios siglos con la necesidad de que con un sólo instrumento se pudiera saber qué aspecto presentaba el cielo en una fecha determinada sin gastar más recursos.



Sirio es la estrella más brillante. Situada en la constelación de Can Mayor brilla con una magnitud aparente de $-1,46$, sin embargo es la quinta estrella más cercana al Sol situada a una distancia de $8,7$ años luz. Se trata de una estrella doble que tiene por compañera una estrella enana blanca.



Por el contrario, Próxima Centauro o α Centauro C es la estrella más cercana al Sol se encuentra a una distancia de $4,28$ años luz. Forma parte de un sistema triple que observado a simple vista parece como si de una única estrella de magnitud 0 se tratase. Esta estrella triple está situada en la constelación del Centauro. Si comparamos nuestro Sol con cada una de las estrellas de α Centauro veremos que α Centauro A tiene unas características muy parecidas a nuestro Sol.



Nos planteamos más preguntas:

- ¿Dónde se encuentra ubicado nuestro Sistema Solar?
- ¿Qué es una galaxia?
- ¿Nuestra galaxia forma parte de algún grupo de galaxias?
- ¿Con qué unidades medimos las distancias astronómicas?
- ¿Qué galaxias se encuentran más cercanas a la nuestra?
- ¿A qué distancia están?

La Tierra forma parte de un Sistema planetario que es nuestro Sistema Solar. El Sol, nuestra estrella, forma parte de una galaxia, la Vía Láctea y ésta a su vez forma parte de un grupo de galaxias que se conoce como el Grupo Local. Este Grupo Local también pertenece a al Supercúmulo de Virgo.



Nuestra galaxia, la Vía Láctea, tiene forma de espiral. Pues bien, desde una galaxia como la de la imagen, estamos nosotros en un planeta alrededor de una estrella investigando el Universo.

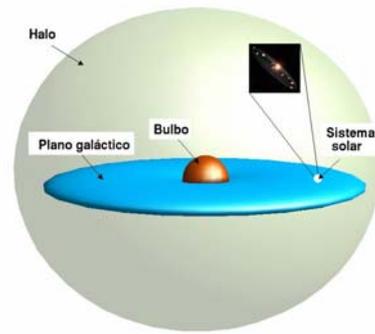
En una noche oscura podemos ver a simple vista una mancha alargada y blanquecina en el cielo estrellado. Antes de que supiésemos que el Sol y las estrellas que vemos en la noche formaban parte de nuestra galaxia, *bautizamos* como "Vía Láctea" a este sendero blanquecino que cruza nuestro cielo. Actualmente, el término "Vía Láctea" designa también a nuestra galaxia en su conjunto. Ahora sabemos que esta mancha son las estrellas que pueblan nuestro plano galáctico. Pero veremos que el espacio entre las estrellas no está vacío que contiene una mezcla de gases y partículas de polvo.

La Vía Láctea tiene un aspecto parecido a un huevo frito. Hemos visto que la Tierra es parte del Sistema Solar, que el Sistema Solar está dentro de una galaxia llamada Vía Láctea, que muchas de las estrellas, gas y polvo que la componen se distribuyen aproximadamente en un plano (el **plano galáctico**). Hacia el centro encontramos una zona más o menos esférica (el **bulbo**). Las **estrellas más**



jóvenes se encuentran casi siempre en el plano galáctico y rodeando todo este sistema plano-bulbo encontramos una región también esférica, con una densidad mucho menor de estrellas: el **halo**. Las estrellas del halo son mucho más **viejas**.

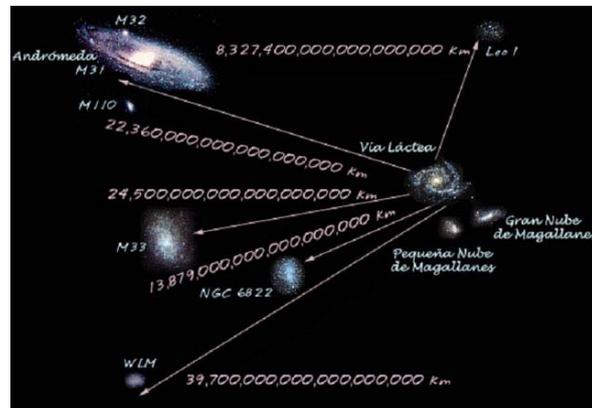
Las galaxias son conjuntos de miles de millones de estrellas que se distribuyen en formas diversas



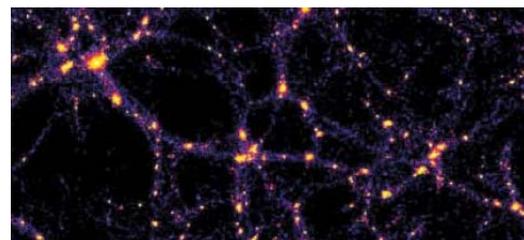
entremezcladas con nubes de gas y de polvo. La galaxia espiral de la figura es M100. Si pudiésemos salir de nuestra Galaxia y observar su aspecto sería muy parecido al de M100. Veríamos que es un inmenso disco espiral cuyos brazos difusos se retuercen alrededor de una masa estelar central, en cuyo interior se oculta el núcleo galáctico. Si mirásemos con detalle, veríamos que los brazos se hallan delineados por unas estrellas azules brillantes y que hay en ellos polvo y gas abundantemente. Nuestro sol se encuentra situado en el borde interior de uno de esos brazos y es una estrella más entre los cientos

de miles de millones que forman la galaxia.

Nuestra galaxia es como un bosque de estrellas, y nosotros estamos dentro de él. A través de las estrellas podemos divisar otras galaxias, algunas incluso a simple vista como es el caso de las nubes de Magallanes (que sólo son visibles desde el hemisferio Sur). Desde el hemisferio Norte, se puede ver a simple vista la galaxia Andrómeda. Estas tres galaxias junto con otras tantas hasta un total 33, giran alrededor de un centro de masa que está situado entre nuestra Galaxia y Andrómeda, (las dos galaxias gigantes dominantes). Esto es, todas ellas están ligadas gravitacionalmente formando un conjunto aislado y bien definido, un **cúmulo de galaxias**, que recibe el nombre de **Grupo Local**.



Además, este nuestro Grupo Local está contenido dentro del **supercúmulo de Virgo**, cuyo centro gravitatorio es el denominado Gran Atractor, hacia el cual se dirige el Grupo Local. Los **supercúmulos** son grandes agrupaciones de pequeños cúmulos de galaxias, y se cuentan entre las estructuras más grandes del Universo. La distribución de galaxias en el Universo dibuja una estructura de filamentos y vacíos.



Las dimensiones del Universo son tan grandes que las unidades que utilizamos para medir distancias en la Tierra resultan demasiado pequeñas. Es por ello, que se emplean otras unidades de medida como son la Unidad Astronómica (UA), el Año-luz y el Pársec (Pc). Una Unidad Astronómica es la distancia media entre la Tierra y el Sol que es de 149,6 millones de kilómetros (150 millones de km). Cuando nos movemos en las inmediaciones del Sistema Solar la UA es una unidad adecuada. Sin embargo, si nos movemos a lo largo del Universo las distancias son mayores por lo que es más conveniente utilizar unidades mayores como el año-luz o el pársec. Un año-luz es la distancia que la luz recorre en un año. Si multiplicamos ésta velocidad (300.000 km/s) por los segundos que hay en un año obtenemos un valor de 9,4608 10^{12} km que en UA equivale a 63.240 UA. El pársec se define como la distancia a la que una unidad astronómica (UA) subtende un ángulo de un segundo de arco (1"). Un pársec equivale a 3,2616 años-luz que a su vez equivale 206.265 UA.

Ejemplo de interés:

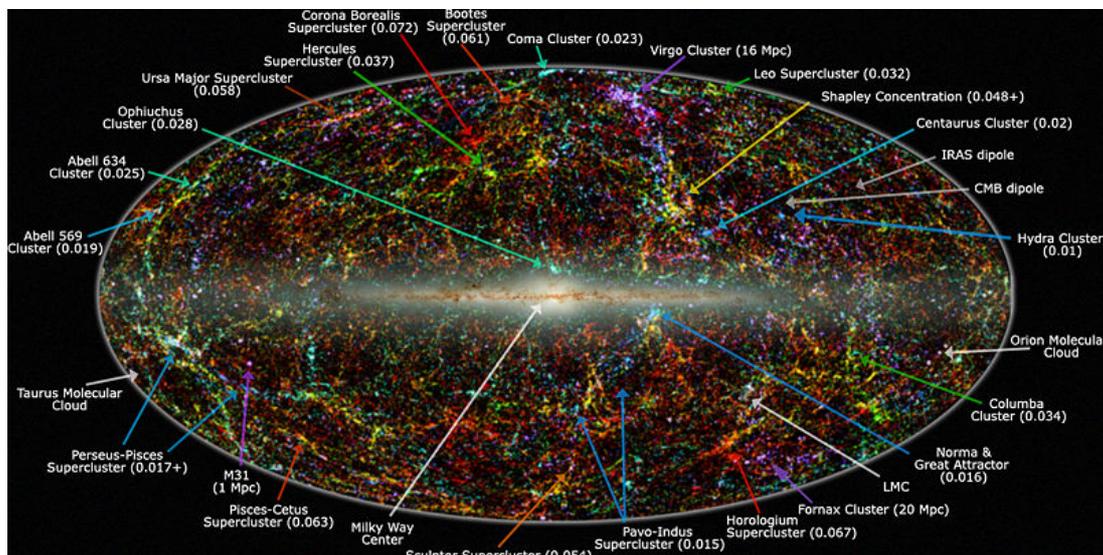
- La estrella más cercana al Sistema Solar es Próxima Centauri se encuentra a 1,31 pc, ó 4,28 años-luz.
- El Sistema Solar, se encuentra a 8,5 kilopársecs (kpc), o sea, a 8.500 pc, cerca de unos 30.000 años-luz del centro de nuestra galaxia.
- La galaxia de Andrómeda está a 0,7 megapársecs (Mpc), es decir a 700.000 pc, o más de 2 millones de años-luz.
- El cúmulo de Virgo se haya a unos 18 Mpc de nosotros.
- Las distancias en años-luz de las galaxias más cercanas a la nuestra aparecen en la tabla.

Nombre	Distancia (años luz)
Nubes de Magallanes	200.000
Enana de Draco	300.000
Enana de la Osa Menor	300.000
Enana de Sculptor	300.000
Enana de Fornax	400.000
Leo I	700.000
NGC 6822	1.700.000
NGC 221	2.100.000
Galaxia de Andrómeda	2.200.000
Galaxia del Triángulo	2.700.000

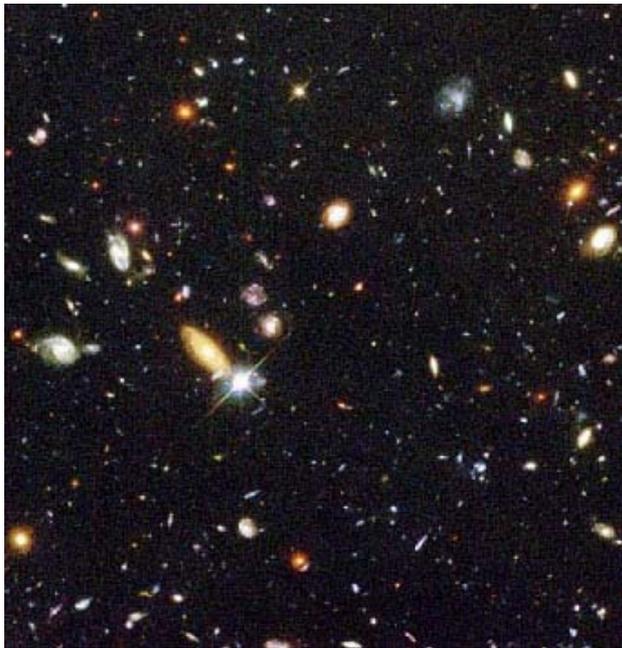
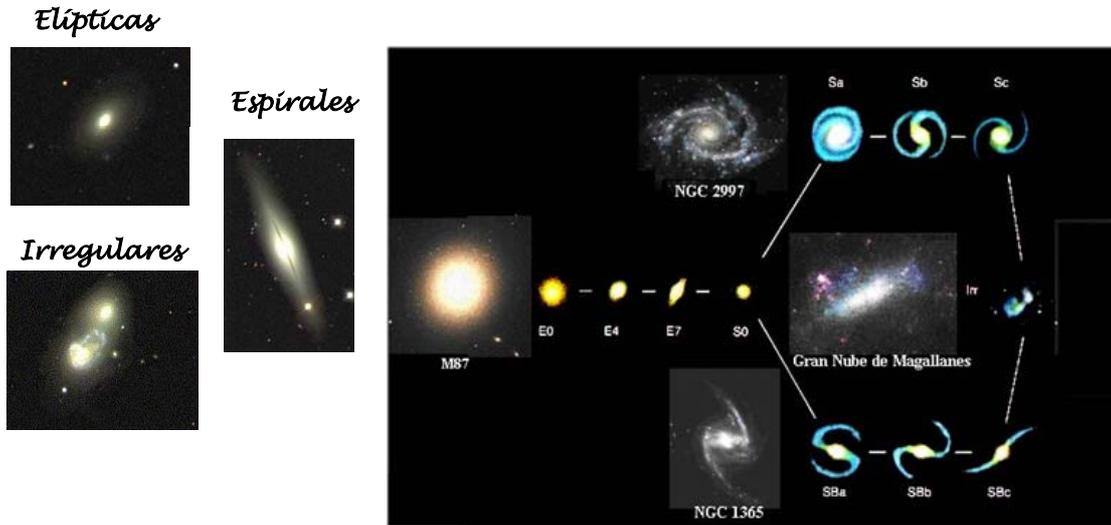
Más preguntas...

- ¿Cuál es la distribución de galaxias más allá de la Vía Láctea?
- ¿Cuántos tipos de galaxias existen, interactúan entre sí?
- ¿Qué son los filamentos oscuros que existen en los brazos espirales de las galaxias?

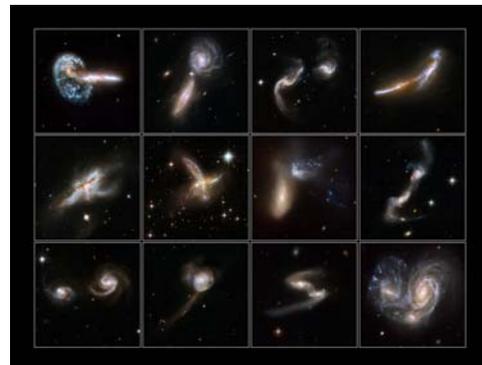
La imagen presenta una vista panorámica de todo el cielo en el infrarrojo cercano que revela la distribución de galaxias más allá de la Vía Láctea, con más de 1,5 millones de galaxias. Es decir, el Universo está lleno de galaxias. En él hay cientos de miles de millones de galaxias. Esto parece indicar que las galaxias son los ladrillos o piezas fundamentales que conforman el Universo.



En las siguientes figuras podemos apreciar las tres configuraciones básicas de galaxias y la secuencia de Hubble, propuesta en el año 1936. Secuencia que sólo descansa en la apariencia visual:



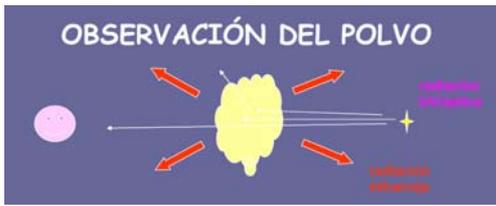
La imagen de la izquierda, tomada por el Telescopio Espacial Hubble, muestra muchas galaxias, a miles de millones de años luz de nosotros. La mayor parte de los puntos borrosos son galaxias lejanas. Además, las galaxias pueden interactuar creando espectaculares formas, como las mostradas en la imagen de la abajo.



Si nos preguntamos que son los **filamentos oscuros** que existen en los brazos espirales de las galaxias, la respuesta es que se trata de grandes concentraciones de gas y sobre todo, de polvo interestelar. Ahora bien, debido a la extinción de la luz por los granos de polvo, las nubes moleculares densas aparecen como manchas oscuras en las imágenes ópticas. Estas zonas de oscuridad parecen vacías al compararlas con su entorno, pero si la observamos con telescopios no ópticos veremos que no es así.

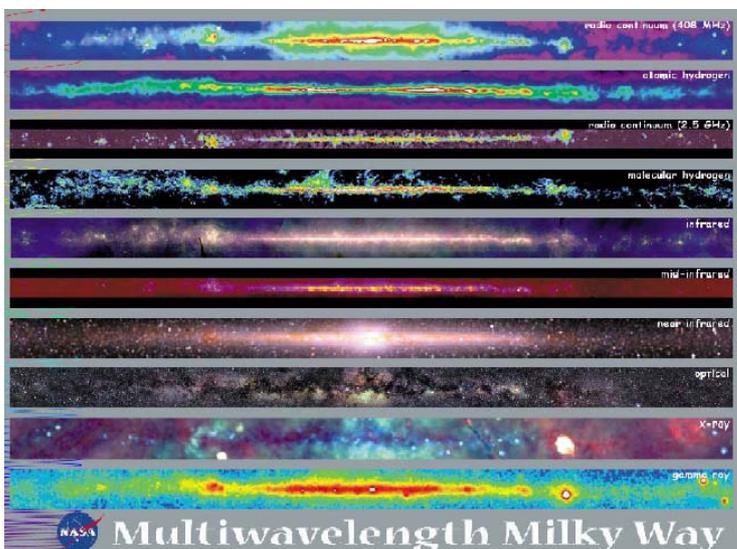


Imagen óptica de la Vía Láctea



Supongamos que la luz ultravioleta y visible que emite una estrella incide sobre las partículas de polvo de una nube molecular, debido al tamaño parecido de las longitudes de onda de estas luces con el tamaño de las partículas de polvo, esta radiación será dispersada en todas direcciones y el resto absorbida por las partículas de polvo.

La luz absorbida será posteriormente reemitida en longitudes de onda del infrarrojo (IR). Luego estas nubes moleculares oscuras en el óptico, si serán visibles en el IR y en otras longitudes de onda, como por ejemplo las de radio ya que al ser sus longitudes de onda mayores no se ven afectadas por los granos de polvo. Las dos figuras siguientes nos muestran el oscurecimiento en el visible de dos objetos e imágenes en otras longitudes de onda de la Vía Láctea.



La nebulosa Cabeza Caballo está situada a 1600 años luz. Es un glóbulo de polvo interestelar y gas que oscurece la luz del campo estelar situado tras ella.

Últimas preguntas:

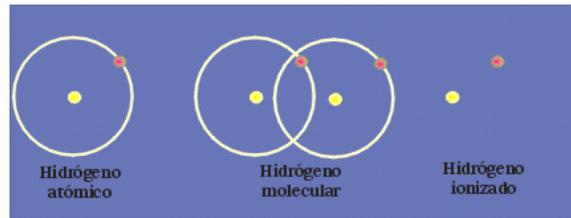
- ¿Qué tipo de gases son los que encontramos en el Medio Interestelar?
- ¿Cómo son los granos de polvo que encontramos en el Medio Interestelar?
- ¿Existe alguna relación entre el medio interestelar, las estrellas y las nebulosas?
- ¿Cómo relacionamos todo esto con los distintos colores que se aprecian en las estrellas?

Hemos visto que el espacio entre las estrellas no está vacío. Este "medio interestelar" (MI) está constituido por **gas (99%)** y **polvo (1%)**. El gas y el polvo se encuentran entremezclados en el MI, de modo que donde hay un alta densidad de gas también hay polvo, y será en las zonas de alta densidad (medio interestelar denso) donde nazcan las estrellas y se formen los planetas.

$$\frac{\rho_{\text{polvo}}}{\rho_{\text{gas}}} \approx 0,01$$

(polvo : 1 partícula / 10⁶ m³; gas : 10⁶ partículas / m³)

Los **gases** constituyen el **99%** de la masa del MI, y a su vez están constituidos por un **90 % de hidrógeno** (en sus formas atómica, molecular e ionizado), un **10 % de helio** y las trazas de otros elementos que apenas son perceptibles.



Estos gases dan lugar a tres tipos de nubes: las **nubes moleculares** donde encontraremos hidrógeno molecular (H_2), trazas de otros elementos y temperatura muy bajas (20K), las **nubes de hidrógeno neutro** (regiones HI) donde encontraremos átomos independientes de H y las **nubes de hidrógeno ionizado** (HII) con temperatura muy altas e hidrógeno ionizado.

Las partículas de **polvo** constituyen el **1%** de la masa de MI y tienen las siguientes características:

*** Pequeñas partículas:**

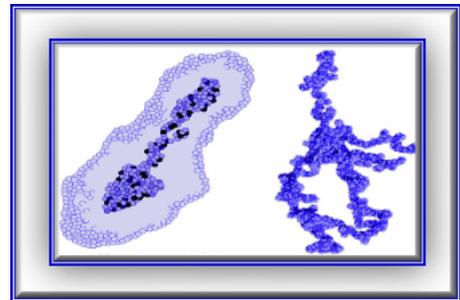
- Desde moléculas demasiado grandes para tener nombre hasta pequeñas rocas.
- De diferentes tamaños y formas.

*** Compuestas:**

- Materiales carbonosos (Carbono puro, grafito u hollín).
- Silicatos de Fe y Mg.
- PAH (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)
- Fullerenos.
- Hielos.

*** Origen:**

- De las estrellas Gigantes Rojas.



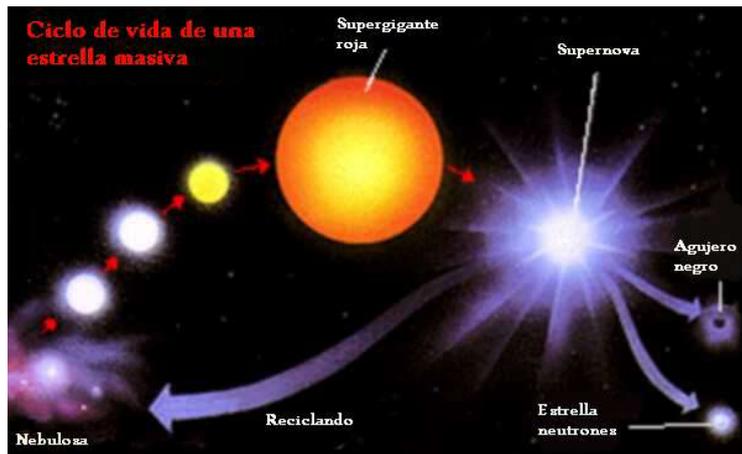
Las nebulosas que pueden ser de distintos tipos -emisión, absorción, reflexión y planetarias- en esencia son regiones del medio interestelar densas constituidas por gases, principalmente hidrógeno y helio y partículas de polvo. En otras palabras, las nebulosas son los lugares donde nacen las estrellas por fenómenos de condensación y agregación de la materia; aunque en otras ocasiones se trate de la nube de gas y de polvo asociada a los restos de una estrella que ha muerto.



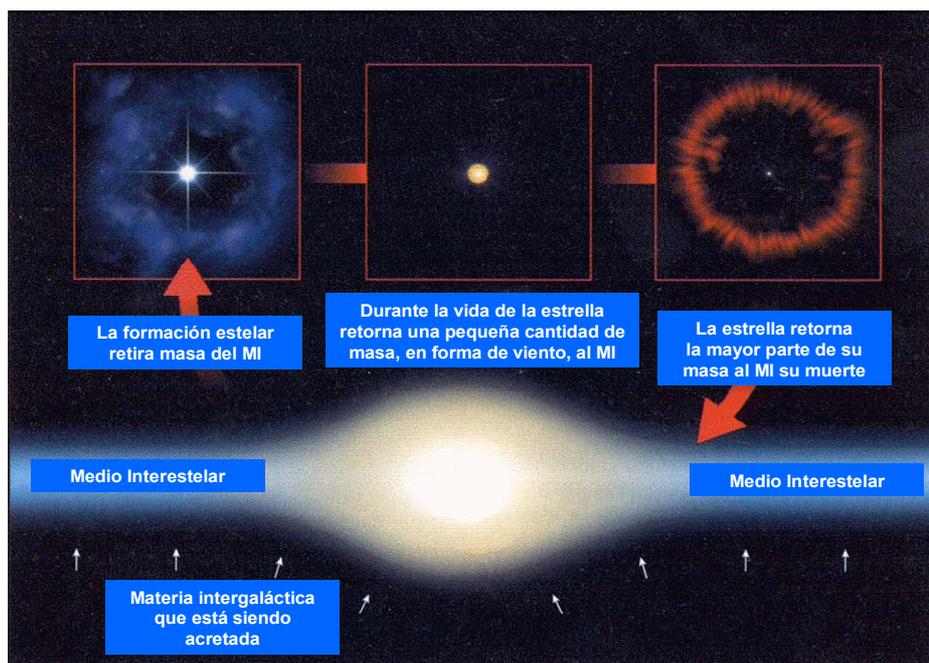
Nebulosa de Orión (M42)

Las Nebulosas son objetos del cielo que atraen rápidamente la atención de los aficionados puesto que son muy brillantes y coloridas, son tal vez los objetos más vistosos del firmamento, ostentando colores vivos como el rojo, verde y azul.

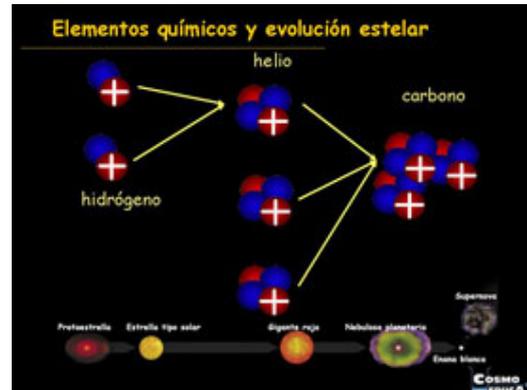
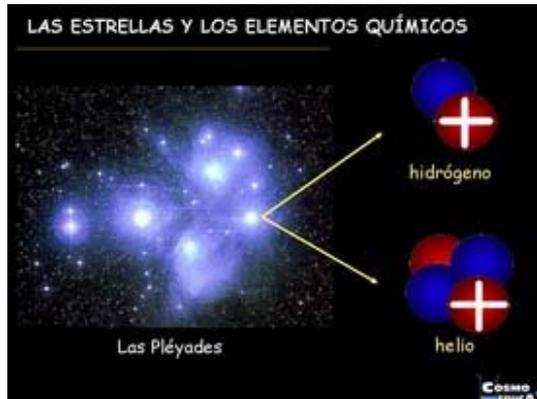
En la siguiente figura se aprecia el ciclo de vida de una estrella masiva. Desde la nebulosa inicial de la que se forma la protoestrella, pasado por la secuencia principal hasta convertirse en una supergigante roja, que explota en forma de supernova, devolviendo parte del material al MI cuya composición ha sido alterada respecto a la del gas y polvo original. Finalmente, derivará en una estrella de neutrones o un agujero negro.



Sin embargo, esta evolución no siempre ocurre de este modo sino que va a depender de la masa inicial de la estrella como se aprecia en el siguiente esquema. Si la masa inicial es pequeña, aunque el ciclo, en términos generales, es igual al caso anterior: nebulosa/protoestrella /secuencia principal, sin embargo la muerte de la estrella derivará hacia una estrella **enana blanca**. Es decir, que en el proceso de nacimiento y muerte de la estrella, la masa del MI se retira y retorna de nuevo a él, de modo que el gas eyectado por esos procesos se mezcla gradualmente con el resto del MI y se incorpora en las siguientes generaciones de estrellas. El acrecimiento de gas externo a la Galaxia proporciona gas al MI (ver la siguiente figura).



En las estrellas el hidrógeno y el helio de las mismas reaccionan para formar elementos químicos más pesados que, a su vez, reaccionan entre sí y así sucesivamente. En la parte inferior de la imagen inferior de la derecha vemos distintas fases de la vida y muerte de una estrella.

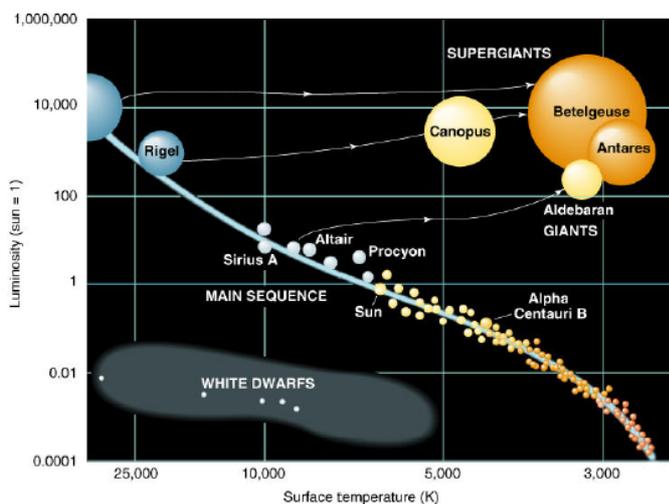


En una estrella después de quemar hidrógeno y convertirlo en helio durante miles de millones de años, la estrella se queda sin combustible (hidrógeno) en el núcleo. La combustión nuclear proporciona continuamente la elevada temperatura necesaria para impedir el colapso gravitatorio. Cuando cesa la combustión, la estrella reanuda su proceso de colapso. Hemos visto que hay tres destinos posibles para las estrellas que colapsan: pueden convertirse en enanas blancas, en estrellas de neutrones o en agujeros negros. El que aguarde a una estrella concreta, uno u otro de estos tres destinos, dependerá fundamentalmente de la masa que tenía en la secuencia principal. Las estrellas de menos de $M \leq 6M_{\text{sol}}$, terminarán sus calurosas vidas como una estrella enana blanca, que día a día se van enfriando como señal inequívoca de una muerte estelar. Las estrellas de tamaño mayor sufren una explosión como una supernova, cuyo residuo es una estrella de neutrones. Se supone que las estrellas que en el estado de la secuencia principal tienen masa superior a $M \geq 14M_{\text{sol}}$, colapsa en un agujero negro.

Es decir, hay una relación entre el medio interestelar, las estrellas y las nebulosas de modo que podríamos hablar de una especie de "ecosistema". Las estrellas nacen en el MI y cuando mueren retornan parte de su masa enriquecida por los procesos de nucleosíntesis del interior de las estrellas al MI. Un ~20% de la masa que forma las estrellas se recicla de esta forma. Es decir, la cantidad de gas interestelar en una Galaxia decrece lentamente; sin embargo otra parte del gas también se recupera con el acrecimiento de gas externo a la Galaxia.

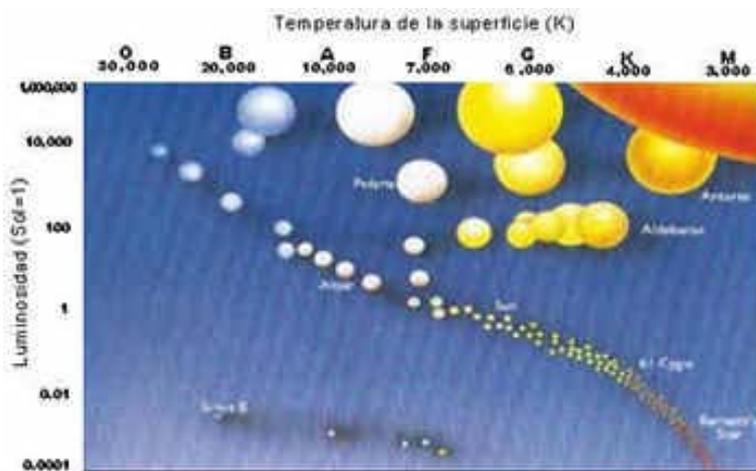
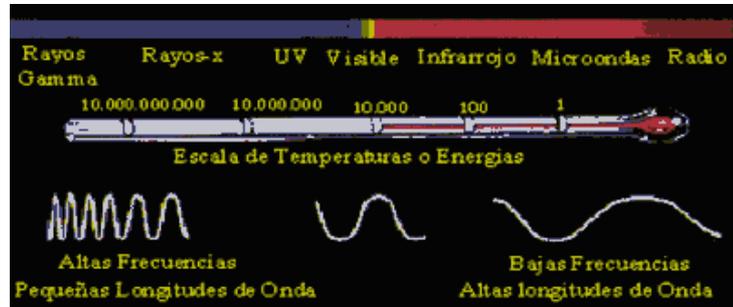
Cualquiera al que le guste la Astronomía ha oído hablar en algún momento sobre el **color de las estrellas**. ¿Qué color?, si muchos de nosotros vemos todas las estrellas iguales cuando miramos al cielo. Si no nos fijamos bien, muchas veces no apreciamos los distintos colores que nos muestran las estrellas. Pero, efectivamente, cuando uno mira con más detenimiento puede apreciar, no estrellas multicolores, pero si las diferencias de colores entre unas y otras. Estos colores vienen provocados por otros efectos, como efectos atmosféricos, pero también por la naturaleza de las mismas estrellas. Veamos porqué ocurre esto.

El diagrama de **Hertzsprung-Russell** nos permite visualizar la población de estrellas en relación a su luminosidad y a la temperatura de su superficie. Se denomina **secuencia principal** a la región del diagrama de Hertzsprung-Russell en



la que se encuentran la mayor parte de las estrellas. Las estrellas que se ubican en esta banda son llamadas estrellas de la secuencia principal. Las más frías de esta curva son las **enanas rojas** mientras que las que están más al extremo de altas temperaturas son las **supermasivas gigantes azules**. Otras regiones del diagrama están ocupadas por **estrellas gigantes** de corta vida y evolución rápida o por **enanas blancas** muy estables.

Las estrellas más masivas consumen más "combustible" en sus reacciones nucleares y alcanzan temperaturas más elevadas en su interior. De este modo, alcanzan temperaturas más elevadas también en las capas exteriores y por ello emiten fotones mucho más energéticos al exterior. En el visible, los fotones más energéticos son azules, y los menos energéticos, rojos. Por esto podemos establecer una relación entre la luminosidad, temperatura en la superficie, y el color de las estrellas.



Tal y como se puede observar en el diagrama, las estrellas que están más a la derecha están representadas en **colores rojo anaranjados**, mientras que si nos movemos a la izquierda nos estamos moviendo a temperaturas superficiales más altas, y entonces se vuelven amarillas, blancas y por último **azules**. Si nos movemos de abajo a arriba vamos hacia estrellas más luminosas y hacia estrellas más grandes (¡Qué no quiere decir más masivas!). Fijándonos en las estrellas normales o de la secuencia

principal, que son las que están en esa especie de hilo que atraviesa diagonalmente el diagrama, las estrellas se clasifican por tipos, llamados **Tipos Espectrales: O, B, A, F, G, K, M**.

Con lo cual, cuando miramos al cielo y vemos el color de una estrella podemos hacernos una idea de que tipo es, y por tanto de su temperatura, además de estimar otras de sus propiedades.

Por último, para acordarse de los tipos de estrellas que hay, existen un par de reglas mnemotécnicas muy extendidas entre los astrónomos, estas son: "¡Oh, **B**e **A** Fine Girl, **K**iss **M**e!", o en español "¡Oh, **B**ella **A**licia, **F**uiste **G**anando **K**ilos **M**ajestuosamente!", ¡Escoged la que os resulte más fácil!.

Nota: La mayoría de las imágenes utilizadas en este resumen han sido obtenidas de distintas páginas de Internet, salvo la foto del brazo de la Vía Láctea realizada por Juan Manuel Bullón.