

Al Sur del Sur II: Nacimiento y muerte de las estrellas

Cristina Abajas Bustillo
Licenciada en Astrofísica
abajas@ll.iac.es

En esta charla se darán unas breves nociones de la física que hay detrás de los maravillosos objetos estelares que podremos en los cielos del hemisferio sur durante la expedición SheliOS 2004.

1.- Estrellas

Las estrellas son cuerpos celestes que poseen luz propia generada en su interior por reacciones nucleares de fusión. Algunas propiedades como el brillo o el color varían de unas a otras: en unas dominan las tonalidades azules, otras son blancas y también las hay amarillas, rojizas y anaranjadas. Su brillo intrínseco aumenta con el tamaño y con su temperatura, y el brillo aparente (el que recibimos desde la Tierra) disminuye con el cuadrado de la distancia a la que se encuentran de nuestro planeta.

1.1.- Magnitud, distancia y color

La luz de una estrella que se percibe a simple vista se denomina magnitud aparente. Vega, en la constelación de Lira, es una estrella de magnitud 0 (que se usa de referencia). Todas las estrellas más brillantes que Vega tienen magnitudes negativas (Sirius es la más luminosa con una magnitud de -1.46 , el planeta Venus tiene como máximo -4.4 , Júpiter -2.25 , Saturno 0.12 , la Luna llena -12.55 y el Sol -26.7) y todas las estrellas más débiles tienen magnitudes positivas. En principio, el ojo humano puede ver estrellas de magnitud inferior a 5.5, pero las de magnitud 6 requieren una agudeza visual extraordinaria. Esta escala para medir el brillo de las estrellas se basa en el método utilizado por Hiparco en el siglo II antes de Cristo para clasificar las estrellas que se veían a simple vista, y fue dotada de una base matemática a mediados del siglo XIX, de forma que una estrella de magnitud dos es 2.5 veces más brillante que una estrella de magnitud tres. Así, por cada magnitud sumada o restada, las estrellas son 2.5 veces menos brillantes o más brillantes, respectivamente.

Un telescopio de tamaño medio, de unos pocos centímetros de abertura, hace posible la visión de estrellas de magnitud 10 ó 12, y los mejores telescopios situados en la Tierra, de varios metros, pueden captar hasta magnitud 28.

La magnitud aparente no da ninguna indicación sobre la cantidad de luz que emite la estrella en su posición real. Esto viene definido por la magnitud absoluta, que se define como la luminosidad de una estrella si ésta estuviera a una distancia de 32.60 años luz de la Tierra. Por ejemplo, si el Sol estuviera a esa distancia, parecería tener una magnitud aparente de 4.8.

Los diferentes colores de las estrellas reflejan la temperatura de su superficie. Las estrellas azules son las que tienen temperaturas más altas, mientras que las estrellas rojas presentan temperaturas relativamente bajas. Lo que debemos recordar es que el orden es, de calientes a fríos: azul, azul-blanco, blanco, amarillo-blanco, naranja y rojo.

Todas las estrellas están tan alejadas de nosotros que la medida de distancias se basa en el tiempo requerido por la luz para alcanzar la Tierra. La distancia que la luz recorre en un año se denomina año-luz, y equivale a $9.46 \cdot 10^{12}$ km. La estrella más cercana a nosotros es Alfa Centauro, a 4.3 años-luz de nosotros, en la constelación del Centauro. Sólo unas pocas decenas de estrellas conocidas están a menos de 20 años-luz de nosotros.

1.2.- Evolución estelar

1.2.1.- Nacimiento

Las estrellas se forman a partir de nubes de gas y polvo (nebulosas) que en un momento determinado comienzan a comprimirse hacia su centro debido a la acción de la fuerza de atracción gravitatoria. El motor que provoca la contracción es una fuerza externa, que pudo ser causada, por ejemplo, por la onda de choque originada en la explosión de una supernova. Muchos millones de años después, la gravedad hace que en su parte central aumente mucho la temperatura y se multipliquen los choques entre las partículas. Con ello, la presión y la temperatura llegan a ser lo suficientemente elevadas como para que los núcleos del principal componente, el hidrógeno, comiencen a unirse produciéndose enormes cantidades de energía. Este proceso enciende un colosal horno termonuclear que, con el tiempo, origina una estrella.

Pero no todas las nebulosas pueden formar estrellas. Si la nube es pequeña y la protoestrella que se genera en su interior tiene una masa inferior a 0.08 masas solares, entonces la presión de la contracción debida a la gravedad no puede generar la temperatura necesaria para que los núcleos de hidrógeno se fusionen. En el extremo contrario, si la protoestrella tiene una masa superior a unas 80 veces la del Sol, la temperatura en el interior de la nube será tan grande que la presión de la radiación saliente impedirá que ésta termine de condensarse. Ese es el motivo por el cual no se encuentran en el Universo estrellas con cientos de masas solares. Cuando la masa es mayor que 0.08 veces la del Sol, la temperatura en el núcleo supera el millón de grados, suficiente para comenzar la fusión del hidrógeno.

1.2.2.- Vida de una estrella: búsqueda del equilibrio

Después de que una estrella se haya formado como tal, mantendrá durante la etapa estable de su vida un doble equilibrio: el térmico y el hidrostático; ambos íntimamente relacionados. Para que se establezca el primero debe ocurrir que la energía producida en su interior sea igual a la irradiada hacia el exterior. En el segundo, la presión en el interior de la estrella debe compensar el peso de las capas superiores. Mientras una estrella se limite a transformar hidrógeno en

helio, decimos que se encuentra en una fase tranquila de su vida, llamada secuencia principal.

El equilibrio de la estrella se mantiene a lo largo de millones de años y de él depende su volumen, rompiéndose cuando el combustible comienza a agotarse. A medida que pasa el tiempo, su núcleo es cada vez más rico en helio y más pobre en hidrógeno, con lo que la emisión de energía nuclear disminuye, y con ello la temperatura y la presión. Posteriormente se rompe el equilibrio y el peso de las capas de gas genera una contracción de la estrella con los consiguientes aumentos de presión y temperatura, lo cual hace posible que comience la fusión de helio y se restablezca temporalmente el equilibrio.

Tenemos entonces una estrella que fusiona helio en su núcleo e hidrógeno en una capa a su alrededor. Esta nueva fuente de energía hace que la presión de la radiación sea mayor que el peso de las capas superiores, con lo que la estrella comienza a expandirse, convirtiéndose en una gigante roja. Un ejemplo de esto lo tendremos en nuestra estrella, el Sol, que acabará sus días agotando las reservas de hidrógeno y aumentará tanto de tamaño que llegará incluso a tragarse nuestro planeta, pero eso no ocurrirá hasta dentro de unos 5.000 millones de años.

La fusión del helio produce carbono. Posteriormente, si la masa estelar es suficientemente grande, reiteradas fusiones producirán oxígeno, neón, magnesio y, por último, hierro. La fusión de hierro no libera energía; como consecuencia se rompe el equilibrio debido a que la fuerza de atracción gravitatoria no se ve contrarrestada, por lo que la estrella colapsa, hundiéndose sobre sí misma.

1.2.3.- La muerte de una estrella

La agonía de una estrella comienza cuando pasa por la fase de gigante roja, abandonando la secuencia principal. Pero la verdadera muerte ocurre después. Su final dependerá fundamentalmente de la masa que posea. Una estrella puede acabar sus días de una manera tranquila, convirtiéndose en una enana blanca. Pero si su masa es superior, explotará como supernova, pudiendo dar lugar a una estrella de neutrones o un agujero negro.

1.2.4.- Enanas blancas

Cuando una estrella de poca masa, como el Sol, pasa de la etapa de gigante roja, su región central se contrae y emite hacia fuera las capas externas, escapando de su atracción gravitatoria. A esta nebulosidad, que encontramos en forma de halo en torno a la estrella, se le denomina nebulosa planetaria. La estrella que queda en su interior es la enana blanca, que tiene un tamaño semejante al de nuestro planeta pero una masa como la del Sol, haciendo que su densidad aumente de tal manera que una cucharada de ese material pesaría varias toneladas. La estrella se irá enfriando lentamente.

Ejemplos de nebulosas planetarias son M57 o nebulosa de la Lira, y M27 o nebulosa de Dumbbell, en Vulpécula (Fig. 1).

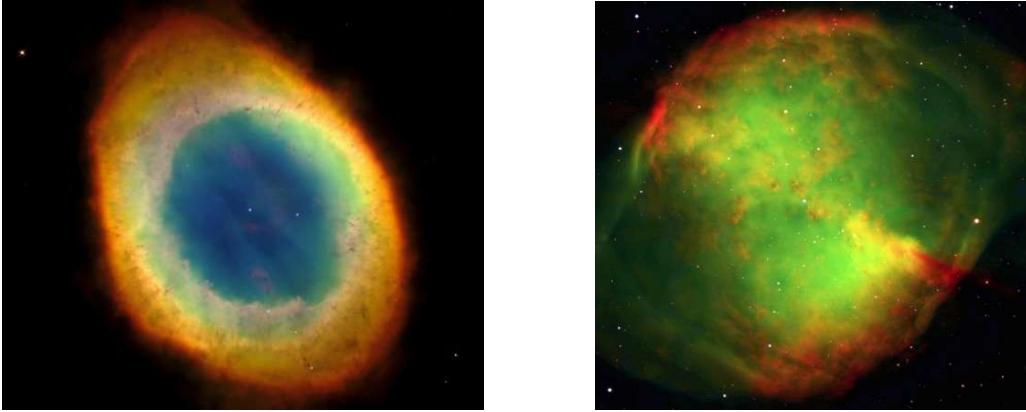


Fig. 1.- A la izquierda M57 (Hubble Heritage Team) y a la derecha M27 (FORS Team, 8.2-meter VLT, ESO).

1.2.5.- Estrellas de neutrones

En las estrellas con masa mayor que 1.4 masas solares, el colapso no se detiene como ocurre en las enanas blancas, sino que continúa hasta que rebota y explota destruyéndose parte de ella. A esa explosión se le denomina supernova. La luz de esta estrella es tan brillante como la de todas las de una galaxia juntas.

La Nebulosa del Cangrejo (Fig. 2), en la constelación de Tauro, es lo que queda de una supernova observada en la Tierra el 5 de Julio del año 1054 y está situada a unos 6.500 años-luz de nosotros. Cuando se produjo la supernova su luminosidad fue tal que durante varias semanas pudo contemplarse su brillo incluso durante el día. Actualmente es una nebulosa de magnitud 8.3. Los gases de la explosión se siguen expandiendo actualmente a una velocidad de 1.000 kilómetros por segundo.

La materia que forma el residuo de la estrella tras la explosión se comprime mucho más que en el caso de una enana blanca, de tal manera que los electrones chocan con los protones y forman neutrones. Así, toda la estrella quedará formada por esas partículas; de ahí su nombre. El tamaño de dicha estrella sería como el de una gran ciudad, por lo que su densidad es enorme: una cucharada pesaría millones de toneladas.

La estrella, al contraerse a un tamaño tan pequeño, puede comenzar a girar debido al principio de conservación del momento angular. Si el momento angular de la nebulosas originaria era grande, llega a girar a gran velocidad, algo así como lo que le ocurre a una patinadora cuando gira rápidamente sobre sí misma. Para girar encoge los brazos, disminuyendo así la distancia de su distribución de masa al eje de rotación. Como el momento angular es el producto de esta distribución de masas alrededor del eje de rotación por la velocidad de giro, y el momento angular debe mantenerse constante porque no hay fuerzas externas actuando, la disminución de la distribución de masas ha de ser compensada por un aumento en la velocidad de giro. Así pues, igual que la patinadora, cuando la estrella en colapso se encoge, aumenta su velocidad de giro. El campo magnético vinculado a la estrella de neutrones también se colapsa con ella y aumenta además su intensidad (la distancia entre las líneas de flujo del campo disminuye).

La peculiaridad viene ahora en el hecho de que la dirección del campo magnético de la estrella de neutrones en rotación, no coincide con el eje de rotación. Las partículas cargadas que se hallan en las proximidades de la estrella de neutrones, caen en ella siguiendo las líneas de su campo magnético y emitiendo radiación al hacerlo, radiación que gira con la estrella de neutrones al estar girando las líneas de campo magnética con ella, como si de la luz de un faro se tratase.

La mayoría de las estrellas de neutrones giran sobre sus ejes varias veces por Segundo, emitiendo gran cantidad de señales de radio periódicamente a través de dos conos opuestos. A este tipo de faro cósmico se le denomina púlsar. El púlsar de la nebulosa del Cangrejo, un tipo de estrella de neutrones, da una vuelta sobre sí mismo cada 30 milisegundos y nos envía, siguiendo ese ritmo de rotaciones, radiación visible, rayos X y radio.



Fig. 2.- Nebulosa del Cangrejo, M1(S. Kohle, T. Credner et al.).

1.2.6.-Agujeros negros

Si la estrella original tiene una masa superior a las 3 masas solares no hay nada que pueda detener la implosión, colapsa sobre sí misma, la materia se concentra mucho y la gravedad resultante hace que ni siquiera la luz pueda escapar de ella. Por ese motivo se le denomina agujero negro, que sólo se puede detectar gracias a las perturbaciones que se producen en otros cuerpos cercanos.

1.3.- Eta Carinae

Bien sabido es que no existe una sola estrella estable. Aun cuando cada noche vemos que las estrellas permanecen ahí sin grandes cambios, en realidad, en mayor o menor grado, éstas tienen cambios que, como en el caso de nuestro Sol, son lentos y de poca magnitud, mientras que en otros pueden ser verdaderamente violentos.

Uno de esos casos, y posiblemente el más especial entre las estrellas, es el de Eta Carinae (Fig. 3), ubicada en la constelación Carina e inmersa en la nebulosidad NGC3372, a una distancia de 8.800 años-luz. Esta estrella o estrellas son posiblemente las más masivas e inestables registradas en la historia de la observación astronómica. Está en una zona donde la Vía Láctea atraviesa densamente el cielo y Eta Carinae, en sí misma, es uno de los objetos más notables del cielo del hemisferio Sur.

En el caso de que Eta Carinae sea una única estrella tendría una masa 100 ó 150 veces superior a la del Sol. Esto la hace 4 millones de veces más luminosa que el Sol. Sin embargo, estudios más recientes analizando la luz de la estrella dan indicios de que en realidad habría no una, sino dos estrellas girando muy próximas y con masas 70 veces la del Sol, lo que aun así sigue siendo un récord. La interacción entre las dos estrellas provocaría una violenta actividad asociada con la nebulosidad que la rodea.



Fig.3.- A la izquierda se ve la nebulosa Eta Carinae con un tamaño de 3.0° x 2.5° (AAO/ROE). A la derecha tenemos, en detalle, la estrella Eta Carinae cerca de la nebulosa de la cerradura.

Por esta altísima masa, Eta Carinae es un sistema muy inestable. En 1841 tuvo un incremento de luminosidad que la llevo a ser la segunda estrella más brillante de todo el cielo a pesar de su distancia. Esto pudo haber sido ocasionado por una violenta expulsión de material, que generó una nebulosidad bilobular denominada “homúnculo” (Fig. 4). Posteriormente, el brillo de la estrella disminuyó hasta dejar de ser visible a simple vista, siendo posible captarla sólo con binoculares o telescopio.

Eta Carinae es una estrella que vive muy poco tiempo, no más de un millón de años. Como comparación, el Sol tiene una edad de 5.000 millones de años. Pero además, Eta Carinae es un excelente candidato a supernova o quizá a hipernova en los próximos 10.000 años. Una hipernova que es un nuevo modelo de estrella explosiva asociada con emisiones observadas de rayos gamma. De suceder esto, habría que calcular los efectos que tendría la lluvia de radiación gamma sobre la Tierra, que alteraría fuertemente la vida sobre nuestro planeta.

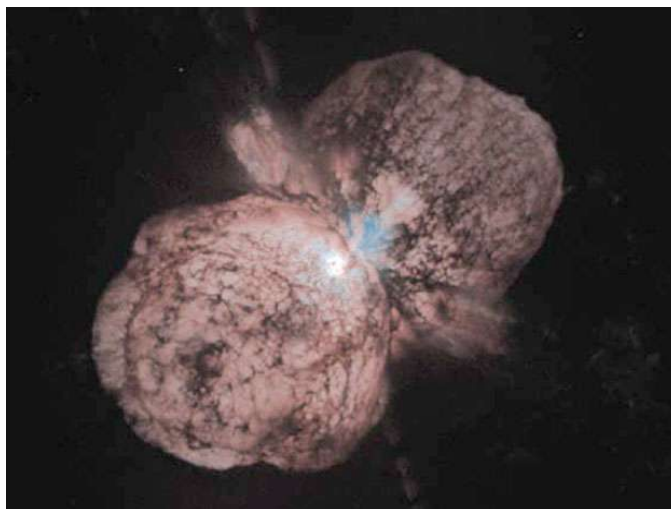


Fig.4.- Eta Carinae rodeada de la nebulosa bipolar homúnculo (J. Morse, K. Davidson).

2.- Cúmulos estelares

Algunas veces las estrellas aparecen agrupadas formando cúmulos, y estos pueden ser abiertos o cerrados.

2.1. Clases de cúmulos estelares

2.1.1.- Cúmulos abiertos:

Los cúmulos abiertos son relativamente jóvenes con respecto a la escala cósmica, con centenares de estrellas contenidas en una región de unos 30 años-luz de diámetro. Las Pléyades (M45) se formaron hace sólo 100 millones de años. Otros ejemplos de cúmulos abiertos son: M11 (en el Escudo), M16 (Nebulosa del Águila), M103 (en Casiopea).

Las estrellas de los cúmulos abiertos se forman a partir de la misma nube de gas y, por esta razón, tienen la misma composición química y una edad similar. Además, todas ellas están a la misma distancia de la Tierra. A medida que pasa el tiempo, las estrellas que forman los cúmulos abiertos se van separando progresivamente y, al cabo de unos cientos de millones de años, el cúmulo se disgrega y las estrellas buscan su destino en solitario. Se pueden observar muchos en las inmediaciones de la Vía Láctea y, por ello, son también conocidos como cúmulos galácticos.

2.1.2.- Cúmulos cerrados:

Los cúmulos globulares cerrados están formados por millares o centenares de millares de estrellas de origen común, situadas en regiones de 300 años-luz de diámetro, formando una enorme bola esférica. El cúmulo globular más cercano a nosotros es M4 en Escorpión cerca de la brillante estrella Antares. M3 (en Escorpión), M13 (en Hércules) y M15 (en Pegaso) son brillantes y fáciles de ver. Desde el hemisferio Sur podemos ver dos cúmulos globulares cerrados, Omega Centauro, en la constelación del Centauro, y 47 Tuc en la del Tucán.

Los científicos han llegado a la conclusión de que todos los cúmulos globulares son muy viejos, quizás 10.000 millones de años. Por otra parte, los cúmulos abiertos presentan una amplia gama de edades; algunos pueden estar en proceso de formación en la actualidad.

Los cúmulos globulares se sitúan dentro de un volumen esférico denominado halo galáctico, que rodea el disco de la Vía Láctea, y giran alrededor de su centro. Las estrellas que forman estos cúmulos prácticamente no tienen elementos pesados en su composición, lo que indica que son objetos antiguos, constituidos con el material original con el que se formó la galaxia.

2.2.-Las Pléyades (M45):

El más notable de los cúmulos abiertos es sin duda alguna el de las Pléyades (Fig. 5), en la constelación de Tauro, observado desde Florencia por Galileo, quien veía a simple vista seis de sus componentes, aunque con el antejo detectó 36.

Unos prismáticos revelan que hay docenas de estrellas en este cúmulo estelar, situado a 410 años-luz, formado por cientos de ellas y que mide sólo 13 años-luz de diámetro. Una nebulosa del tamaño aparente de tres Lunas llenas, las envuelve. Sus estrellas se han ido formando a partir de una nube de polvo estelar a lo largo de los últimos 50 millones de años.



Fig.5.- Cúmulo de las Pléyades, también conocido como las Siete Hermanas o M45.

2.3.- 47 Tuc (NGC 104):

Ligeramente hacia el oeste de la Pequeña Nube de Magallanes, aunque sin estar conectado a ella, tenemos a 47 Tuc (Fig. 6), un cúmulo globular grande y altamente concentrado, cuyo brillo es suficiente (magnitud total 5) como para que pueda detectarse con facilidad a simple vista. Está situado en la nebulosa del Tucán. Es uno de los cúmulos globulares más próximos, a una distancia de sólo 20.000 años-luz.



Fig.6.- Cúmulo globular 47 Tuc (W. Keel et al.).

2.4.- Omega Centauro (NGC 5139):

Omega Centauro (Fig. 7) es uno de los cúmulos globulares más brillantes y de mayor tamaño. Su diámetro aparente es el de la Luna llena. A simple vista parece una estrella borrosa de magnitud 4, pero a través de unos prismáticos o un pequeño telescopio se parece a una mancha borrosa. Este cúmulo contiene millones de estrellas.



Fig.7.- Millones de estrellas en Omega Centauro (Loke Kun Tan).