

Este artículo ha aparecido publicado en el Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para el año 2014.

EL COLOQUIO DE LAS NEBULOSAS

Valentín Bujarrabal

*Observatorio Astronómico Nacional
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento*

Berganza.— Cipión hermano, óyote hablar y sé que te hablo, y no puedo creerlo, por parecerme que el hablar nosotros pasa de los términos de la naturaleza.

Cipión.— Así es la verdad, Berganza, y viene a ser mayor este milagro en que no solamente hablamos, sino en que hablamos con discurso, como si fuéramos capaces de razón, estando tan sin ella que la diferencia que hay del animal bruto al hombre es ser el hombre animal racional, y el bruto, irracional.

El coloquio de los perros
M. de Cervantes, natural de Alcalá de Henares

EL COLOQUIO DE LAS NEBULOSAS

Calabaza.— Pasé tanto tiempo en el oscuro vientre de aquella estrella gigante que casi no conservo recuerdo alguno de ello. Años, milenios, tenebrosos y que poco camino dejaban a la esperanza. ¿Habría de ser para siempre?

Rectángulo.— Años oscuros, sí, sin historia, sólo preparación de nuestro nacimiento (para algunos muy espectacular). El nacimiento de las nebulosas planetarias. Nuestro sol, ya viejo, pasó a ser una estrella gigantesca, que nos contenía inquietos y casi sin vida.

Sólo algunas briznas de la estrella escapaban, huyendo en una desbandada tenue y constante. Pero que poco alteraba la vida de quien quedaba en su interior y poco nos hacía presentir cual sería nuestro futuro.

Calabaza.— Mas pasaron aquellos tiempos y, repentinamente, salí de la estrella como una mariposa que sale de su capullo e inicia el primer vuelo. Desplegué mis alas de mil colores y volé rápida y alegre. No se ha visto nacimiento más espléndido ni recién nacida más hermosa, Venus misma me envidia.

El autor.— Así es, como lo cuentan nuestros amigos Calabaza y Rectángulo. Las estrellas, la mayoría de las estrellas, incluyendo nuestro Sol, cuando se hacen viejas evolucionan convirtiéndose en gigantes rojas. Las gigantes rojas son mucho más extensas que el Sol, unas mil veces mayores, aunque no contienen más masa, pues el proceso es una expansión pura. Al mismo tiempo que aumentan de tamaño, su temperatura disminuye. Llegan a tener unos dos o tres mil grados de temperatura en su superficie, mientras que una estrella como el Sol tiene unos seis mil. Por eso son rojas, porque un cuerpo con esas temperaturas emite sobre todo luz roja; nuestro Sol, más caliente, emite una luz blanquecina, tirando a amarilla. Debido a su gran tamaño (y a pesar de su menor temperatura), estas estrellas viejas son mucho más luminosas que sus predecesoras. Otra característica importante de las gigantes rojas es que su tamaño varía, o sea que pulsan, lo que hace que su luminosidad también varíe. Su diámetro puede variar de hasta un treinta por ciento con periodos de aproximadamente un año. La vida de una estrella gigante roja (en su fase extrema) no excede un millón de años, lo que es poco comparado con las fases anteriores, pues una estrella como el Sol puede permanecer en su estado, antes de empezar a dilatarse, unos diez mil millones de años.

Otra característica importante de las estrellas gigantes rojas es que pierden masa, aunque al principio a un ritmo muy lento. Esto lleva a la formación de lo que se llama una envoltura circunestelar, un material que se escapa de la estrella y que representa sólo una pequeña parte de la masa total. La razón de esta pérdida de masa es que la estrella tiene una atracción gravitatoria relativamente pequeña en su superficie, pero su alta luminosidad hace que la presión de radiación empuje el material que está en sus bordes hacia afuera. (La atracción gravitatoria es pequeña porque la gigante es muy extensa pero no contiene más masa que una estrella normal. La presión de radiación consiste en que la luz cuando choca con un objeto lo empuja; este empuje es pequeño en nuestro mundo, pero en la superficie de una estrella de gran luminosidad no es en absoluto despreciable y acelera eficazmente una parte del material estelar.) La fuerte pulsación de la estrella también ayuda, pues es como si la *diera de sí*, manteniendo una considerable cantidad de materia alejada de la superficie y lista para ser empujada por la radiación.

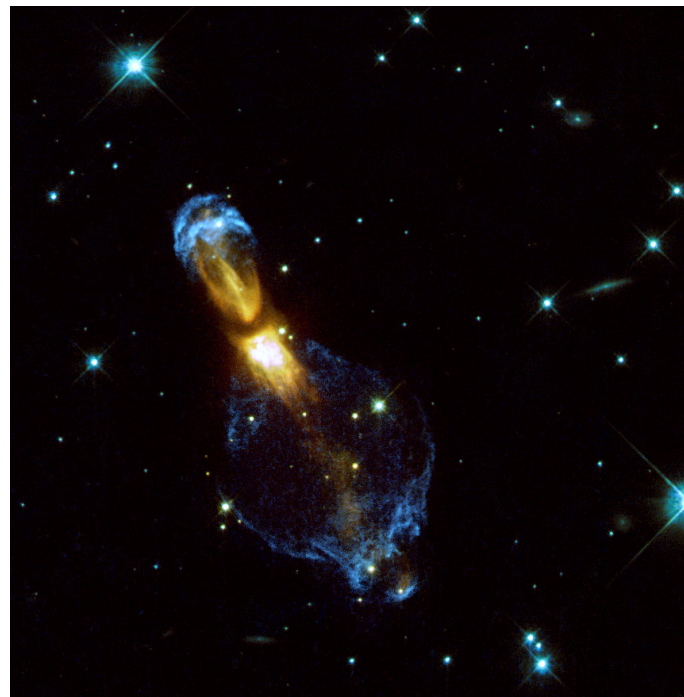


Figura 1: OH 231.8+4.2, la Calabaza, la nebulosa presumida. Esta figura es una composición de dos imágenes obtenidas con el Hubble Space Telescope (HST, cortesía de NASA/ESA/STScI). Vemos luz estelar reflejada por granos de polvo, que es la parte amarillenta; la parte azul es emisión de átomos de hidrógeno (línea H α). Sabemos por observaciones de emisión de la molécula CO que la estructura trazada por los granos contiene casi todo el material nebuloso. En total la nebulosa tiene más masa que el Sol, contiene sin duda la mayor parte de la masa que originalmente estaba en la estrella, que realmente se ha convertido en nuestra Calabaza. También sabemos por observaciones espectroscópicas que la nebulosa se expande a alta velocidad, superando el millón de kilómetros por hora. La componente masiva (la amarillenta en la figura) es fría, está a unos 250° bajo cero. Pero la componente en emisión que aquí vemos azulada ha sido calentada por choques entre diversas componentes nebulares, lo que es fácil a la vista de sus grandes velocidades, y alcanza temperaturas de unos 10.000°. En la región central se encuentra la estrella, que es doble (dos estrellas orbitando), no se ve directamente porque el polvo de la densa zona nebulosa en el ecuador de la nebulosa la oculta.

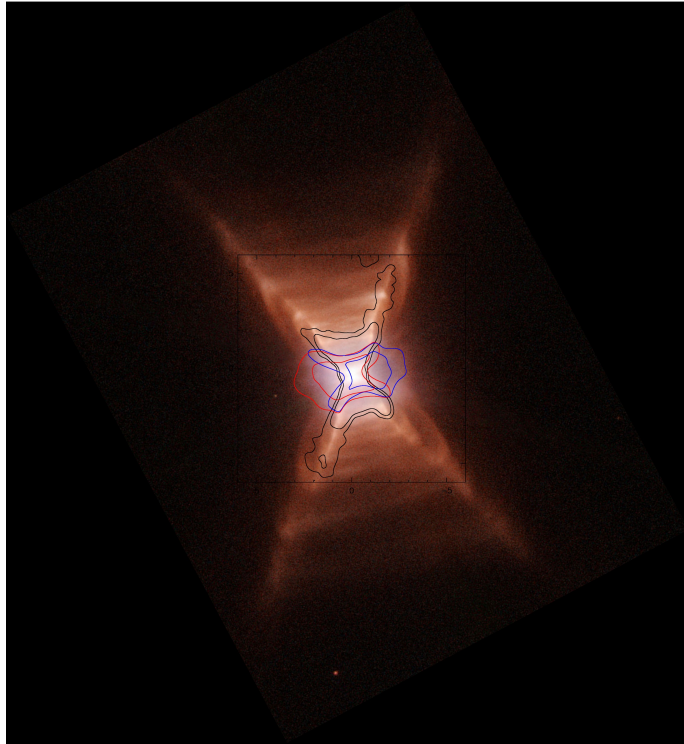


Figura 2: El Rectángulo Rojo, HD 44179, nuestra otra nebulosa. Los colores son la imagen óptica (obtenida con el HST, cortesía de NASA/ESA/STScI), que se debe principalmente a la emisión de pequeños granos de polvo excitada por la luz de la estrella central (que tampoco se ve directamente en este caso). Esta nebulosa tiene un disco gaseoso en su ecuador que está rotando, las líneas rojas y azules representan respectivamente las zonas del disco que se alejan y se acercan, medidas con gran precisión gracias a observaciones de emisión de CO con el telescopio ALMA. Las líneas grises muestran la emisión de gas que se encuentra en expansión. Éste ocupa en realidad la zona que se extiende entre el ecuador y la X que se ve en el óptico, la zona interior al doble cono (interior a la X) está casi vacía. Esta nebulosa presenta en cualquier caso velocidades mucho menores que las de la Calabaza, y su masa es mucho más pequeña que la de la estrella. El cuadrado en la imagen da la escala angular en segundos de arco, para que os hagáis una idea del pequeño tamaño angular de nuestras nebulosas; un segundo es 1/60 de un minuto, que es 1/60 de un grado.

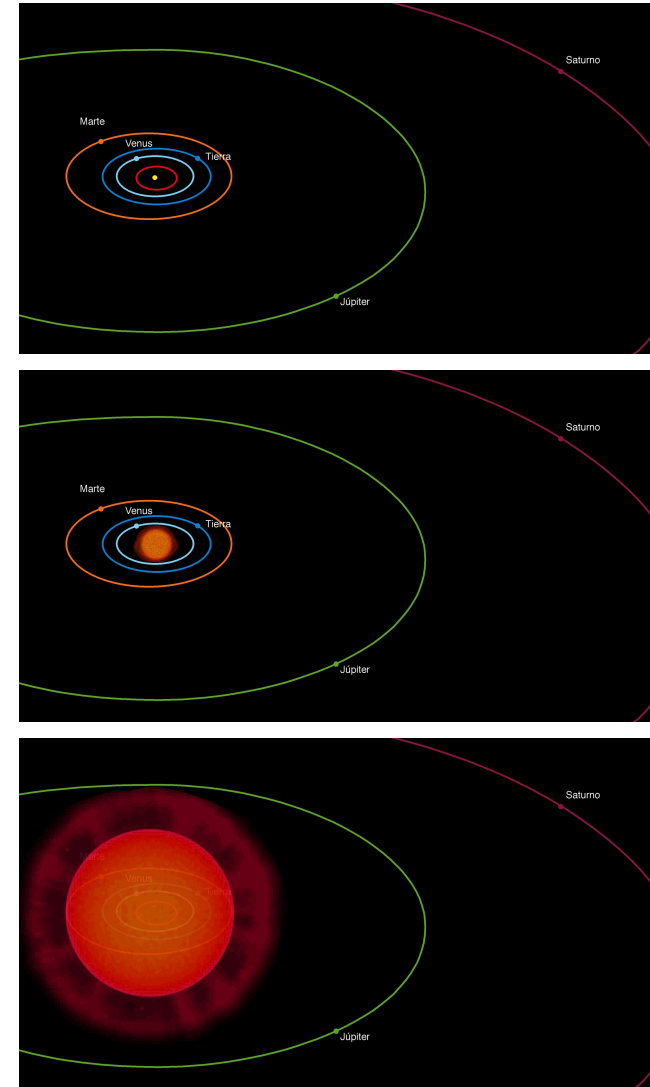


Figura 3: Se cree que cuando una estrella como el Sol envejece se extiende de forma espectacular, al tiempo que se vuelve rojiza. Llega a ser tan grande que termina engullendo algunos planetas, posiblemente éste sea el destino de la Tierra. Estas estrellas se llaman gigantes rojas, tienen un tamaño variable y límites poco nítidos.

El ritmo de pérdida de masa se acelera con el tiempo. Al final de la fase de gigante roja, este ritmo crece de manera espectacular, la estrella eyecta mucho material, casi todo el que en ella había. Posteriormente, el gas nebular es acelerado a grandes velocidades sobre todo en los polos, y forma unas nebulosas asimétricas de gran belleza. Este proceso está aún poco conocido; quizás se produzca por interacción, o sea por choques, entre las eyecciones de la gigante roja y otras ya posteriores muy rápidas y colimadas (es decir, en forma de chorro). El final del proceso es la formación de las llamadas *nebulosas planetarias*, nombre que tiene raíces puramente históricas, pues no tienen nada que ver con los planetas. Así envejecen la mayoría de las estrellas, en particular las que son similares al Sol, convirtiéndose en espectaculares nebulosas.

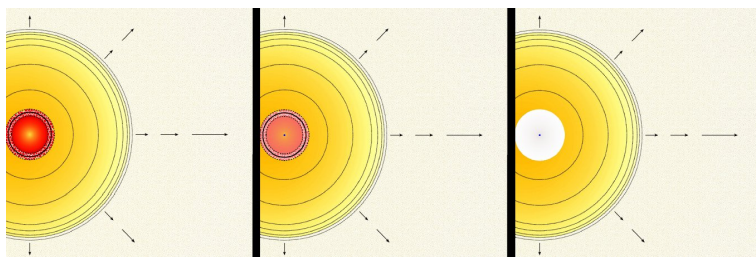


Figura 4: Las gigantes rojas pierden masa, formando las llamadas envolturas circunestelares (círculos amarillos en la figura), de gas y polvo en expansión. Al final de esta fase, el ritmo de pérdida de masa se acelera mucho, prácticamente toda la masa de la estrella se eyecta y sólo queda un remanente muy compacto y caliente, el núcleo de la gigante, que aparece en el tercer panel. A la nueva estrella se le llama estrella enana azul, pues a su alta temperatura le corresponden colores azulados.

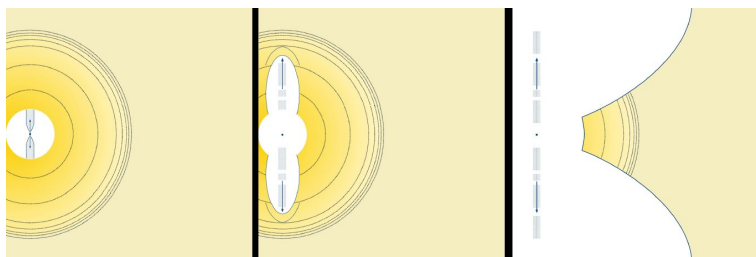


Figura 5: En la misma transición de gigante roja a enana, se produce una espectacular evolución de la envoltura. Parece ser que la nueva estrella eyecta chorros muy rápidos que chocan con la envoltura, más lenta, acelerando sus regiones polares y abriendo finalmente un hueco en ellas. Se genera así una nebulosa asimétrica, *bipolar*.

Rectángulo.— Bueno, ya sabemos que eres guapa.

Calabaza.— Si me creo bella es porque lo soy, que es lo que cuenta, y tu no seas modesto que tienes también muy buena percha.

Rectángulo.— A veces, la belleza que menos llama la atención es la más importante. Quizás en la información que se encuentra bajo un aspecto modesto nuestro autor y sus colegas puedan encontrar las claves de nuestra existencia, cuyo origen se conoce tan mal.

Calabaza.— Si, bueno, con su amigote Javier.

El autor.— Alcolea, Javier Alcolea.

Calabaza.— Y el resto, vaya pandilla, Arancha, Hans, Miguel, Carmen, ... Me los encuentro en un callejón oscuro y me dan un susto de muerte.

Rectángulo.— Pues a mí me caen simpáticos.

El autor.— La Calabaza es una nebulosa planetaria joven, que tiene por nombre de catálogo OH 231.8+4.2. No es difícil hacerla posar, podéis verla en la figura 1. Se trata de una de las nebulosas más bellas que se han observado (quizás por eso sea un poco cursi). Está formada, como las demás de su especie, de gas y polvo, sobre todo de gas. El polvo se detecta principalmente debido a la luz estelar que refleja, el gas es más bien emisor de radiación. La Calabaza, como la mayoría de las nebulosas planetarias recién formadas, presenta unas velocidades de expansión muy elevadas, particularmente en su caso, pues se expande a más de un millón de kilómetros por hora; los astrónomos preferimos medir las velocidades en kilómetros por segundo (km s^{-1}), la Calabaza alcanza velocidades superiores a los 300 km s^{-1} . El total de la masa que contiene la Calabaza es muy elevada, mayor que la masa del Sol, y en ella está sin duda la mayor parte de la masa que se encontraba en la estrella de la que nació.

Nuestro otro amigo es el Rectángulo Rojo, HD 44179, al que llamaremos simplemente Rectángulo. También es una nebulosa planetaria joven y muy bella (pero parece más modesto), os puedo enseñar una foto suya, figura 2; me han pasado fotos de otros amigos, nebulosas del mismo tipo, irán apareciendo a lo largo del artículo, leed bien los pies de las figuras. (También encontraréis en el artículo diagramas explicando los procesos evolutivos de los que hablamos.) El material que forma el Rectángulo Rojo, de nuevo gas y polvo, es sólo la centésima parte de la masa total del sistema estrella+nebulosa, es probable que la estrella aún tenga que eyectar una buena parte de sí misma. Tiene Rectángulo una característica muy interesante: en el ecuador de la nebulosa se encuentra una estructura de gas y polvo que no se expande sino que está en rotación alrededor de la estrella central. La dinámica es similar a la que tienen los planetas de nuestro sistema solar, es debida a que la atracción gravitatoria de la estrella impide que escapen. Todo esto se encuentra rodeado por gas en expansión que parece alimentarse del disco rotante, por lo que es probable que la mayor parte del mismo termine escapándose a pesar de todo. En este caso, el material

se mueve a velocidades mucho menores que las que antes mencionamos, menores que 15 km s^{-1} .

La Calabaza y el Rectángulo Rojo son nebulosas que nacieron hace poco de la eyección de masa por una estrella gigante roja y se convertirán con toda probabilidad en nebulosas planetarias plenamente desarrolladas. Pero sus características son tan diferentes, que hacen pensar que realmente esta formación no se produce siempre siguiendo el mismo proceso. Ya se sabe que los opuestos a veces se atraen y parece que hacen buenas migas, quiero decir que quizás estudiando coordinadamente objetos tan diferentes podamos encontrar respuestas a los enigmas que plantea la muerte de las estrellas.

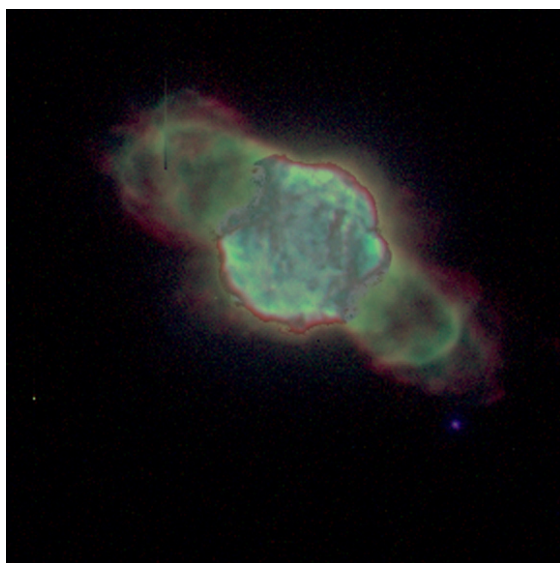


Figura 6: NGC 6886. En esta nebulosa planetaria vemos cómo se rompe la simetría esférica de la envoltura que rodeaba a la estrella gigante roja (según se muestra en el diagrama anterior). (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

Rectángulo.— Si una parte de mí hubiera caído, en espiral vertiginosa, de nuevo hacia la estrella.

Calabaza.— Volver allí, ¿qué dices?, nunca.

Rectángulo.— Como la semilla se sacrifica para que en primavera nazca un espléndido y generoso campo de mies. Quizás sólo la caída de una parte de mí haya podido servir para surgir el todo con más brío, para escapar con más energía a la realización plena. Quizás así sea nuestro nacimiento y la muerte de la estrella gigante.

Calabaza.— Y si es así, ¿tengo yo también algo, o lo he tenido, que con su caída haya potenciado mi resplandor? ¿Lo tenemos todas nosotras?

El autor.— Su intuición no les engaña. De las teorías que se han propuesto para explicar estos fenómenos, la que más aceptación tiene consiste en suponer que hay una parte del material eyectado que permanece girando alrededor de la estrella, sin alejarse nunca demasiado. Ya he mencionado que sabemos que esto ocurre al menos en el Rectángulo Rojo, pues lo hemos observado. Una parte de éste material, volvería a caer sobre la estrella, adquiriendo según se acerca una velocidad cada vez mayor. La enorme energía cinética que llega a tener al acercarse a la estrella puede servir para empujar hacia afuera una porción de ese mismo gas, creándose dos chorros muy rápidos en sentidos opuestos (lo que llamamos una eyección bipolar). Estos chorros rápidos alcanzan pronto la envoltura expulsada previamente, chocan fuertemente con ella y aceleran sus regiones polares (figura 5). Se produce al mismo tiempo un calentamiento de algunas de estas componentes, que se convierten en emisoras de luz (como la parte de la Calabaza que vemos en azul en la figura 1). Al final, literalmente se abren agujeros en estas zonas polares.



Figura 7: En NGC 6302 la ruptura de la simetría es ya más amplia. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

Para que el proceso funcione parece necesario que la estrella sea binaria, es decir que haya en realidad dos estrellas muy próximas en el centro de la nebulosa, rotando alrededor de su centro de gravedad. El disco puede así adquirir un movimiento de rotación por interacción con el sistema estelar; de otra manera, el material previamente expulsado por la estrella prácticamente no giraría nada (decimos nosotros que tendría un momento angular despreciable). También es necesario que exista un campo magnético bipolar (o sea con dos polos), aunque no sea muy intenso, lo que permite convertir el movimiento del material que cae en movimiento de una parte de éste hacia afuera y en forma de chorro. Este mecanismo se sabe que es eficaz, pero es poco intuitivo y no sería fácil de explicar aquí.

Sabemos que precisamente las estrellas centrales de nuestras dos nebulosas son dobles, aunque no en todas las nebulosas planetarias las hemos visto. En el caso del Rectángulo Rojo hemos detectado bien el disco en rotación. Hay indicios de que la Calabaza también lo tiene, pero es de tamaño muy reducido y su detección no es fácil. Por otro lado, podría ser que el proceso funcionase incluso si una de las estrellas es muy pequeña, o quizás sea suficiente si tenemos una estrella acompañada de un planeta grande. En este sentido las predicciones teóricas no son concluyentes.

También es posible que en algunos casos se produzca una interacción muy intensa entre ambas estrellas, debido a que la gigante engulle literalmente su compañera (como hará el Sol con algunos de los planetas, figura 3), es lo que nosotros llamamos la fase evolutiva en *common envelope*. Esto incrementaría tremendamente la pérdida de material por parte de la gigante y alteraría también la dinámica de la eyección, que se volvería asimétrica y más rápida en la dirección de los polos. La eyección múltiple implica también choques entre capas de material eyectadas antes y después. Se espera que, tras todo este proceso, la estrella principal se haya convertido en una enana muy pequeña (el núcleo de la gigante, como hemos citado ya) y, curiosamente, que la segunda estrella aparezca de nuevo, visible para nuestros telescopios y girando, como antes, como si nada hubiera pasado.

Calabaza.— Verdad es que poco se sabe con certeza de como nacemos las nebulosas. ¿Por qué una estrella, al final de su vida, lanza al exterior tan gran cantidad de material? ¿Y por qué lo hace de esta forma, que los astrónomos llaman bipolar?, que parece sólo destinada a darnos más hermosura ...

El autor.— Qué presumida.

Calabaza.— Y para que todo el mundo nos ame, por lo menos a mí.

Rectángulo.— Qué cruz.



Figura 8: NGC 6543, el Ojo de Gato, es una espectacular nebulosa planetaria, más evolucionada que las anteriores. Su estrella central ya es una enana blanca (antes fue una enana azul) y también sabemos que tiene una compañera. Se ve aún el resto de la envoltura esférica, pero también vemos como los choques avanzan rompiendo la simetría. Notemos que el eje en que se producen parece haber ido cambiando con el tiempo. En las imágenes más antiguas de este nebulosa, sólo la región central más asimétrica se apreciaba, de ahí su nombre. El halo esférico sólo se ha visto recientemente, gracias a instrumentos más sensibles. Ojo de Gato es muy bella, pero más vieja que Calabaza. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

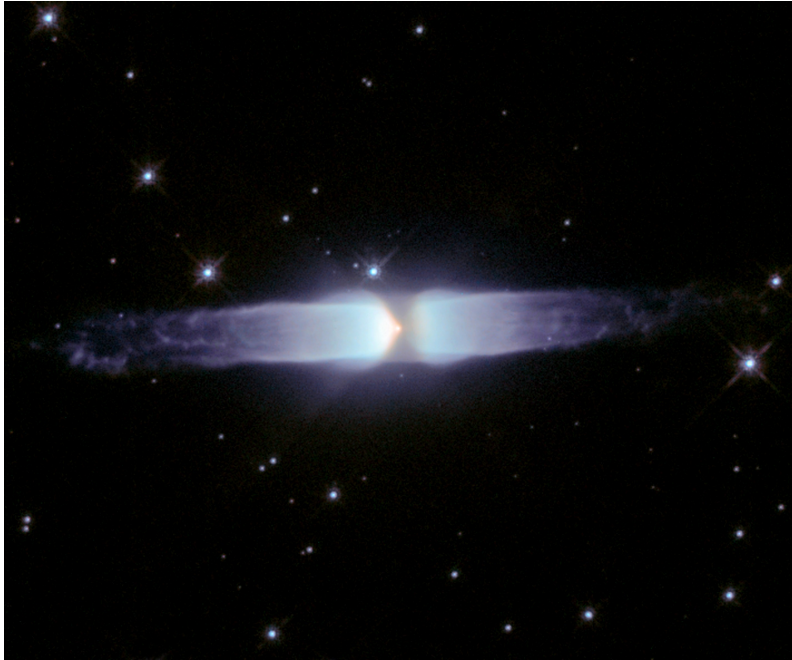


Figura 9: Otra bonita nebulosa joven es Hen 401, en ella los choques se han extendido rápidamente y la afectan por entero. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

El autor.— Añado yo: ¿por qué algunas estrellas que ya han dejado la fase de gigante roja parecen perezosas a la hora de continuar su evolución, mientras otras lo hacen de forma explosiva?, serían los casos de nuestros dos amigos. Quizás sea debido a una interacción de diferente naturaleza entre las dos estrellas entre sí y con la materia circundante, que sería mucho más intensa en el caso de Calabaza. Quizás los dos procesos que hemos citado antes, la eyección suave y continua de material para formar un disco en rotación y la interacción entre estrellas muy violenta, que aparece en cierto momento y altera fuertemente el proceso de eyección de gas y polvo, sean los responsables de estos casos que vemos tan diferentes. Pero de esto aún no podemos dar una explicación con certeza. De todos modos, ambos tipos de objetos parecen evolucionar hacia la formación de una nebulosa en expansión, la nebulosa planetaria, alrededor de un resto estelar, una estrella enana que fue el núcleo de la estrella gigante. Incluso en objetos que tienen una componente en rotación importante, como el Rectángulo Rojo, el material del disco se está escapando y pronto sólo veremos material nebuloso en expansión.

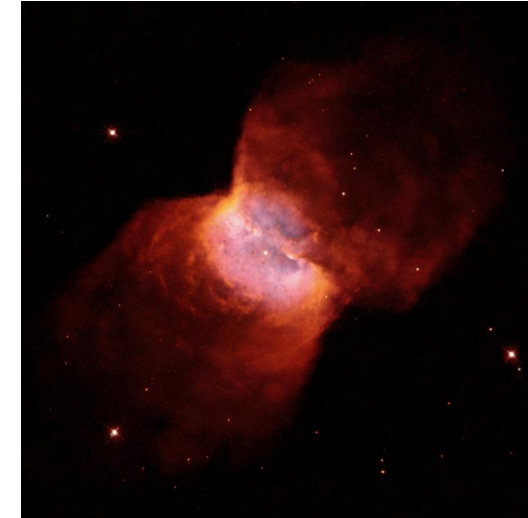


Figura 10: En NGC 2346, una nebulosa planetaria ya evolucionada, las zonas polares se han roto y las ecuatoriales son las más intensas. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

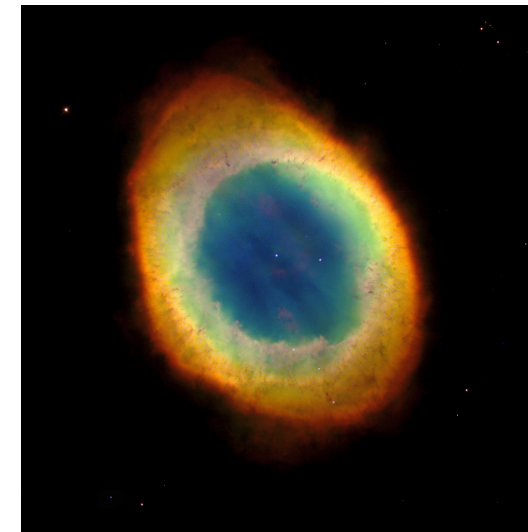


Figura 11: Al final tendremos algo como NGC 6720, el Anillo, del que sólo la zona ecuatorial es visible. En éstas dos nebulosas, como en la mayoría, el material que vemos no rota sino que se expande. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

Calabaza.— Pronto no quedará atrás sino el mismo núcleo de la gigante, una minúscula estrella muy caliente, capaz, eso sí, de iluminarnos y darnos así, si cabe, aún más gloria.

Rectángulo.— Pero para mí la cosa es más lenta. Aún la estrella que dejé está lejos de hacerse tan pequeña y caliente. Pasan los cientos de años y todo va despacio.

El autor.— En casos como el de la Calabaza la estrella eyecta casi toda su masa en sólo unos cientos años. Como he mencionado ya, este material se acelera pronto a gran velocidad, de forma asimétrica. Y la estrella central se precipita en su evolución: en menos de mil años será lo que llamamos una estrella enana azul y poco después una enana blanca, una estrella muy pequeña (ahora, más pequeña que la estrella de partida, pues es sólo el núcleo de la gigante), pero muy caliente (más de nuevo que el Sol, con hasta 100.000°). Se ve azulada porque éste es el color de la materia así de caliente, luego se irá enfriando y se volverá más bien blanca. La radiación de esta estrella será capaz de excitar la nebulosa (ionizar, decimos nosotros en este caso, separando electrones de los átomos), dándole aún mayor resplandor y convirtiéndola en una nebulosa planetaria desarrollada.

También he mencionado que para otras nebulosas, las que presentan discos en rotación como nuestro Rectángulo, todo va más despacio. Creemos que las estrellas también se convertirán en enanas, pero la evolución parece mucho más lenta. Donde antes eran cientos de años, ahora son miles. Quizas sea tan lenta que, cuando la estrella central vuelva a ser caliente, el pobre Rectángulo ya se habrá expandido tanto, se habrá hecho tan difuso, que difícilmente pueda adornarse con la radiación de la nueva estrella.

Calabaza.— Todo llegará. Seguro que también verás, aunque sea desde lejos, la estrella excitante.

Rectángulo.— El tiempo tiene que seguir su camino. Al final, de todas las maneras, sólo habrá un rescoldo de estrella en nuestro centro. Quizás nos dé vida un tiempo, pero también ella se irá apagando.

El autor.— La fase de enana blanca es justo la fase final de la vida de la mayoría de las estrellas. A partir de ese momento, la estrella irá perdiendo energía lentamente hasta morir como un astro inerte, pequeño y frío.

La nebulosa irá, por su parte, diluyéndose, confundiéndose con el medio interestelar. Empezará a hacerse indetectable unos veinte mil años tras su nacimiento. Será a partir de estas nubes interestelares, alimentadas por los restos de estrellas anteriores, que se formarán nuevas estrellas después, como se formaron a su vez, hace mucho, las estrellas de las que surgieron las nebulosas planetarias actuales. Nacerán nuevos astros de nuestras bellas nebulosas, nacerán estrellas con planetas a su alrededor y posiblemente con vida en ellos.

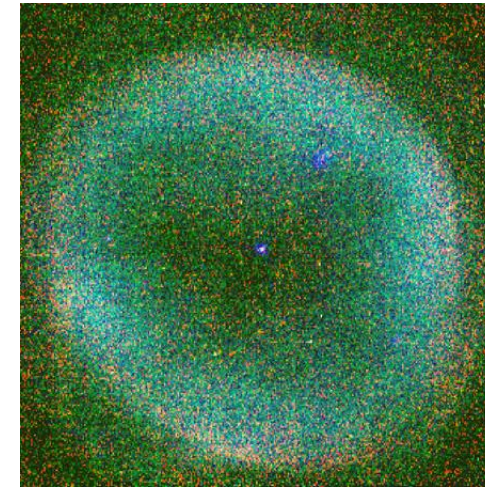


Figura 12: IC 1454 es una nebulosa planetaria muy evolucionada, muy vieja. Se ha extendido mucho debido a su dinámica expansiva y al tiempo transcurrido, su imagen es ya muy difusa. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

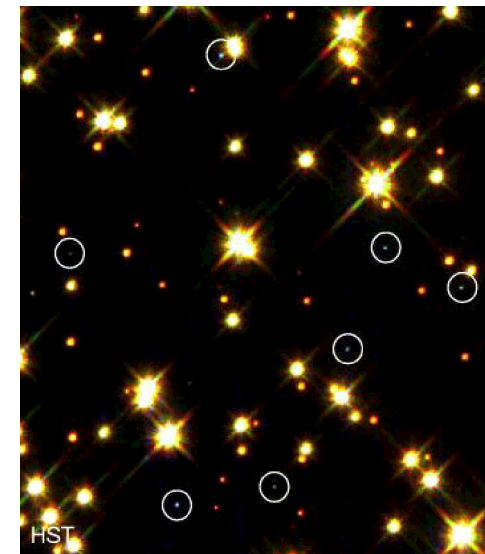


Figura 13: Imagen del cúmulo de estrellas M4. Los círculos señalan estrellas enanas blancas muy viejas y débiles, ya no se ve rastro a su alrededor de la nebulosa. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

Nuestro Sol, nuestra Tierra y nosotros mismos nos hemos formado de átomos que en su día formaban parte de nebulosas como éstas que ahora dialogan ante nosotros. Y al final, dentro de unos miles de millones de años, nuestro Sol, nuestra Tierra y nosotros mismos (o, mejor dicho, lo que quede de nuestros huesos) serán de nuevo eyectados por una gigante roja para formar parte de una calabaza o un rectángulo.

Rectángulo.— Y nosotros iremos diluyéndonos poco a poco, decayendo. Cada vez más difusos, menos conscientes de nuestro ser y nuestro pasado y ya despreocupados de nuestro destino. Hasta confundirnos en un todo inmenso y sin forma.

Calabaza.— ¡Habló la alegría de la huerta! No pienses en eso, mientras tanto somos lo más bello del Universo, y si luego hemos de servir para que vuelva a surgir la vida de nuestras carnes, tanto mejor. Soy joven y me sobra energía. Y tú, no nos engañemos, con esa cinturita y esos anchos hombros, tienes un aspecto tan varonil ...

Rectángulo.— Tú sí que estás bien. Y si soy tan varonil y todo eso, digo yo que algo podríamos hacer, ¿no?

Calabaza.— (Fíate de la mosquita muerta.) Si tanto insistes.

Rectángulo.— (Tampoco ha hecho falta insistir mucho.) Se me ha ocurrido una idea ...

El autor.— Me parece que éste es el momento de dejarlos, y más que este artículo es de horario infantil. Quedan muchas preguntas por responder sobre este tema, y no se van a responder en un futuro próximo. O a lo mejor sí, precisamente estamos viendo que los nuevos instrumentos, como el potentísimo radiointerferómetro ALMA, están ahora mismo produciendo importantes avances en este campo. Uno de los primeros resultados de ALMA, obtenido hace sólo unos meses por nuestro grupo, se puede ver en la figura 2, la imagen del Rectángulo Rojo. Vemos en particular que algunos objetos, como éste, presentan los ingredientes necesarios para explicar la eyección de chorros que pueden crear nebulosas planetarias tal como las conocemos. Pero, precisamente en las nebulosas que presentan una evolución más rápida y profunda, como la Calabaza, estos elementos son menos evidentes. Estas nebulosas son fuertemente asimétricas, y tienen los movimientos más rápidos y las estructuras más espectaculares. ¿Estaremos ante una interacción muy violenta entre estrellas compañeras que no deja rastro en forma de disco rotante? ¿Y qué pasa si las estrellas no son dobles?, quizás sea suficiente la presencia de un planeta o quizás tendremos que admitir que estrellas solitarias (como nuestro Sol) siguen una senda evolutiva muy diferente que la que aquí hemos descrito.

No sabemos bien cómo han surgido, pero el caso es que estas nebulosas me caen simpáticas (como nosotros a ellas), hasta les toma uno cariño.



Figura 14: Gas y polvo interestelar en la nebulosa de Carina. De este material, que una vez fue expulsado por estrellas viejas, se están formando nuevos astros. Los filamentos que vemos en la imagen (por ejemplo, arriba, en el centro) señalan dónde se forman estrellas jóvenes, pues éstas, curiosamente, suelen lanzar chorros parecidos a los que vimos en las estrellas viejas y las nebulosas planetarias. (Cortesía de NASA/ESA/STScI.)

Agradecimientos

En este artículo he utilizado imágenes obtenidas con el Hubble Space Telescope (HST, ver <http://outreachoffice.stsci.edu/>). La imagen de la emisión de CO la obtuvimos recientemente con el interferómetro ALMA (<http://www.almaobservatory.org/>). Las figuras 3, 4 y 5 las compuso Florencio Martín, del OAN, sede de Alcalá de Henares, a quien estoy particularmente agradecido. En las referencias se citan algunos artículos científicos que detallan los estudios que he resumido tan drásticamente; como referencias generales recomiendo el libro de S. Pottasch, el artículo de B. Balick y A. Frank y, en español y en tono más divulgativo, los que respectivamente escribimos para este Anuario R. Bachiller y yo hace unos años.

Referencias

- S.R. Pottasch, 1984, "Planetary Nebulae", Dordrecht, D. Reidel Publ. Co. (Para saber más sobre nebulosas planetarias y evolución estelar tardía.)
- B. Balick, A. Frank, 2002, ARA&A, 40, 439. (Para saber más en detalle de la formación de nebulosas planetarias.)
- R. Bachiller, "Nebulosas planetarias. Una mirada nueva sobre unos objetos viejos", Anuario del Observatorio Astronómico 2000, pag. 307. (Referencia general en español sobre nebulosas planetarias.)
- V. Bujarrabal, "Evolución estelar tardía y nacimiento de las nebulosas planetarias", Anuario del Observatorio Astronómico 2000, pag. 293. (Referencia general en español sobre las gigantes rojas y el nacimiento de las nebulosas planetarias.)
- V. Bujarrabal, J. Alcolea, C. Sánchez Contreras, R. Sahai, 2002, A&A, 389, 271. (Para saber más sobre las imágenes de la Calabaza.)
- J. Alcolea, V. Bujarrabal, C. Sánchez Contreras, R. Neri, J. Zweigle, 2001, A&A, 373, 932. (Para saber más sobre la emisión de CO en la Calabaza.)
- M. Cohen, H. Van Winckel, H.E. Bond, T.R. Gull, 2004, AJ, 127, 2362. (Para saber más sobre las imágenes HST del Rectángulo Rojo.)
- V. Bujarrabal, C. Castro-Carrizo, J. Alcolea, et al., 2013, A&A, en prensa, ver astroph: <http://arxiv.org/abs/1307.5959>. (Para saber más sobre la emisión de CO en el Rectángulo Rojo y las imágenes de ALMA.)

- V. Bujarrabal, C. Castro-Carrizo, J. Alcolea, C. Sánchez Contreras, 2001, A&A 377, 868. (Para saber más sobre la dinámica de las nebulosas planetarias jóvenes.)
- A. Frank, E.G. Blackman, 2004, ApJ, 614, 737. (Para saber más sobre el mecanismo de eyección de chorros de alta velocidad en nebulosas planetarias jóvenes.)

Los artículos de divulgación aparecidos en el ANUARIO entre los años 1994 y 2013 pueden encontrarse en enlaces a los que se accede desde la página web:

http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Astronomia/publico/