

La Explosión de una Supernova

Enrique Fernández (29-1-08)

Todo pasa y nada queda, escribió Antonio Machado en su poema Cantares. Nuestro gran poeta se refería a lo efímero de nuestra existencia. Pero nuestro presente "hábitat", el Planeta Tierra, lleva existiendo durante miles de millones de años, aunque no siempre haya sido habitable. Y nuestro Sol ha estado brillando aún más tiempo y seguirá haciéndolo durante varios eones más. ¿Pero también pasará y nada quedará? En efecto así creemos que ocurrirá, dentro de unos 4500 millones de años. Antes de desaparecer el sol se hará más grande y engullirá a la Tierra, que será completamente obliterada. Después se contraerá e irá apagándose poco a poco, convirtiéndose en una enana blanca antes de llegar a la oscuridad absoluta, en un tiempo aún más lejano, tan lejano que ello no nos preocupa lo más mínimo. Es más que probable que nuestra especie haya desaparecido muchísimo antes. La muerte del Sol es una que podríamos calificar de tranquila. Otras estrellas más masivas que el sol desaparecen de una manera mucho más violenta, dando lugar a explosiones gigantescas conocidas como Supernovas. Para entender como una estrella explota y se convierte en Supernova es necesario explicar brevemente cómo se forma, cómo produce energía durante millones de años y cómo evoluciona inexorablemente hacia su final.

La formación de una estrella comienza con la acumulación, debida a la gravedad, de los elementos primigenios del cosmos (principalmente hidrógeno y helio). Durante milenios se forman nubes de dichos elementos (y algunos más pesados en pequeñas cantidades) cuya densidad y temperatura va aumentando poco a poco. Llega un momento en que la temperatura es tan alta que dos núcleos de hidrógeno (dos protones) pueden reaccionar por medio de lo que se llama una reacción de fusión nuclear. Esta reacción produce energía y la temperatura aumenta aún más, lo cual hace a su vez que se produzcan más fusiones..., es decir se produce una reacción en cadena de dantescas proporciones: ha nacido una estrella. Las reacciones de fusión convierten el Hidrógeno en Helio y tienen lugar en el centro de la estrella, donde la temperatura es más elevada. Eventualmente se crea un equilibrio térmico (la estrella produce energía y esta se emite hacia el exterior con lo que la temperatura se estabiliza) e hidrostático (la presión del gas en el núcleo contrarresta la gravedad de las capas exteriores). Cuando esto ocurre se dice que la estrella está en la "secuencia principal", lo cual hace referencia a la temperatura de su superficie y a su color. Esto es lo que está ocurriendo en el Sol desde hace 4500 millones de años y se espera que continúe ocurriendo durante un tiempo similar. Pero llega un momento en que todo el Hidrógeno que hay en el núcleo de la estrella se consume con lo cual las fusiones dejan de tener lugar. Cuando esto ocurre la estrella se contrae ya que se deja de producir energía. Pero al contraerse el núcleo de la estrella también se calienta. Llega un momento en que la temperatura es lo suficientemente elevada como para que dos átomos de Helio se fusionen. Al comenzar a fusionarse el Helio la energía producida aumenta y la estrella se expande, convirtiéndose en una gigante roja o en una supergigante. Los átomos de Helio se fusionan entre sí en Berilio. El Berilio se fusiona con Helio dando Carbono y el Carbono se fusiona con Helio dando Oxígeno.

Eventualmente el Helio también se agota. En el núcleo de la estrella se van formando elementos más y más pesados mientras que en las capas externas seguimos teniendo los elementos originales, dispuestos en capas.

Lo que ocurre a continuación depende de la masa de la estrella. Si esta es menor de 8 veces la masa del Sol entonces la estrella se apaga. Las capas exteriores se dispersan dando lugar a una nebulosa planetaria y el núcleo se enfría poco a poco durante millones de años, convirtiéndose en una enana blanca. Pero si la masa es superior a 8 masas solares, son posibles nuevas reacciones de fusión. El Berilio y el Carbono se fusionan dando Neón, Magnesio y Silicio y estos se fusionan a su vez produciendo Níquel, Hierro y otros elementos pesados. Las etapas en las que se fusionan los elementos pesados son más y más cortas, por ejemplo la producción y fusión del Silicio dura solamente unos días a diferencia de la fusión del hidrógeno que dura miles de millones de años. La producción de Hierro indica el comienzo del fin. El núcleo de Hierro es el más estable de todos los elementos y cualquier reacción en la que intervenga absorbe energía en lugar de liberarla. La producción de energía en el núcleo se termina de manera inexorable. ¿Qué ocurre entonces?

Al cesar la producción de energía el núcleo de hierro se contrae. Lo que es sorprendente es la rapidez de la contracción. El núcleo inicial tiene un radio de aproximadamente 4000 Km. Pues bien, en menos de un segundo la parte central del núcleo, una tercera parte del mismo del tamaño de la Luna, se contrae en una esfera de aproximadamente 20 Km de radio. La energía liberada es inimaginable. ¿Cómo ocurre? La contracción del núcleo de hierro hace que aumente la temperatura, es decir, las partículas presentes, núcleos, electrones, fotones y otras se hacen muy energéticas. Cuando los fotones superan una cierta energía son capaces de fisiónar el hierro, lo cual absorbe energía y lo enfría. En segundo lugar los electrones presentes son capaces de reaccionar con los protones, produciendo neutrones más neutrinos electrónicos. A este proceso se le denomina "captura electrónica" y también absorbe energía (que el neutrino se lleva). El núcleo se enfría más y más rápidamente contrayéndose más y más rápidamente de manera implosiva.

Pero la implosión no continúa indefinidamente. El núcleo de la estrella se va convirtiendo en un gas de fermiones (partículas con spin fraccionario), en concreto, en neutrones, protones, electrones y neutrinos con una densidad enorme. La materia en esas condiciones tiene propiedades cuánticas a escala macroscópica. Debido a ellas la contracción se para bruscamente y se produce un rebote. Los detalles de lo que ocurre son complicados y algunos aún no entendidos. El rebote hace que se forme un frente de choque que se mueve hacia fuera de la estrella de manera relativamente lenta. Los neutrinos producidos son los que hacen que el frente se mueva hacia afuera. En esas condiciones de densidad extrema los neutrinos interaccionan muy a menudo, transfiriendo energía al material de la estrella que está cayendo hacia el centro. Es decir, los neutrinos son los que calientan a la estrella desde dentro, como en una olla a presión. El frente de choque sigue moviéndose hacia afuera y eventualmente explota, lanzando todo el exterior de la estrella hacia afuera. Es entonces cuando la estrella se convierte en Supernova. La mayoría de los elementos más pesados que el carbono, hasta el hierro,

existentes en el universo, se produjeron en la explosión de supernovas. Y prácticamente el 100% de los elementos más pesados que el hierro también se produjeron de esta manera. La frase "somos polvo de estrellas" es totalmente correcta.

¿Qué ocurre con el centro de la estrella, la esfera de 20 Km de radio enormemente densa? Lo que ocurre depende de nuevo de la masa inicial de la estrella. Para estrellas no muy masivas el centro se comprime y se neutroniza totalmente. Lo que se forma es una estrella de neutrones, que en general rota con una altísima velocidad, lo cual da lugar a campos magnéticos muy fuertes. La combinación de la rotación y el campo magnético hace que se generen ondas (generalmente en la zona del espectro correspondiente a las ondas de radio) en las direcciones N y S del campo, las cuales rotan en el espacio. Cuando en dicha rotación apuntan hacia nosotros somos capaces de detectarlas, de forma pulsada, de ahí el nombre de púlsares con que se conoce a estos objetos. Uno de los más estudiados es el de la Nebulosa del Cangrejo precisamente, el cual tiene una velocidad de rotación de trescientas veces por segundo. Los púlsares son relojes casi perfectos. El de la Nebulosa del Cangrejo se sabe que se está retrasando (como cabe esperar al perderse energía). Pero el retraso es de un segundo cada 10 millones de años!

Cuando la estrella original es muy masiva la implosión continúa indefinidamente y se forma un agujero negro, un objeto tan denso que ni siquiera la luz es capaz de escapar de su atracción gravitatoria. Se cree que en nuestra galaxia hay muchos de estos agujeros negros asociados a remanentes de supernovas.