

La estrella más masiva



¿CUAN GRANDE PUEDE SER UNA ESTRELLA? Para los astrónomos “más grande” puede interpretarse cómo “de mayor radio” o “de mayor masa”. El radio de una estrella varía a lo largo de su vida, pudiendo expandirse cientos de veces su valor original antes de morir. Las estrellas de mayor tamaño son las supergigantes rojas, que pueden alcanzar tamaños de varias unidades astronómicas (la distancia del Sol a la Tierra) antes de explotar como supernovas. Se trata de estrellas bastante masivas, entre diez y treinta veces la masa del Sol. No obstante, éstas no son las estrellas más masivas de todas. Existen estrellas mucho más masivas, y de ellas vamos a ocuparnos aquí.

En busca del récord

(y desenmascarando a los farsantes)

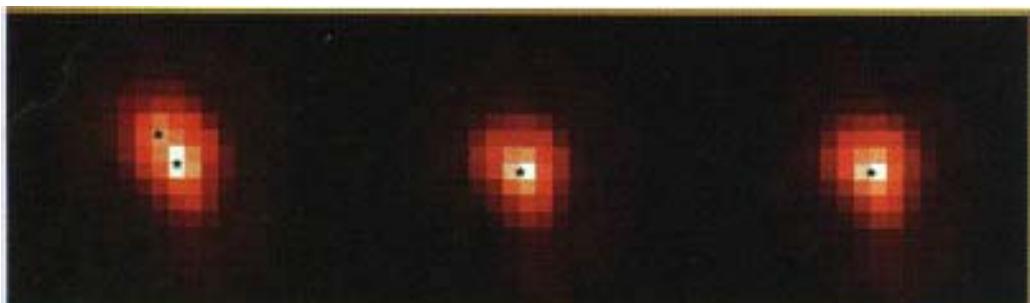
¿Cuál es el record de masa estelar?. Antes de responder a esta pregunta hemos de distinguir entre las masas medidas en forma directa (o masas keplerianas, obtenidas a partir de una órbita o de cambios en velocidad radial) y las medidas de forma indirecta (a partir de su posición en el diagrama HR o de un espectro de alta resolución).

Para las masas medidas de manera directa y, por tanto, las que ofrecen una mayor confianza, los dos objetos más masivos son las dos componentes WR 20a, con 83 ± 5 y 82 ± 5 masas solares respectivamente. Además, las dos componentes de WR 20a son estrellas de tipo WN6ha, que han perdido ya una parte sustancial de su masa debido a sus intensos vientos estelares. Por lo

tanto, los valores arriba indicados son sus masas actuales pero sus masas iniciales debieron haber sido aún mayores, quizás en torno a las 100 ó 120 masas solares*.

El número de masas medidas de manera indirecta es mayor que el de las directas, pero la historia del método de medición nos lleva a ser escépticos. El problema más grave que ha afectado a las masas indirectas elevadas es del de la multiplicidad no resuelta. Así, a principios de los 80 se propuso que R136a, el objeto situado en el centro de 30 Doradus, era una estrella supermasiva de 2.500 masas solares. Sin embargo, unos años más tarde se descubrió que dicha superestrella era en realidad un cúmulo compacto que, al ser observado con el Telescopio Espacial Hubble (HST), no contenía estrellas más masivas que 120-150 masas solares (en masa inicial).

Otro ejemplo de récord derribado por culpa de la multiplicidad es el de Pismis 24-1, el objeto central del cúmulo Pismis 24. A principios de este siglo, se estimó que su masa oscilaba entre 210 y 291 veces la del Sol. Observaciones más recientes obtenidas con el HST muestran Pismis 24-1 como dos fuentes puntuales claramente separadas, NE y SW. Además, una de las dos



A la izquierda se muestra una imagen de HD 93129A tomada con el HST en la que se aprecia la existencia de dos estrellas, cuyos centros se marcan con los símbolos negros. La imagen tiene solamente 530 milisegundos de arco de tamaño y la estructura compleja que se aprecia en ella es el producto de la óptica del telescopio y del detector. Se puede comparar la imagen con la que aparece en el centro, que muestra a HD 93129B, un objeto que, por lo que sabemos, consiste en una única estrella. La imagen del centro es prácticamente idéntica a la que se aprecia a la derecha, que es un modelo teórico (o PSF) de la apariencia de una fuente puntual observada a través de la óptica del telescopio y del detector. En todos los casos se usa una escala de intensidad logarítmica para incluir tanto las zonas brillantes como las débiles.

fuentes puntuales en las imágenes del HST es en realidad un sistema de dos estrellas, elevando el número total a tres. Las masas (una vez resuelto el sistema en tres componentes) resultan ser ~96, ~64 y ~64 masas solares, valores elevados pero muy inferiores a la estimación anterior. Un tercer ejemplo de objeto muy masivo recientemente resuelto en dos componentes es HD 93129A, con una masa estimada en 2002 de 127 veces la del nuestro Sol. Dos años más tarde se descubrió que en realidad HD 93129A está formado por dos objetos, uno dos veces y media más brillante que el otro. La masa total del sistema parece ser cercana a las 200 masas solares. La gravedad del problema de la multiplicidad oculta se manifiesta aún más claramente cuando nos damos cuenta de que Pismis 24-I y HD 93129A son dos de las candidatas al trono de los pesos pesados más cercanos al Sol, ya que se hallan solamente a unos 8000 años luz de nosotros. Para las candidatas situadas a mayor distancia, una misma separación física entre ellas se traduce en una menor separación angular en el cielo, lo que permite que los sistemas múltiples se enmascaren con mucha mayor facilidad. Para objetos extragalácticos la situación se puede volver desesperada. Por ejemplo, si colocáramos HD 93129A a la distancia de M33 (una galaxia del Grupo Local rica en estrellas masivas), no solo seríamos incapaces de distinguir sus dos componentes con el HST sino que incluso HD93129B (otra estrella muy masiva) se añadiría al conjunto y estaríamos confundiendo tres estrellas por una sola.

¿Con qué nos quedamos entonces como estrella más masiva?. En el caso de las dos componentes de WR 20a hay pocas dudas de que sus masas actuales están en torno a las 80 masas solares y de que sus masas iniciales debieron ser superiores en un 25%. En cuanto a las estrellas con mediciones indirectas, si tuviera que elegir un candidato a la estrella galáctica más masiva mi apuesta iría por Eta Carinae, con una masa de unas 150 veces la del Sol. A mediados del S XIX experimentó una gran erupción en la que expulsó en torno a diez masas solares (produciendo la gran nebulosa bipolar que se observa a su alrededor). Para que una estrella expulse esa cantidad de masa sin ser destruida y manteniendo una alta luminosidad es necesario que su masa inicial sea muy elevada.



La estrella Eta Carinae, con una masa de unas 150 veces la del Sol. A mediados del S XIX experimentó una gran erupción en la que expulsó en torno a diez masas solares (produciendo la actual nebulosa bipolar que se observa a su alrededor).

Mentiras, mentiras de las gordas y estadísticas

Buscar estrellas supermasivas en el entorno solar es difícil por varias razones: nuestro entorno inmediato (distancias de 5.000 años luz o menos) es relativamente pobre en regiones de formación estelar intensa, donde las estrellas más masivas suelen formarse. Por otro lado, observar a través del plano de la Galaxia puede inducir a confusiones en la medida de la distancia, lo que hace difícil derivar las propiedades de las estrellas. Finalmente, el plano de la Galaxia es rico en nubes de polvo que en unos casos esconden la estrella en luz visible y en otros introducen grandes incertidumbres en su estudio.

Ante estas circunstancias, los astrónomos recurren a los cúmulos masivos jóvenes, enormes agrupaciones de estrellas que combinan las mejores condiciones para la búsqueda de estrellas supermasivas (proximidad, escasez de nubes de polvo en la línea de visión, edad y número total de estrellas). Parte de los estudios se han centrado en 30 Doradus, un cúmulo situado en la Gran Nube de Magallanes (a una distancia de 165.000 años luz) y con una masa total en estrellas de unas 100.000 masas solares.

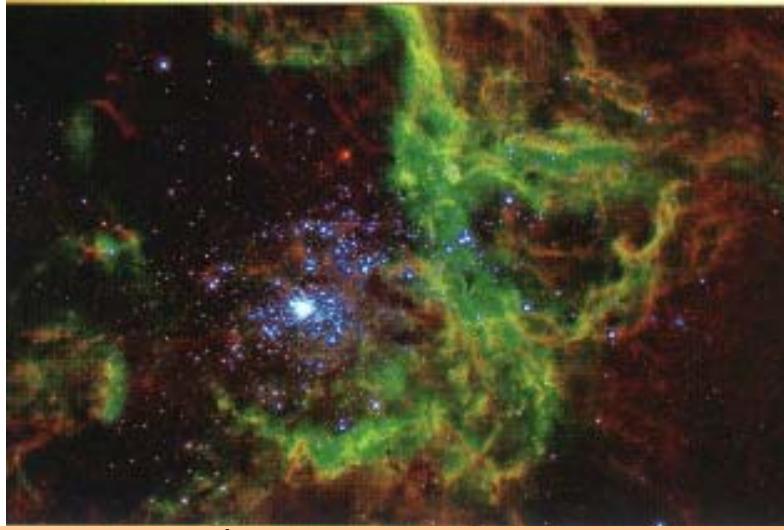
La ventaja de los cúmulos masivos jóvenes reside en que en ellos deben existir varias decenas de estrellas supermasivas (más masivas que 50 masas solares). Eso permite hacer estudios estadísticos y determinar no solamente cuál es la estrella más masiva en ese cúmulo sino cuál es la probabilidad de que se forme una estrella de una masa determinada (a dicha función los astrónomos la llaman la función inicial de masa o FIM). En concreto, la pregunta que nos interesa aquí es si la FIM se extiende hasta masas infinitas (aunque la probabilidad de formar una estrella de, por ejemplo, más de 1000 masas solares sea extraordinariamente baja) o si, por el contrario, existe un límite superior de masa a partir del que es imposible que se forme una estrella.

En 1998, Massey y Hunter usaron el HST para medir la FIM de 30 Doradus y encontraron que existían varias estrellas con masas entre 120 y 150 veces la del Sol (pero ninguna mayor) y que, aunque el cúmulo era rico en estrellas masivas, simplemente no era lo suficientemente grande como para que existieran estrellas de 200 o más masas solares. En otras palabras, sus resultados eran compatibles con que no existiera un límite superior de masa. Unos años más tarde, varios grupos de investigadores (Weidner y Kroupa 2004, Oey y Clarke 2005, Koen 2006) demostraron que en el estudio de 1998 el análisis estadístico fallaba y que los datos eran consistentes con un límite superior de masa cercano a las 150 masas solares (con un cierto colchón entre 120 y 200). 30 Doradus sí que es suficientemente grande como para tener estrellas más masivas si éstas pudieran formarse, y otro estudio similar realizado por Don Figer para el cúmulo de Arches demostró que éste se halla en las mismas circunstancias: tiene suficiente masa como para que hubiera estrellas de 300 masas solares pero no las hay. Por lo

tanto, en la actualidad los astrónomos observacionales piensan que en nuestra Galaxia y en las más cercanas existe un límite superior de masa que impide que se formen mastodones estelares.

El porqué del límite

La existencia de un límite superior de masa estelar en nuestro entorno sugiere dos preguntas: ¿Cuál es su causa?. ¿Es ese límite universal?. Para responder a la primera pregunta hemos de empezar por el mecanismo de formación de estrellas masivas. Las estrellas de baja masa se forman a partir del colapso gravitatorio de una nube de gas. La nube se aplana al contraerse y acaba formando un disco alrededor de la protoestrella. El material del disco es recogido lentamente por el objeto central, por lo que recibe el nombre de disco de acreción. El mecanismo para las estrellas de alta masa es menos claro y en la actualidad existen dos alternativas: discos de acreción y colisiones estelares. El primer mecanismo es una modificación del de las estrellas de masa baja que tiene en cuenta las condiciones específicas de las estrellas de masa elevada, especialmente el cómo vencer los problemas derivados del límite de Eddington. Este límite establece que una estrella demasiado luminosa ejerce tanta presión de radiación sobre sus capas externas que se vuelve inestable y supone una limitación para la tasa de acreción de masa en torno a una estrella masiva. El segundo mecanismo, las condiciones estelares entre (proto)estrellas de menor masa, implica que las estrellas de alta masa no se pueden formar directamente sino a partir de objetos preexistentes. Las simulaciones por ordenador indican que las colisiones se producirían únicamente en cúmulos estelares muy masivos y muy densos. Los dos mecanismos dan explicaciones distintas para un posible límite superior de masa. Si las estrellas masivas se forman por discos de acreción, una masa máxima podría existir debido al límite de Eddington, que impediría que estrellas de, por ejemplo, 200 masa solares se formaran por el efecto de la presión de radiación (o, si se formaran por accidente, se disgregarían de manera casi inmediata). Si, por el contrario, las estrellas masivas se formaran por medio de colisiones, el límite superior dependería del número de éstas y sería mayor cuanto más denso fuera el cúmulo donde se forman las estrellas.



30 Doradus, un cúmulo situado en la Gran Nube de Magallanes que contiene con una masa total en estrellas de unas 100.000 masas solares.
Fuente: HST

La existencia de un límite superior de masa estelar sugiere dos preguntas: ¿Cuál es su causa? ¿Es este límite universal?

¿Cuál de los dos mecanismos de formación de estrellas masivas es el correcto?. Hoy en día no existe una respuesta definitiva e incluso podría resultar que los dos presentaran un papel importante. Los indicios observacionales existentes, no obstante, parecen favorecer a los discos

de acreción como mecanismo predominante. Así, como vimos con anterioridad, Pismis 24 es un cúmulo con varias estrellas supermasivas (además de las tres componentes de Pismis 24-1, otra estrella, Pismis 24-17, ronda las 100 masas solares) y es un cúmulo de tamaño mediano y no especialmente denso. Si el mecanismo dominante para la formación de estrellas masivas fueran las colisiones estelares no esperaríamos ver tantas estrellas supermasivas en Pismis 24. Otro ejemplo a favor de la formación de estrellas masivas por discos de acreción es NGC 604, un cúmulo muy poco denso (tan poco que, de hecho, no parece ser un cúmulo propiamente dicho, esto es, un objeto ligado gravitacionalmente) y sin un núcleo definido pero tan masivo como 30 Doradus. Ngc 604 aparenta haberse formado con un número similar de estrellas supermasivas al de 30 Doradus, lo que no debería haber ocurrido de haberse formado por colisiones estelares. Por lo tanto, aún a falta de una respuesta definitiva, el límite de Eddington parece ser el responsable más probable de la existencia de un límite superior de masa en nuestro entorno. Otro asunto distinto es la situación para las primeras generaciones de estrellas que se formaron en el Universo. Dichas estrellas eran extremadamente pobres en metales, lo que tiene una consecuencia importante para el límite superior de masa. A menos metales, menor absorción de la radiación en la atmósfera de una estrella y, por lo tanto, menor presión y resistencia a la acreción de material y menor efecto de posterior disgregación por vientos estelares. Por lo tanto, es posible que las primeras estrellas sí que fueran extremadamente masivas y superaran los varios cientos de masas solares.

Este artículo se publica en el número 22, junio de 2007, de la revista *Información y Actualidad Astronómica*, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC

