

Estela M Reynoso

Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE),  
UBA-Conicet

# Muere una estrella

Cuando el 20 de septiembre de 2016 Víctor Buso, un aficionado a la astronomía de la ciudad de Rosario – cerrajero de profesión –, decidió probar su flamante cámara fotográfica, no imaginaba que estaba por dejar su huella en la historia. Ese día, subió al observatorio que él mismo había construido en la terraza de su casa, adosó la cámara a su telescopio y apuntó a la galaxia NGC613, que esa noche estaba cerca del cenit. Una primera serie de fotos le demostró que había hecho una buena compra. Quiso la suerte que en vez de darse por satisfecho o probar la cámara apuntando hacia otro objeto celeste, volviera a fotografiar la misma galaxia. Y fue esa segunda seguidilla de fotos la que entró en los anales de la astronomía: había capturado una supernova en el momento de su aparición.

## ¿Qué es una supernova?

La vida de las estrellas es una batalla constante contra la gravedad: mientras esta fuerza impulsa la materia

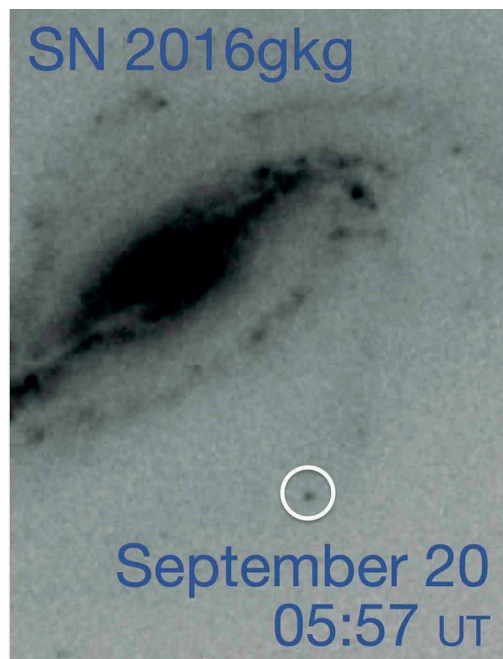
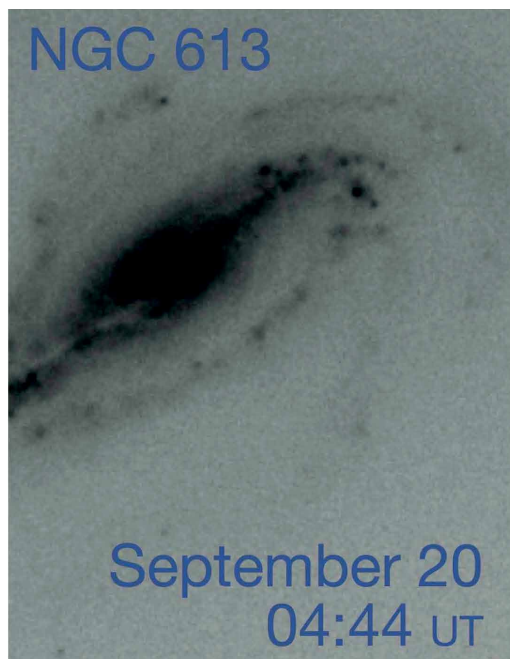
desde el exterior de la estrella hacia su centro, el aumento de presión en el interior incrementa la temperatura y desencadena reacciones nucleares. La energía liberada en tales reacciones contrarresta la fuerza de gravedad y evita el colapso. Es decir, la propia materia que compone una estrella es el combustible que la mantiene viva. Sin embargo, cuando la masa inicial de la estrella supera un valor crítico (típicamente, unas ocho veces la masa del Sol), la batalla inevitablemente se pierde.

A medida que la estrella consume su combustible, va transformando su material en elementos cada vez más pesados. Estos se acomodan en capas, de manera análoga a las de una cebolla, con los más livianos en las capas externas y los más pesados adentro. Cuanto mayor es la masa de la estrella, más pesados son los elementos que se producen en su núcleo. Finalmente, el silicio se transforma en hierro y níquel, que son elementos sumamente estables y no reaccionan. Disminuyen entonces las reacciones nucleares que mantenían en equilibrio a la estrella, y en ese momento esta pierde la fuente de energía que la sostenía.

Cuando la masa inicial de la estrella supera el valor crítico, la presión gravitacional sobre el núcleo estelar

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Qué observó en el cielo nocturno un rosarino aficionado a la astronomía y por qué su observación causó gran revuelo, recogido por los medios, entre los astrónomos profesionales.



La aparición de una supernova. Fotografías de la galaxia NGC613 tomadas en Rosario el 20 de septiembre de 2016 por el astrónomo aficionado Víctor Buso. En la de la derecha se marca una anomalía, ausente en la de la izquierda (tomada un poco más de una hora antes) y advertida por su ojo experto. Resultó ser una supernova que terminó llamándose 2016gkg.

acaba tornándose incontenible, lo que provoca su colapso al cabo de algunos días. En este rápido colapso los núcleos atómicos absorben fotones de muy alta energía y luego decaen emitiendo partículas subatómicas, como neutrones, en un proceso llamado *fotodesintegración*. Asimismo, los electrones del gas de la estrella se ven empujados hacia los núcleos atómicos y, reaccionando con los protones, generan gran cantidad de neutrones, fenómeno llamado *captura electrónica*. La combinación de estos dos procesos convierte al núcleo de la estrella en una masa de neutrones de altísima densidad y, al mismo tiempo, se genera una avalancha de neutrinos que en pocos segundos escapan hacia el exterior transportando gran parte de la energía del colapso.

La rápida contracción del núcleo estelar crea una especie de vacío entre este y el resto de la estrella; en esa contracción, las capas más externas del núcleo se encuentran en su caída con la avalancha de neutrinos que se dirige en sentido contrario y rebotan hacia afuera en una violenta explosión conocida como *supernova*. El colapso del núcleo puede eventualmente detenerse y formar una *estrella de neutrones*, o puede agudizarse y terminar su vida como un *agujero negro*.

Simular numéricamente la explosión constituye uno de los mayores desafíos que enfrentan los astrónomos y los físicos, pues cuando intentan hacerlo descubren que la energía del *rebote* no resulta suficiente para que la materia se escape de la estrella. Por ello, para poder modelar efectivamente la explosión se ha imaginado una serie de ingredientes adicionales, como la existencia de inestabilidades o de turbulencia por convección, el posible apartamiento del objeto colapsante de la simetría esfé-

rica, o incluso alguna inyección extra de energía en el frente de choque saliente, que en general es atribuida a los neutrinos.

En ausencia de esos procesos físicos adicionales, la teoría predice que el material estelar volverá a caer hacia el núcleo y la estrella pasará a integrar la lista de las *supernovas fallidas*, estrellas que, sin explotar, se transforman directamente en agujeros negros. Se sospecha que en esta categoría se sitúan aquellas estrellas que desaparecen misteriosamente, como se advierte cuando se compara imágenes del cielo que datan de distintas épocas. Los astrónomos estiman que el 30% de las estrellas con mayor masa terminará como supernovas fallidas.

¿Qué sucede con las estrellas cuya masa está por debajo de la masa crítica? La presión que soportan sus núcleos nunca llega a ser tan alta como para hacerlos colapsar y, si están aisladas, acaban sus vidas como cuerpos inertes llamados *enanas blancas*. Si vivieron ligadas gravitacionalmente con una segunda estrella, les queda una etapa más que atravesar. La compañera perderá temperatura a medida que evoluciona y envejece, y se extenderá hasta ocupar varias veces su volumen inicial, convertida en una *gigante roja*. Este es el futuro previsto para nuestro Sol, el que probablemente llegue a extenderse hasta más allá de la órbita de la Tierra. Cuando la capa más externa de la gigante roja alcanza el punto en el que la atracción gravitacional propia es menor que la de la enana blanca vecina, comienza a caer sobre esta última y le hace perder la estabilidad que había alcanzado. La enana blanca debe soportar entonces una presión cada vez más alta, hasta que la temperatura de su núcleo de carbono aumenta tanto que provoca su ignición. Esto origina una onda de

deflagración que, en pocos segundos, causa que la estrella estalle en una detonación supersónica. Como resultado, no queda nada de la estrella, salvo una masa de gas y polvo que se expande a la velocidad de unos 10.000 km por segundo. Estas supernovas se llaman de tipo Ia. En las últimas décadas, además, se definió una variante adicional: las supernovas *la doblemente degeneradas*, que se producen por la colisión entre dos enanas blancas.

## Una supernova única en la historia

Para comprender por qué la supernova observada desde Rosario es única, debemos remontarnos al descubrimiento de este tipo de fenómenos. Cuando estalla una supernova, la luminosidad que alcanza puede ser hasta 100.000 veces mayor que la de la estrella original. En ocasiones, el brillo es comparable al de la propia galaxia que la contiene.

Antes de que existiera registro fotográfico del cielo, el reconocimiento de lo que antaño se solía considerar una nueva estrella —pues el concepto de supernova tiene menos de un siglo— dependía de la memoria visual de los observadores del cielo. Aun hoy los astrónomos aficionados suelen reconocer las supernovas simplemente por la imagen del cielo que tienen en la mente. Tal fue el caso del ingeniero Oscar Duhalde, quien el 23 de febrero de 1987, estando en el observatorio chileno Las Campanas, miró al cielo y descubrió a simple vista una supernova en la Gran Nube de Magallanes.

Existen evidencias históricas en distintas culturas sobre el avistamiento de nuevas estrellas que —hoy creemos— fueron supernovas acaecidas en nuestra galaxia. Ocurrieron en los años 185, 1006, 1054 (cuando se formó la que hoy llamamos *nebulosa del Cangrejo*) y 1181. Se las llama *supernovas históricas*. Tycho Brahe, el maestro de Kepler, tuvo la fortuna de ver una supernova en 1572, tres décadas antes de que Kepler también avistara una en 1604.

El telescopio de Galileo data de 1609, unos cinco años después de la supernova de Kepler, después de la cual no se vio otra en nuestra galaxia, aunque se estima que una se produjo alrededor de 1680, pero una densa nube molecular de gas y polvo, de las que abundan en el espacio interestelar, absorbió su luz y privó a la humanidad del espectáculo.

Con las técnicas actuales de detección, se tornó habitual encontrar supernovas en otras galaxias, algo a lo que contribuyeron en forma fundamental los astrónomos aficionados. La manera más eficiente de encontrar supernovas es comparar imágenes del cielo. A lo largo de 1987, después de la mencionada supernova descubierta en la nube de Magallanes, se encontró una veintena más.

Solo diez años después, en 1997, se llegó a descubrir cerca de doscientas.

Desde hace un par de décadas, varios programas (entre ellos el All Sky Automated Survey for Supernovae, ASASSN) están realizando búsquedas robóticas, con el resultado de que se hallan algunos cientos de ellas por año. Cuando al cabo de algún tiempo el brillo de la supernova desaparece, puede identificarse exactamente cuál estrella falta, una información crucial para comparar las características que tenía la estrella que explotó con lo que postulan los modelos teóricos.

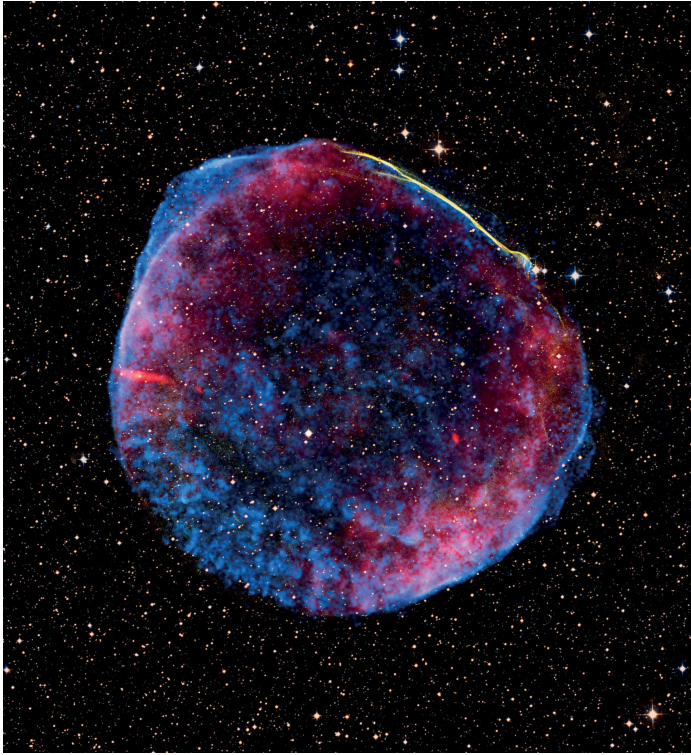
Así, se acumuló mucha evidencia de que las supernovas de tipo Ib, producidas por el colapso gravitatorio de un núcleo estelar con poco hidrógeno y abundante helio, provienen del estallido de estrellas supergigantes amarillas que, muy probablemente, formaron parte de sistemas binarios interactuantes. Justamente, la supernova descubierta en Rosario, denominada 2016gkg y alejada unos 80 millones de años luz de la Tierra, pertenece a esta clase.

Los lugares y momentos en que ocurren los estallidos de supernovas son impredecibles. Por eso, encontrarlas es una empresa basada principalmente en el azar. Los programas de búsqueda robótica, si bien aumentan las probabilidades de éxito, solo revelan lo ocurrido cierto tiempo después del acontecimiento (o, más precisamente, después de que la luz del acontecimiento llegue a la Tierra). Observar los primeros instantes de la explosión es una aspiración normalmente insatisfecha, que se cumplió por primera vez en 2016, cuando Buso advirtió el nacimiento de una supernova, tal vez no desde el primer minuto, pero sí dentro de las primeras tres horas, según calculan los científicos. Esta es la máxima precisión que permiten las limitaciones experimentales inherentes a la técnica observacional, pues la luz de la supernova debe superar el umbral impuesto por la sensibilidad de la fotografía.

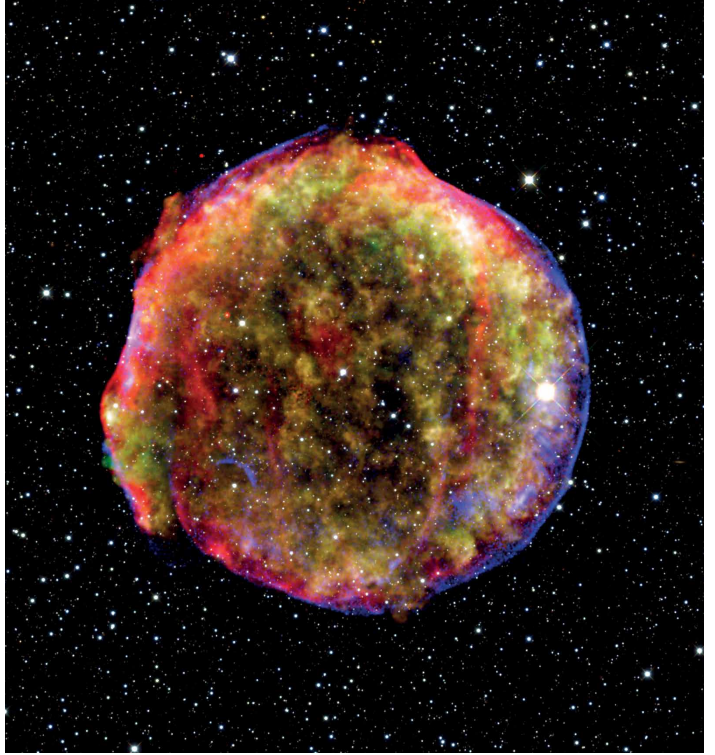
Las probabilidades de que algo así se repita en el futuro son ínfimas. Gracias a su ojo entrenado, Buso supo inmediatamente que un extraño pixel cuyo brillo se destacaba tímidamente del resto era algo importante, y lo fotografió profusamente. Con sus fotografías pudo determinarse cuán rápido aumentaba la intensidad de la luz de la supernova durante los primeros minutos, cuando el material del núcleo atravesaba a velocidad supersónica la capa más externa de la estrella.

En colaboración con astrónomos aficionados y profesionales, Buso dio la alerta internacional para que observatorios de todo el mundo apuntaran a la naciente supernova. Melina Bersten, de la Universidad Nacional de La Plata, lideró un equipo internacional que investigó el fenómeno y publicó sus conclusiones en febrero de este año en la revista *Nature*. El artículo expone una

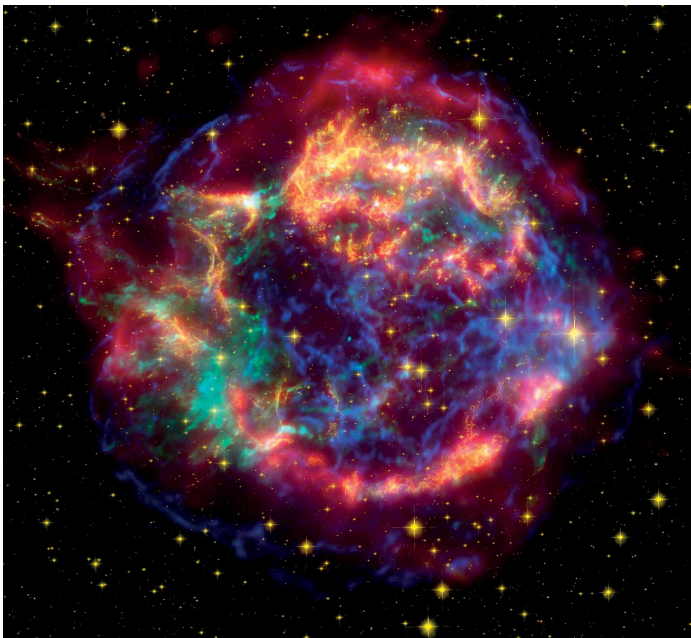




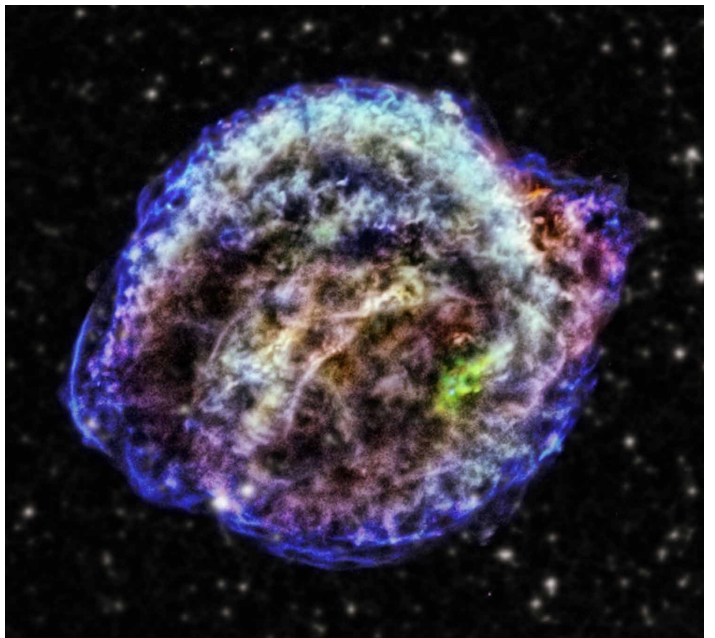
Remanente actual de la supernova histórica de 1006. La imagen superpone rayos X, luz visible y ondas de radio. Fuente NASA/CXC/Rutgers/G Cassam-Chenaï, J Hughes *et al.*; NRAO/AUI/NSF/GBT/VLA/Dyer, Maddalena & Cornwell; Middlebury College/F Winkler, NOAO/AURA/NSF/CTIO Schmidt & DSS.



Remanente actual de la supernova vista por Tycho Brahe en 1572. La imagen superpone luz visible, radiación infrarroja y rayos X. Fuente NASA/CXC/SAO, NASA/JPL-Caltech, y MPIA, Calar Alto, O Krause *et al.*



Remanente actual de la supernova Casiopeia A que estimativamente ocurrió hacia 1680. La imagen superpone luz visible (telescopio Hubble), radiación infrarroja (telescopio Spitzer) y rayos X (observatorio Chandra). Fuente NASA/JPL-Caltech/STScI/CXC/SAO



Remanente actual de la supernova vista por Kepler en 1604. La imagen superpone luz visible y rayos X. Fuente NASA/CXC/NCSU/ M Burkey *et al.* y DSS.

sólida teoría que explica naturalmente los datos obtenidos por Buso.

## ¿Qué viene después?

Una supernova se percibe como una estrella nueva en el firmamento. Con el tiempo, se apaga definitivamente. Pero el cielo está poblado de fuentes que emiten energía en distintas frecuencias del espectro electromagnético, la mayoría invisibles al ojo humano, y en ese reino los restos de las supernovas son protagonistas indiscutidos.

Al encenderse la luz de una supernova, también se enciende un foco de rayos X debido a sus altas temperaturas, un foco de rayos infrarrojos por las partículas de polvo caliente que se aglomeran en el material expulsado, y un foco de ondas de radio por la liberación de electrones a altísimas velocidades que giran en torno a líneas de campo magnético. Cuando su luz visible ha decaído al mínimo, las ondas de radio y de rayos X siguen brillando con fuerza.

A su vez, el material despedido por la estrella forma una cáscara que se expande rápidamente, y a su paso, como una topadora cósmica, va incorporando el tenue gas que llena el espacio galáctico. Al cabo de un siglo o poco más, la masa atrapada en esa cáscara resulta tanta como la original expelida por la estrella. Entonces ya no se habla de una supernova sino de sus restos, o de su *remanente*, que durante varios siglos más continúa expandiéndose casi sin perder energía.

El gas en el interior de la cáscara está a una temperatura de un millón de grados, la misma que posee la corona solar. En esta etapa se encuentran hoy las supernovas históricas. La de 1006, por ejemplo, que fue la más brillante observada antes del telescopio, hoy es una fuente circular que emite rayos X y ondas de radio, y se proyecta en el cielo con un diámetro igual al de la Luna llena.

Con el paso de los siglos, cuando las pérdidas de energía de los remanentes de supernova se tornan importantes, comienza la penúltima fase, que dura varios milenios más. Y finalmente, al cabo de varios cientos de miles de años, los remanentes pierden toda su energía y alcanzan la muerte definitiva.

Si bien las supernovas marcan el final de la vida de las estrellas, constituyen el inicio de otros fenómenos. Cada núcleo estelar que sobrevive como estrellas de neutrones queda girando a velocidades vertiginosas y emite un haz de ondas de radio que, si viene hacia nosotros, se percibe como un faro que se prende y apaga en fracciones de segundo. Estos objetos se conocen como *pulsares* y, en casos excepcionales, también emiten rayos X y gamma.

Los remanentes de supernova generan un verdadero cúmulo de fenómenos astrofísicos. En sus frentes de choque se aceleran los rayos cósmicos, partículas de altísima energía que permean el espacio interestelar. Muchas veces, en su avance, esos frentes de choque colisionan con nubes de gas y polvo de la galaxia, y pueden desintegrarlas o provocar turbulencias. Estas generan centros de acumulación de materia: cuanta más masa acumulan, mayor será su atracción gravitatoria y, en consecuencia, atraerán más masa. Cuando al cabo de más de un millón de años toda esa masa atrapada arribe al tamaño crítico, la presión y la temperatura alcanzadas desatarán reacciones nucleares que marcarán el nacimiento de una nueva estrella, y se cerrará un ciclo en la ecología cósmica.

Sabemos que no es posible ver el nacimiento de una estrella, pues el denso entorno de gas y polvo en que está inmersa absorbe su primera luz. Pero por primera vez se pudo ver el instante exacto de su muerte o, dicho de modo positivo, el instante exacto del nacimiento de una supernova. Para los astrónomos fue como obtener, no una pieza difícil de la colección de fenómenos cósmicos, sino la imposible. **CH**

### LECTURAS SUGERIDAS

**BERSTEN MC et al.**, 2018, 'A surge of light at the birth of a supernova', *Nature*, 554, 7693: 497-499.

**GIACANI E y DUBNER G**, 2009, 'Supernovas: el fin catastrófico de una vida estelar', *CIENCIA Hoy*, 110: 8-15.

**HAMUY M y MAZA J**, 2008, *Supernovas. El explosivo final de una estrella*, Ediciones B.

**KIRSHNER RP**, 2006, *El universo extravagante: estrellas explosivas, energía oscura y cosmos acelerado*, Siruela, Madrid.

**MARSCHALL L**, 1991, *La historia de la supernova*, Gedisa, Buenos Aires.



**Estela M Reynoso**

Doctora en física, Universidad Nacional de Rosario.

Investigadora independiente del Conicet en el IAFE.