





¡Bang!

Explosiones cósmicas:

Los fenómenos más violentos del universo

Juan Camilo Buitrago Casas
Santiago Vargas Domínguez

¡Bang! Explosiones cósmicas: los fenómenos más violentos del universo

Juan Camilo
Buitrago Casas
M. Sc. Investigador del
Space Sciences Laboratory,
Estados Unidos
milo@ssl.berkeley.edu

Santiago Vargas
Domínguez
Ph. D. Investigador del
Big Bear Solar Observatory,
Estados Unidos
svargas@bbsso.njit.edu

El inicio de este año se vio exaltado por la aparición de tres nuevas supernovas en nuestro cielo, que les dieron un tinte explosivo a las efemérides de un año astronómico que prometía ser corriente. Las supernovas son fenómenos astronómicos que ocurren con alta regularidad y que en la actualidad se han convertido en una herramienta fundamental para la ciencia a la hora de explorar los confines más recónditos del universo, así como de ampliar nuestro entendimiento de la vida, evolución y muerte de las estrellas.

El mundo moderno ha puesto en nuestras manos una serie de nuevas tecnologías que nos permiten, como nunca antes, escudriñar los eventos explosivos más increíbles de los que la humanidad tenga memoria. Muy probablemente, entre las primeras imágenes que se nos vienen a la mente cuando escuchamos la palabra *explosión* aparece uno de esos hongos asociados al estallido de una bomba nuclear. Dado el contexto actual de nuestra sociedad, es apenas natural que este tipo de fenómenos nos causen algo de escozor e intranquilidad, pues por lo regular se asocian con armas muy potentes y la posibilidad de nuestro exterminio total. Sin embargo, las explosiones más extraordinarias que hemos podido presenciar en las últimas décadas en nuestro planeta, o que podamos imaginar, en absoluto se comparan con aquellas que ocurren en todos los rincones del cosmos, incluso desde el momento mismo en el que, según se cree, el universo fue engendrado. Las explosiones cósmicas ocurren en todo momento y en todas partes. Una de las más extraordinarias de las que se tenga registro, ocurrida fuera de nuestro planeta, fue observada hace casi mil años.



Figura 1. Supernova SN1987a, observada a comienzos de 1987, es una de las explosiones más intensas que se han detectado desde la invención del telescopio hace 400 años. Representación artística de la compleja estructura del remanente de supernova (izquierda) y una imagen tomada por el telescopio espacial Hubble.
Fuente: ESA/Hubble.

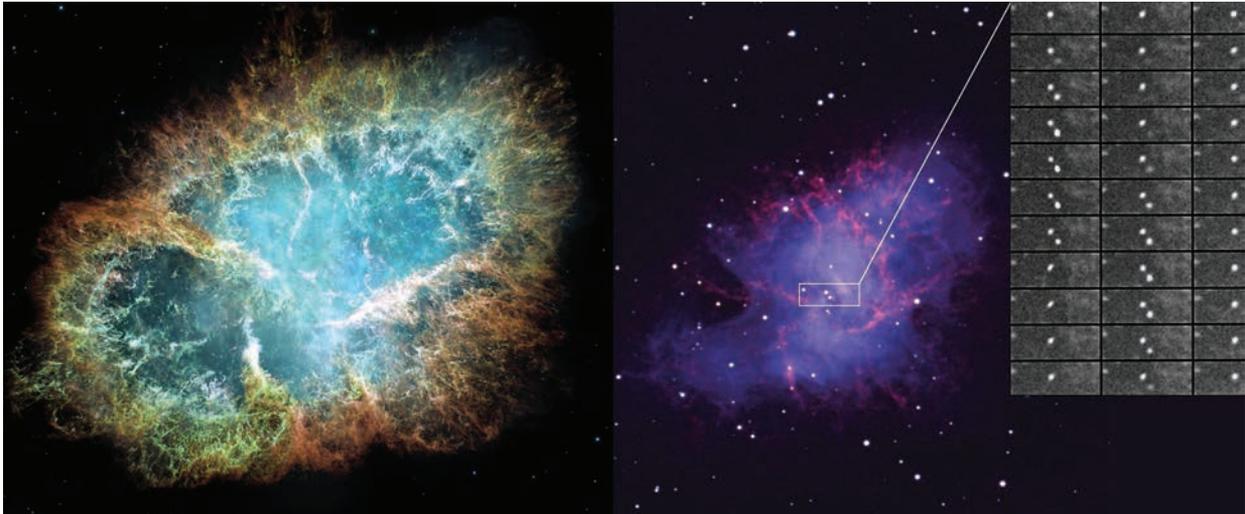


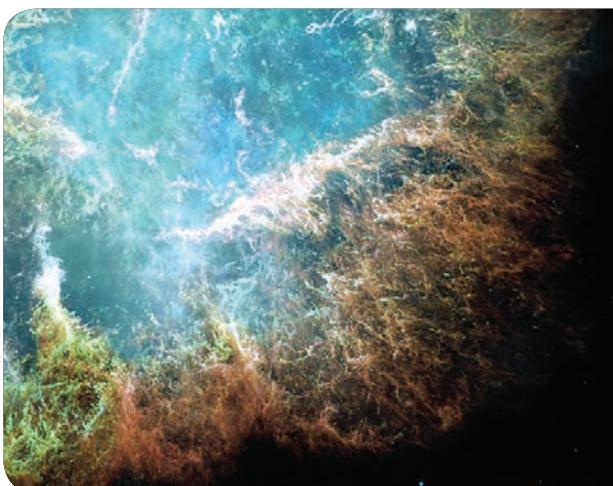
Figura 2. Imagen de la nebulosa del Cangrejo tomada por el telescopio espacial Hubble (izquierda). En el centro de la nebulosa se encuentra una pareja de estrellas, una de las cuales es un pulsar o estrella pulsante (derecha). Fuente ESA/Hubble.

Transcurría un verano normal y tranquilo en el hemisferio norte de la Tierra, en el año 1054, cuando la pasividad del firmamento se vio alterada por la aparición de una luz nueva que por su intensidad no podía pasar desapercibida. Ese nuevo astro brillaba tan intensamente en las noches como ninguna otra estrella lo había hecho hasta entonces, y durante el día ni el alto brillo de nuestra estrella, el Sol, conseguía ensombrecer su rutilancia. Los astrónomos chinos, asiduos observadores del cielo, les dieron un nombre a los astros de este tipo que aparecían temporalmente en el cielo: los catalogaron como “estrellas invitadas”.

Tuvo que completarse casi todo ese milenio hasta que, a comienzos del siglo XX, se pudiera responder a las preguntas que seguramente desvelaron a más de un habitante de la tierra de ese entonces: ¿Qué era realmente esa reluciente *estrella invitada* que se pudo contemplar a simple vista durante 23 días y fue visible durante unas 650 noches en el firmamento? ¿Por

qué dejó de brillar de un momento a otro? ¿Cuáles serían las consecuencias de tal evento para nuestro planeta?

Según algunos registros históricos, ese estallido fue visto no solo por los chinos, sino que culturas como la árabe, e incluso algunos pueblos indígenas americanos, como los anasazis, dejaron evidencia de su asombro en símbolos asociados a sus propias cosmogonías. Si esta noche apuntáramos unos binoculares o un telescopio sencillo hacia la misma región del cielo en donde apareció esa estrella en el año 1054, seguramente podríamos ver los restos de una explosión, una gran explosión que hizo que una estrella “nueva” apareciera en el firmamento. A este tipo de eventos hoy en día se les conoce con el nombre técnico de *supernovas*; sin embargo, realmente no representan el nacimiento de nuevas estrellas, sino que, por el contrario, corresponden a estadios últimos de su existencia. Los restos de la supernova del año 1054 (en la nomenclatura científica, este es conocido



La nebulosa del Cangrejo ha sido uno de los objetos más estudiados, y hay gran cantidad de historias sobre ella. Cuando en 1758 el astrónomo francés Charles Messier esperaba el regreso del cometa Halley, confundió la nebulosa del Cangrejo con el cometa, ya que ignoraba su existencia. En ese momento se propuso realizar un catálogo de objetos nebulosos no cometarios, con el fin de evitar errores del mismo tipo en el futuro. Hoy conocemos esa lista de 110 objetos astronómicos como el *Catálogo Messier*, cuyo primer elemento es la nebulosa del Cangrejo, que aparece con la referencia M1.



Figura 3. Galaxia M82, que contiene la recientemente observada supernova SN2014J.
Fuente: Steve Fossey.



Figura 4. Petroglifo en Pueblo Bonito, cañón del Chaco, hecho por la antigua cultura anasazi, que posiblemente representa la supernova vista el año 1054.
Fuente: Chaco Canyon National Historical Park Gallery, <http://www.jjacobs.net/southwest/chaco.html>.

como el *evento SN1054*) forman una gigantesca nube de gases de helio, hidrógeno ionizado, carbono, oxígeno, nitrógeno, hierro, neón y azufre, principalmente, que se extiende a lo largo de unos 13 años luz de distancia, esto es, un poco más de 50 millones de veces la distancia que hay entre el Sol y la Tierra.

A partir de observaciones modernas se ha podido establecer que la nebulosa del Cangrejo —como en la actualidad se conoce al SN1054, debido a su forma— se expande a una velocidad de unos 1.500 kilómetros por segundo, y que en su centro hospeda dos estrellas débiles en brillo que resultaron de la explosión de la estrella progenitora. Realmente, la explosión tuvo lugar unos 6.500 años antes de que nuestros antepasados pudieran avistar su aparición en la bóveda celeste, y este es justamente el tiempo que tardó la luz en viajar desde la supernova hasta nuestro planeta. Una de las estrellas centrales corresponde a una pulsante, o pulsar, cuyo nombre describe un cuerpo astronómico “exótico” conocido como *estrella de neutrones*, que emite pulsos de radiación en sincronía con su rotación, como si se tratara de un gigantesco faro cósmico. La primera señal de un pulsar fue detectada por una estudiante de doctorado en 1967. Inicialmente Jocelyn Bell y su director de tesis, Antony Hewish pensaron que estas señales extremadamente regulares provenían de alguna civilización extraterrestre. Una búsqueda más exhaustiva mostró que eran algo relativamente común y consecuencia de fenómenos físicos de la naturaleza. Hewish recibió el Premio Nobel de Física en 1974, y su estudiante, quien advirtió sobre la señal, se quedaría sin la condecoración. Técnicamente, el pulsar de la nebulosa del Cangrejo se denomina *PSR0531+121*, y rota con un período de tan solo 0,033 segundos.

El universo engloba una gran cantidad de enigmas, muchos de los cuales pueden ser abordados mediante un estudio riguroso de la astronomía. La astronomía, que usa como herramienta principal la luz que nos llega desde lugares recónditos del cos-

mos, es una ciencia milenaria que ha sido parte esencial de nuestra cultura, reflejo de la curiosidad inherente al ser humano y del deseo de conocer nuestro entorno; posiblemente ella sea el intento más audaz que hemos emprendido para comprender el sitio en el que vivimos. La calma y serenidad que nos transmite una noche estrellada, mientras observamos las maravillas que nos rodean, contrasta con un universo tremendamente violento y en incesante transformación. Eventos que conducen a la muerte de una estrella son esenciales para la formación y evolución del cosmos, y, aunque pudiera parecer que no hay relación alguna entre ellos y nosotros, de ellos depende, por ejemplo, que por nuestras venas corran grandes cantidades de hierro. Así es: el hierro que se forma por procesos de fusión cuando una estrella agonizante lucha por no morir, y los elementos más pesados, que son creados en las explosiones de supernovas, son constituyentes químicos esenciales de nuestro planeta. Después de todo, la frase “estamos hechos de polvo de estrellas” es más literal de lo que pudiéramos pensar.

Sin embargo, no todas las estrellas mueren en forma de supernova. Por ejemplo, nuestro Sol no terminará su existencia de manera tan violenta. Esto se debe a que la masa de la estrella es un factor crucial para determinar qué tipo de evolución tendrá en el ocaso de su vida. Una estrella de más de 10 masas solares finaliza su existencia con uno de los espectáculos más brillantes y poderosos que ocurren en el universo, mientras que estrellas de tipo solar terminan como pequeñas estrellas enanas blancas, rodeadas de una envoltura brillante de plasma y gas ionizado, a lo que se conoce como *nebulosa planetaria*.

La formación de una supernova también puede abarcar otros posibles escenarios. Se ha mencionado el que se relaciona con la muerte explosiva de una estrella masiva cuando ya no puede generar reacciones termonucleares en su núcleo y finalmente colapsa, produciendo en ese proceso una gran liberación de

energía, comúnmente conocido como *supernova de tipo II*. Otro medio de generación de supernovas, las del tipo I, que son aún más espectaculares y brillantes, ocurre en sistemas binarios, o sea, de dos estrellas. Estos eventos, sumamente violentos, pueden suceder cuando una estrella enana blanca que ya está apagada, es decir, que no genera energía en su núcleo, recibe suficiente masa de su compañera hasta que supera el límite de máxima masa posible para una estrella fría estable, margen conocido como *límite de Chandrasekar*, y que equivale a 1,44 masas solares. Producto de ello, experimenta una fusión instantánea de todo su núcleo, que hace que expulse prácticamente todo el material que la formaba.

Mediante el análisis de la luz que colectan los cuerpos celestes, los astrónomos son capaces de inferir su composición y propiedades físicas. Una forma de analizar esta luz es mediante su descomposición espectral, es decir detenernos a observar la cantidad de luz que el objeto emite en función de la longitud de onda de su radiación. En el caso de las supernovas, la presencia o ausencia de líneas espectrales del hidrógeno, helio y silicio, principalmente, nos permite diferenciar entre algunas fenomenologías diferentes. En particular, para la astrometría, rama de la astronomía encargada de las medidas de distancia a nivel cósmico, unas supernovas llamadas de tipo Ia son de importancia vital. Este tipo de supernovas se caracterizan, entre otras cosas, por tener una luminosidad intrínseca que se conoce bien, por lo que suelen ser usadas como parámetros estándar a la hora de calcular distancias a grandes escalas del universo. A través de medidas que involucran el uso de supernovas tipo Ia como candelas estándar es que se ha podido llegar a la conjetura de que el universo se está expandiendo (como ya lo había confirmado con sus trabajos uno de los cosmólogos más importantes del siglo XX, Edwin Hubble, en 1929) pero que lo hace de forma acelerada. En 2011 tres científicos estadounidenses fueron galardonados con el premio nobel de Física por “el descubrimiento de la expansión acelerada del universo a partir de observación de decenas de supernovas distantes”. Tal aceleración solo puede ser explicada si se considera que la dinámica del universo está dominada por una energía oscura que hasta ahora es un concepto enigmático para la ciencia.

Las supernovas contribuyen a enriquecer el medio interestelar con elementos pesados. Generación tras generación de supernovas, la cantidad de esos elementos aumenta, y esto tiene efectos sobre la evolución estelar e incluso sobre la posibilidad de que la vida surja en otros planetas. ¿Cómo es posible que una explosión de esas dimensiones pueda tener efectos positivos a la hora de potenciar la vida? La respuesta es que los sistemas estelares con mayor cantidad de elementos pesados (los astrofísicos los llaman *alta metalicidad*) tienen más probabilidad de formar planetas, y al aumentar su número, hay más opciones de que en alguno de ellos se den las condiciones óptimas para albergar vida. Las ondas de la explosión pueden alcanzar también otras nubes de gas y polvo en su camino, y comprimir las,



A continuación algunos datos a cerca de estas explosiones cósmicas:

- Una supernova puede brillar tanto como todas las estrellas de una galaxia juntas.
- Para que se origine una supernova, una estrella debe tener al menos 10 masas solares.
- La supernova más lejana hasta ahora vista apareció en el universo hace unos 10.000 millones de años en la constelación de la Osa Mayor, y está a 10.000 millones de años luz de la Tierra.
- La supernova más reciente perceptible a simple vista apareció el 23 de febrero de 1987 en la gran nube de Magallanes, una galaxia cercana satélite de la nuestra.
- Las supernovas son poco frecuentes en nuestra galaxia, pero se descubren decenas de ellas cada año en otras galaxias. En 1604, pocos años antes de la invención del telescopio, se observó a simple vista la última supernova en la Vía Láctea.
- Las hipernovas son tipos teóricos de supernovas, que corresponderían a explosiones de estrellas hipergigantes, con una masa de 100 a 300 veces la del Sol. Su explosión sería equivalente a 100 o más supernovas explotando simultáneamente, y serían capaces de eclipsar, aunque sea por un momento, toda la luz generada por una galaxia.
- En 1963, Estados Unidos y Rusia firmaron el Tratado de Prohibición de Pruebas Nucleares. Con la finalidad de asegurarse de que el tratado no fuera violado, EE. UU. lanzó una serie de satélites (Vela) al espacio, capaces de detectar emisiones de rayos X, rayos gamma y neutrones, los tres tipos de emisiones que se esperan en una explosión nuclear. Los satélites Vela lograron detectar 16 emisiones gamma que no provenían de detonaciones nucleares, sino de algo más. No fue sino hasta 1991 que se descubrió que esos estallidos correspondían a brotes de rayos gamma fuera de nuestra galaxia.
- Nuestro cuerpo está compuesto por algunos elementos más pesados que el hierro, que se formaron en el núcleo de las estrellas más masivas que tuvo el universo en su infancia, y que fueron liberados al espacio mediante supernovas.

Estallidos de rayos gamma

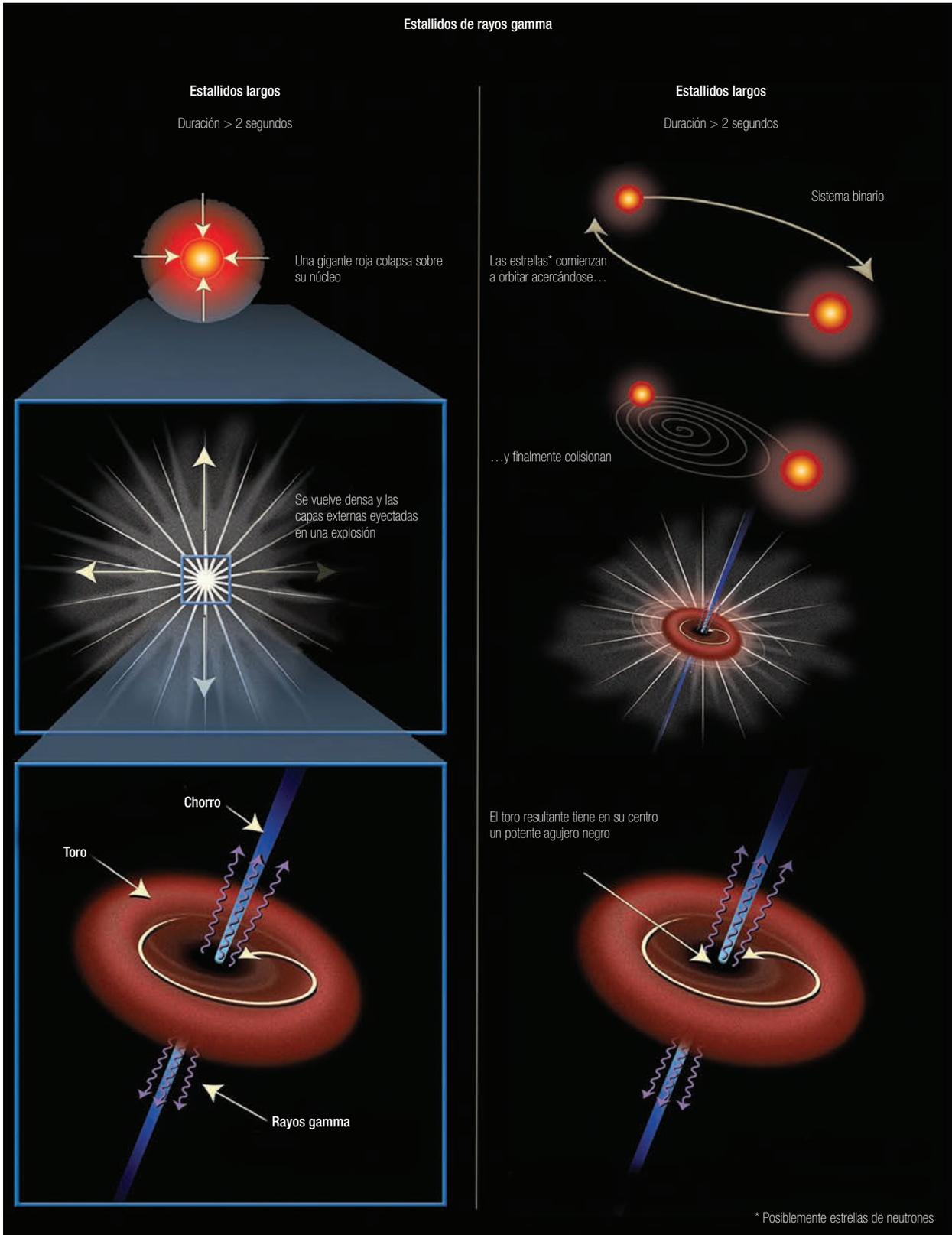


Figura 5. Posibles escenarios de formación de brotes de rayos gamma (GRB), los eventos de radiación electromagnética más luminosos que ocurren en el universo.
Fuente: Adaptación de 3dastronomer.com.

lo cual puede desencadenar la formación de nuevas nebulosas solares, es decir, nubes de gas y polvo como la que dio origen al sistema solar.

En el último milenio hemos detectado solo cinco supernovas (SN1006, SN1054, SN1181, SN1572 y SN1604) en nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, todas ellas anteriores al uso del telescopio en astronomía, que se remonta a Galileo Galilei, en 1609. La supernova más cercana a nosotros en los últimos 400 años tuvo lugar en 1987 en la gran nube de Magallanes, a 160.000 años luz de la Tierra. Hoy día, gracias a los nuevos instrumentos de observación, se detectan dos o tres explosiones cada día, y se estima que cada segundo debería haber en promedio unas 30 supernovas en diferentes sitios del universo. Hace justamente un año, el veterano telescopio espacial Hubble, que ya cumple 24 años, batía otro récord al observar una supernova que explotó hace 10.000 millones de años —es decir, cuando el universo aún era joven, pues tenía menos de la tercera parte de su edad actual—, la supernova SN UDS 10Wil, o supernova Wilson. Seguramente los avances tecnológicos nos permitirán seguir descubriendo supernovas más y más antiguas, hasta que un día seamos capaces de registrar las primeras explosiones de supernovas en el universo.

No podríamos terminar este recorrido por los fenómenos más explosivos del universo sin darle un espacio a otras increíbles muestras de las violentas transformaciones que ocurren allá afuera. Por esta época de máximo solar es más frecuente que nuestra estrella experimente tormentas solares. Estas son liberaciones de energía equivalentes a decenas de millones de bombas de hidrógeno, que calientan el plasma a varios millones de grados centígrados y lanzan un bombardeo de partículas (electrones, protones y iones más pesados) a velocidades cercanas a la de la luz. Estas eyecciones se forman en regiones activas del Sol donde hay manchas solares por las cuales emergen intensos campos magnéticos de la superficie de la estrella (fotosfera) hacia su capa más externa (corona).

Los brotes o estallidos de rayos gamma (conocidos como GRB, por su sigla en inglés) son destellos de este tipo de rayos, asociados con explosiones extremadamente energéticas en galaxias distantes. Se cree que la intensa radiación se emite en haces muy colimados, o paralelos. Estos son, de hecho, los eventos de radiación electromagnética más luminosos que ocurren en el universo, y pueden durar desde unos pocos nanosegundos hasta una hora. Después de la intensa emisión de rayos gamma, normalmente siguen emisiones de rayos de otras frecuencias (rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, radiación infrarroja y

ondas de radio). Un brote típico puede generar la misma energía que el Sol en un periodo de 10.000 millones de años, es decir, en toda su historia evolutiva. Se ha propuesto que son originados por la fusión de estrellas binarias, posiblemente estrellas de neutrones (estallidos cortos), o a causa de la muerte de estrellas masivas, es decir, en supernovas (estallidos largos).

Y para terminar, el mayor estallido de todos los tiempos sería el que, según la teoría más aceptada, dio origen a nuestro universo. La gran explosión sería la responsable de que a partir de la nada, y producto de una fluctuación, el tiempo y el espacio surgieran hace unos 13.800 millones de años. Hace tan solo unas semanas el mundo se maravillaba con el increíble descubrimiento del eco de aquella explosión. A partir de mediciones cuidadosas se han detectado las ondas gravitacionales liberadas en los primeros instantes del universo, cuando justo después de iniciarse, experimentó un proceso de expansión a una velocidad mayor que la de la luz, la llamada *inflación cósmica*. Tales ondas son una especie de arrugas o deformaciones en el espacio-tiempo, producto de ese proceso inflacionario que duraría tan solo una sextillónésima ($1/6000000 = 1,66 \times 10^{-7}$) de segundo, pero en el cual el tamaño del universo aumentó 100 billones de billones de veces. Esta es la primera vez que las ondas gravitacionales, anunciadas por la teoría general de la relatividad de Einstein, se han detectado de modo directo, puesto que en general se espera que sean muy débiles y que solo los fenómenos más explosivos del universo puedan generarlas, entre ellos las supernovas. Excitantes descubrimientos se harán, sin duda, en los próximos años, cuando la nueva generación de telescopios siga poniendo sus ojos, cada vez más agudos, en los más recónditos lugares del cosmos, lo que nos permitirá comprender mejor desde nuestro entorno más cercano hasta lo que sucedió en el preciso comienzo de todo, en el *big bang*. ●

REFERENCIAS

- [1] Wheeler JC. Cosmic catastrophes: supernovae, gamma-ray bursts, and adventures in hyperspace. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
- [2] Garlick MA. The supernova menace. *Sky & Telescope* 2007; 113(3): 26-31.
- [3] Bethe H. Supernovae. By what mechanism do massive stars explode? *Physics Today* 1990; 43(9): 24-27.
- [4] Gribbin JR, Gribbin M. Stardust. Supernovae and life – The cosmic connection. New Haven: Yale University Press; 2000.