

# Astronomía de **MENSAJEROS**

**Tras varias semanas de trabajar casi en secreto, una colaboración de más de 3500 científicos nos presenta el primer fenómeno astronómico que se ve y se oye.**

**A los científicos**, como a todo el mundo, les gusta hacer anuncios espectaculares y en años recientes nos han sorprendido varias veces. Algunos anuncios terminaron en fiascos, como en 2014, cuando la colaboración BICEP2 informó —prematuramente— que había detectado

ondas gravitacionales del *Big Bang* (véase *¿Cómo ves?* No. 186). Otras grandes noticias se han desinflado al revelarse que ciertas observaciones inicialmente asombrosas tenían una explicación trivial (véase *¿Cómo ves?* No. 171).

Pero el primer anuncio de la colaboración LIGO, que opera dos detectores de ondas gravitacionales en Estados Unidos, sí cumplió la promesa. En febrero de 2016 los científicos de este equipo internacional informaron que habían detectado por primera vez las ondas gravitacionales que predijo Einstein hace 100 años (véase *¿Cómo ves?* No. 208). El descubrimiento culminó con el premio Nobel de física de 2017 para los inventores e impulsores de los interferómetros LIGO (siglas en inglés de Observatorio de Ondas Gravita-

# MÚLTIPLES

Por Sergio de Régules

cionales por Interferometría Láser). Así, cuando la colaboración anunció un segundo descubrimiento espectacular el 16 de octubre de 2017, miles de personas de todo el mundo se conectaron con interés a la transmisión en vivo por internet de la conferencia de prensa ([bit.ly/2hJqXqO](https://bit.ly/2hJqXqO)).

Abrió el panel France Córdova, directora de la Fundación Nacional para la Ciencia de Estados Unidos, institución que ha financiado al proyecto LIGO por espacio de casi 40 años. “Me complace anunciar que hemos detectado ondas gravitacionales provenientes del choque de dos estrellas de neutrones”, dijo Córdova. “Lo que hace más emocionante este descubrimiento es que los científicos detectaron además luz —ondas electromagnéticas— de la colisión: por primera

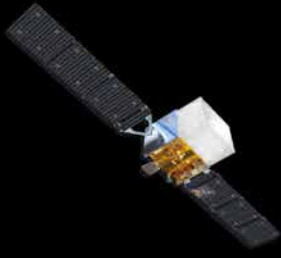
vez hemos visto un fenómeno cósmico por medio de ‘mensajeros múltiples’: ondas gravitacionales y ondas electromagnéticas.”

## Señal insólita

Luego France Córdova le cedió la palabra a David Reitze, director ejecutivo de la colaboración LIGO-Virgo (el detector Virgo, situado en Italia, se unió a la red de detección de ondas gravitacionales en agosto), quien informó que el 17 de agosto de 2017 los finísimos oídos de sus detectores captaron una tenue vibración del espacio-tiempo. Era la quinta vez que se registraban ondas gravitacionales desde septiembre de 2015 y la nueva señal no habría sido digna de mención si no fuera porque esta vez

Dos pequeñas y compactas estrellas de neutrones a punto de fusionarse y explotar como kilonova, fenómeno en el cual se producen ondas gravitacionales y un estallido de rayos gamma, tal como observaron el 17 de agosto de 2017 la colaboración LIGO-Virgo y Fermi/INTEGRAL, respectivamente (imagen: University of Warwick/Mark Garlick).

Fermi



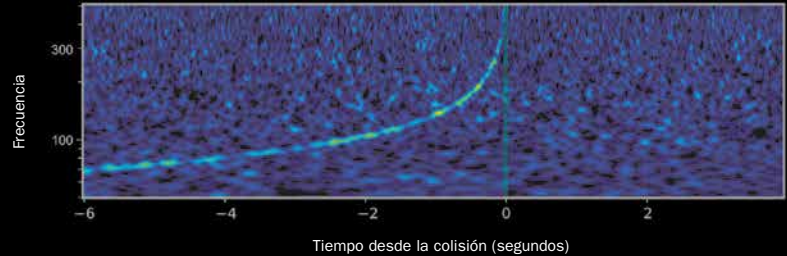
LIGO



Rayos gamma



Onda gravitacional



Las primeras señales de la colisión de estrellas de neutrones el 17 de agosto de 2017 (imagen: NASA-GSF/ Caltech/MIT/LIGO Lab/ESA).

todo fue distinto, como explicaron a lo largo de la conferencia de prensa Reitze y 14 colegas más, en representación de 3 500 físicos y astrónomos de muchos países, que desde el día de la detección estuvieron trabajando frenéticamente y casi en secreto.

Tras confirmar que la señal se había registrado en los tres detectores LIGO-Virgo, los científicos notaron que este susurro gravitacional era diferente. Las señales anteriores habían durado un par de segundos, pero la del 17 de agosto persistió casi dos minutos, lo que indicaba que no se debía a una colisión de hoyos negros sino de objetos más ligeros. De hecho, la señal tenía las características que se habían anticipado del canto mortal de una pareja de estrellas de neutrones en colisión, un acontecimiento que los científicos anhelaban con ansia porque sería el primer fenómeno de este tipo que además de ondas gravitacionales produciría luz. También se esperaba que aportara la solución de varios misterios añejos.

### Objetos compactos

Un hoyo negro es el intenso y retorcido campo gravitacional que queda tras la muerte explosiva de una estrella mucho más grande que el Sol (véase ¿Cómo ves? No. 44). La estrella se desgarró en la explosión y lo que queda se derrumba sobre sí

mismo por efecto de la gravedad. En esta prensa cósmica la materia se comprime tanto que desaparece, dejando solamente su negro fantasma gravitacional. Un hoyo negro no está hecho de nada. Por lo tanto, nada emerge de la colisión de dos hoyos negros, fuera del tenue escalofrío espacio-temporal que capturaron los científicos por primera vez en septiembre de 2015 (producido por la colisión de dos hoyos negros de unas 30 veces la masa del Sol).

Las estrellas de neutrones también son cadáveres estelares, pero menos masivos (las de agosto tenían alrededor de dos veces la masa del Sol). Por ser más ligeras, tras la explosión la gravedad no las comprime hasta desaparecer como los hoyos negros, sino sólo hasta que los átomos que las componen se aplastan y sus electrones se funden con sus protones para dar neutrones. Una estrella de neutrones puede contener la masa del Sol en una bola del tamaño de la Ciudad de México. Esta esfera súper densa gira sobre su propio eje a razón de varias revoluciones por segundo y genera un campo magnético billones de veces más intenso que el de la Tierra. Las estrellas de neutrones sí contienen materia, y desde los años 70 había modelos teóricos que anticipaban que sus colisiones, además de ondas gravitacionales, producirían átomos de elementos químicos pesados y muchos tipos de luz.



### (Casi) todo el oro del mundo

Los choques de estrellas de neutrones no se deben a encuentros accidentales de dos individuos que nunca se habían visto: sólo chocan las estrellas que se formaron juntas, en parejas, o sistemas “binarios”, como la mayoría de las estrellas (el Sol es una excepción). Las estrellas binarias giran una alrededor de la otra y la situación no cambia si se convierten en estrellas de neutrones (u hoyos negros) al final de sus vidas estelares.

En la conferencia de prensa del 16 de octubre la astrofísica griega Vicky Kalogera, de la Universidad Northwestern y el proyecto LIGO, señaló que desde 1974 sabemos que sí existen estrellas de neutrones en pareja. Ese año Russell Hulse y Joseph Taylor, de la Universidad de Massachusetts, descubrieron un “pulsar binario” (véase *¿Cómo ves?* No. 173). Luego de observarlo un tiempo dedujeron que sus componentes no se desplazaban en círculo, sino en una espiral que lentamente se iba encogiendo. Hulse y Taylor demostraron que el sistema estaba perdiendo energía exactamente al ritmo que debería si sus componentes estuvieran agitando el espacio-tiempo y emitiendo ondas gravitacionales como dos ballenas retonas.

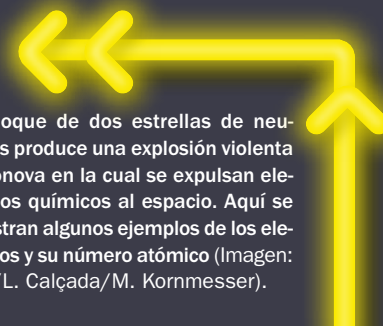
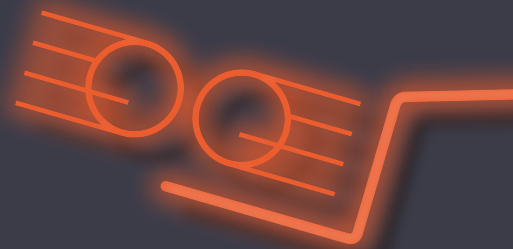
Kalogera observó que las estrellas de neutrones de Hulse y Taylor están separadas casi dos millones de kilómetros, y al ritmo que van no chocarán hasta dentro de 300 millones de años. En cambio las de agosto son harina de otro costal: “Cuando empezamos a oír las con LIGO y Virgo se encontraban a sólo 320 kilómetros una de la otra y unos 100 segundos después se fusionaron”, dijo Vicky Kalogera.

También desde 1974 se sospechaba que la colisión de dos estrellas de neutrones, como crisol de alquimista, debería formar átomos nuevos de elementos químicos “pesados” (con muchos protones y neutrones en el núcleo) —plata, oro, platino, uranio y otros—, como narró en la conferencia de prensa la astrofísica italiana Marica Branchesi, del proyecto Virgo y la Universidad de Urbino.

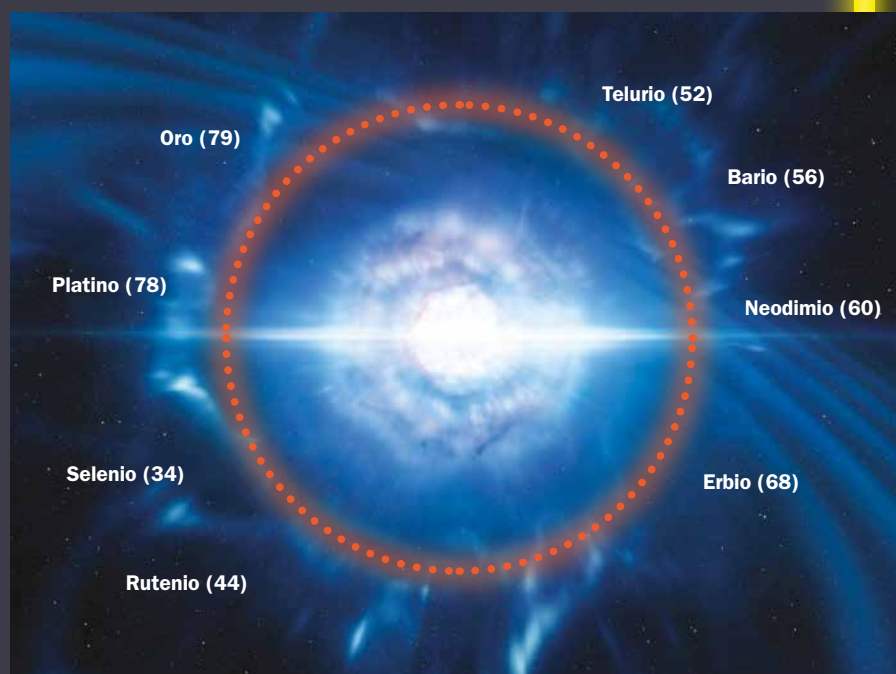
Desde ese año, muchos trabajos teóricos han sugerido que al fusionarse las estrellas de neutrones, giran tan rápido una alrededor de la otra (imagínense dos

esferas de 20 kilómetros de diámetro rondándose a más de 1 000 revoluciones por segundo), que parte de la materia que las compone sale expulsada como de las aspas de una batidora a máxima potencia. Grandes salpicaduras de materia incandescente se esparcen por el espacio y esa materia se ensambla en trillones de mueganitos hechos de muchos protones y neutrones aglomerados: núcleos atómicos de elementos pesados y sus isótopos radiactivos (un elemento se distingue de otro por el número de protones de su núcleo y los isótopos de un mismo elemento se distinguen por el número de neutrones).

Marica Branchesi observó que “muchos elementos pesados sólo se pueden formar en colisiones de estrellas de neutrones” —por ejemplo, el radio y el polonio, descubiertos por Marie Curie, y el uranio que sirve de combustible en los reactores nucleares—. Antes se pensaba que todos los elementos químicos excepto el hidrógeno, se formaban en el interior de las estrellas y en las supernovas, violentas explosiones en las que mueren las estrellas más masivas. Pero la producción de elementos pesados en las supernovas no bastaba para explicar las cantidades de estos elementos que observamos en el Universo (por ejemplo, el oro, del que las supernovas producen poco). Con los elementos que deberían generar las colisiones de estrellas de neutrones se podría



El choque de dos estrellas de neutrones produce una explosión violenta o kilonova en la cual se expulsan elementos químicos al espacio. Aquí se muestran algunos ejemplos de los elementos y su número atómico (Imagen: ESO/L. Calçada/M. Kornmesser).





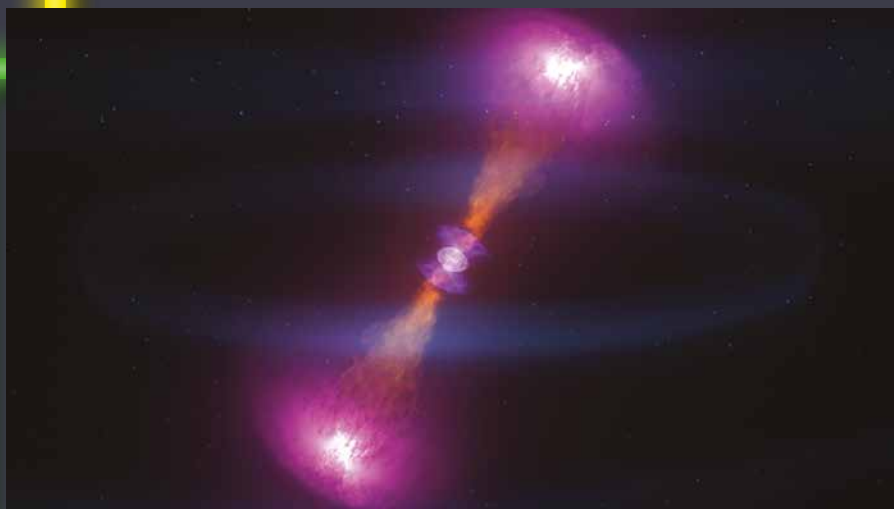
completar el balance, pero nunca se había observado este proceso.

### Regalo del cielo

La astrofísica Julie McEnery, científica adjunta del Telescopio Espacial Fermi de Rayos Gamma, de la NASA, explicó otro misterio cósmico que se esperaba resolver cuando se observara la primera colisión de dos estrellas de neutrones. Desde hacía tiempo los astrofísicos pensaban que a los pocos segundos de una colisión, dos chorros de materia impulsados por el giro y el intenso campo magnético salían disparados a velocidades cercanas a la de la luz por los polos de las estrellas de neutrones. La violencia de estos chorros se descargaba en un relámpago de luz de alta energía, conocida como rayos gamma. Esto daría lugar a los llamados “destellos de rayos gamma de corta duración”... si los modelos teóricos eran correctos.

El halo de átomos pesados que se forma tras la colisión es radiactivo. Los núcleos atómicos se desintegran espontáneamente en fragmentos llenos de energía que calientan la nube y la ponen a brillar. Durante varios días la nube emite un resplandor de luz visible (bautizado como “kilonova” en 2010 por el físico Brian David Metzger porque se esperaba que fuera tan intenso como miles de explosiones estelares conocidas como “novas”), que luego se irá atenuando y enrojeciendo a medida que pierde energía y que la desintegración radiactiva de los átomos originales los convierte en átomos de elementos más ligeros y estables.

A los pocos segundos de una colisión, dos chorros de materia impulsados por el giro y el intenso campo magnético salen disparados a velocidades cercanas a la de la luz por los polos de las estrellas de neutrones. La violencia de estos chorros produce los destellos de rayos gamma de corta duración (magenta) (imagen: NASA-GSF/CI Lab).



Todo eso sugerían los modelos teóricos acariciados por decenios sin confirmación por falta de aparatos capaces de detectar ondas gravitacionales y colisiones de estrellas de neutrones que observar. Los aparatos se diseñaron, construyeron y probaron durante 40 años y finalmente empezaron a escuchar el cielo en septiembre de 2015. La anhelada colisión de dos estrellas de neutrones se produjo el 17 de agosto de 2017. “Todas estas predicciones se confirmaron”, dijo, muy ufana, Vicky Kalogera.

### Frenesí internacional

El 17 de agosto, antes de que se supiera nada, el Telescopio Espacial Fermi de Rayos Gamma captó un destello de rayos gamma, lo cual no tiene nada de extraordinario, pues estos fogonazos de radiación de alta energía son comunes (se detectan 100 o 200 al año y se conocen desde 1967, cuando unos satélites diseñados para detectar explosiones nucleares clandestinas en la Tierra captaron señales de rayos gamma del espacio).

Pero, como cuenta Julie McEnery, media hora después el equipo recibió un correo electrónico de un colega que trabaja también en la colaboración LIGO-Virgo: “Este destello de rayos gamma tiene un amigo interesante”, decía enigmáticamente el mensaje. Resultó que el destello de rayos gamma había ocurrido 1.7 segundos después de la sacudida gravitacional. Era casi imposible que fuera casualidad. “Y así empezó la mañana más emocionante de los nueve años que lleva el proyecto Fermi”, observa McEnery. Y lo fue porque con esta doble observación se confirmaba la sospecha añeja de que los destellos de rayos gamma de corta duración (los hay de larga, pero esa es otra historia) se deben a colisiones de estrellas de neutrones.

Los detectores LIGO, situados uno a 3000 kilómetros del otro en Estados Unidos, sólo pueden dar una idea vaga de la dirección de la que proviene una ráfaga de ondas gravitacionales. Con el detector Virgo, en Pisa, Italia —que se acababa de integrar a las observaciones unos días antes— la procedencia se puede establecer mejor, pero no mucho: sigue siendo una parcela de cielo muy extensa. Pero si las ondas gravitacionales y el destello

de rayos gamma eran dos mensajeros distintos con noticias de una misma catástrofe cósmica, los datos del telescopio Fermi permitirían precisar aun más la región de donde llegaron. La información conjunta de ondas gravitacionales y rayos gamma permitió delimitar una parcela de cielo de extensión equivalente a 60 lunas llenas, en la dirección de la constelación de la Hidra.

Era fundamental precisarlo, porque si se trataba en efecto de una colisión de estrellas de neutrones, según los cálculos teóricos cabía esperar acontecimientos interesantísimos en las horas, los días y las semanas posteriores a la emisión de las ondas gravitacionales y el destello de rayos gamma. Había que poner en marcha a toda prisa un plan de observación con telescopios de todos tipos —ópticos, infrarrojos, de rayos X, espaciales y terrestres, grandes y chicos— para no perderse ninguna de las etapas previstas: el primer resplandor azul de la kilonova durante los primeros días, el enrojecimiento posterior que indicaría la formación por desintegración de átomos más estables, las emisiones de rayos X y finalmente las ondas de radio (etapa que puede durar varios meses).

Los planes estaban establecidos y las colaboraciones listas en previsión de lo que ocurrió ese día, así que, en cuanto se descubrió que el destello de rayos gamma tenía un amiguito interesante, un ejército de astrónomos y telescopios distribuidos en más de 70 observatorios por todo el mundo puso manos a la obra para peinar la región del cielo indicada en busca de la ubicación exacta de la colisión de estrellas de neutrones. Para mala suerte de todos, el Sol estaba de intruso temporal cerca de esa región. Había que esperar a que se ocultara, e incluso así quedaban sólo un par de horas para observarla antes de que se perdiera bajo el horizonte. Los observatorios se fueron pasando la estafeta: cuando uno perdía de vista la región, otro la recogía y así, hasta que un equipo de la Universidad de Virginia, usando el pequeño telescopio Swopes situado en el cerro Las Campanas, Chile, localizó un puntito de luz nuevo en el borde de la novena galaxia que examinaron (llamada NGC4993 y situada a unos 140 millones de años luz). Inmediatamente otros equipos de astrónomos dirigieron



sus instrumentos hacia esa galaxia, que durante varias semanas se convirtió en el punto más vigilado del cielo.

### Nueva era

La campaña mundial de observación se llevó a cabo con discreción, lo que fue difícil con miles de personas emocionadísimas trabajando en el proyecto. Con todo, pese a algunos rumores, la noticia no se supo hasta el 16 de octubre. Ese mismo día se publicaron cerca de 30 artículos con todas las investigaciones en las revistas *Nature*, *Science* y *Astrophysical Journal Letters*. El artículo maestro que compendia todo el esfuerzo tiene más de 3 500 autores.

En la conferencia de prensa los científicos relataron sin disimular su emoción que las etapas del fenómeno se fueron sucediendo casi exactamente como anticipaban las teorías, algunas desde hace varias décadas. El “casi” es importante: las diferencias con lo que se esperaba les darán trabajo a los científicos durante meses, o quizá años.

David Reitze dijo: “Para mí la gran noticia es que ya estamos usando la nueva herramienta de la astronomía de ondas gravitacionales en combinación con la astronomía electromagnética tradicional para estudiar los fenómenos más violentos del Universo. Es la primera vez que el cosmos nos presenta una película con sonido”. O más bien la primera vez que nuestros instrumentos nos permiten ver y oír el cielo al mismo tiempo. Bienvenidos a la era de la astronomía de mensajeros múltiples. 👁

Imagen de la kilonova el día que se descubrió y cuatro días después, vista desde el Observatorio Las Campanas en Chile (imagen: Carnegie Institution for Science).

### MÁS INFORMACIÓN



- Bartusiak, Marcia, *La sinfonía inacabada de Einstein*, Ed. Océano ámbar, Barcelona, 2002.
- Alcubierre, Miguel, “Las ondas gravitacionales”, *Revista Digital Universitaria*, UNAM: [www.revista.unam.mx](http://www.revista.unam.mx)
- *Introducción a LIGO y a las ondas gravitacionales*, LSC (Ligo Scientific Collaboration): [www.ligo.org/sp/science/GW-Detecting.php](http://www.ligo.org/sp/science/GW-Detecting.php)

Sergio de Régules es divulgador de la ciencia y coordinador científico de esta revista. Su libro más reciente es *Cielo sangriento* (Fondo de Cultura Económica, Cd. de México 2016).