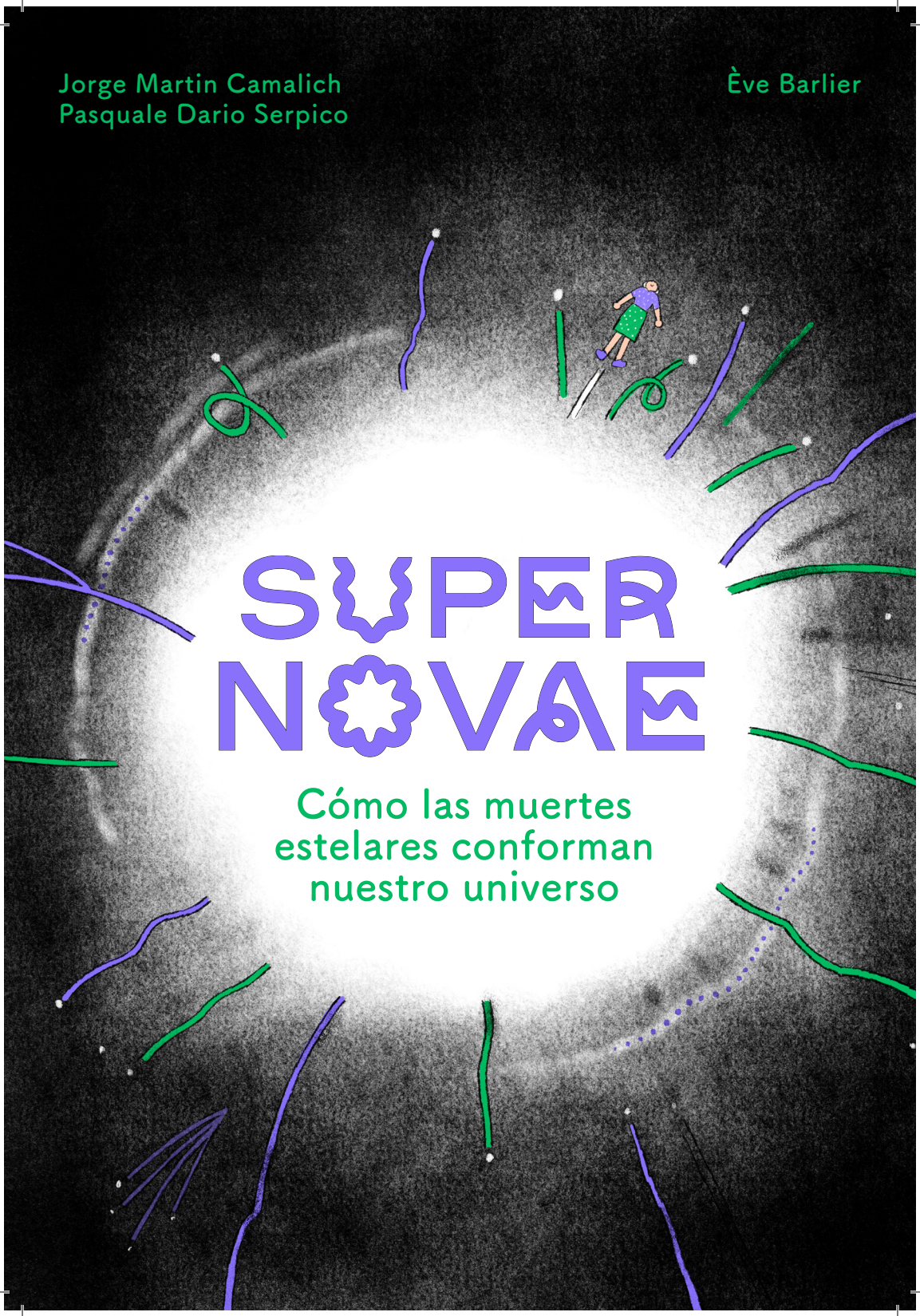
Jorge Martin Camalich
Pasquale Dario Serpico

Ève Barlier



SUPERNOVAE

Cómo las muertes estelares conforman nuestro universo

NUEVAS ESTRELLAS, NUEVAS FORMAS DE PENSAR

1054

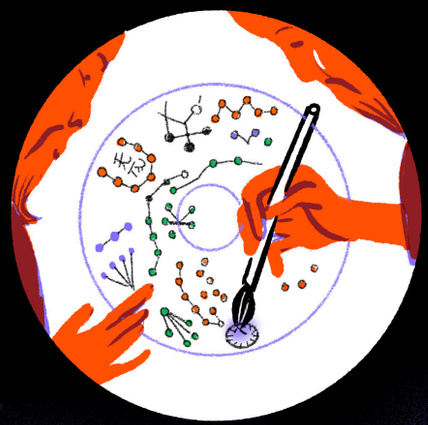
Los astrónomos chinos registraron la aparición repentina de un objeto brillante en el cielo.

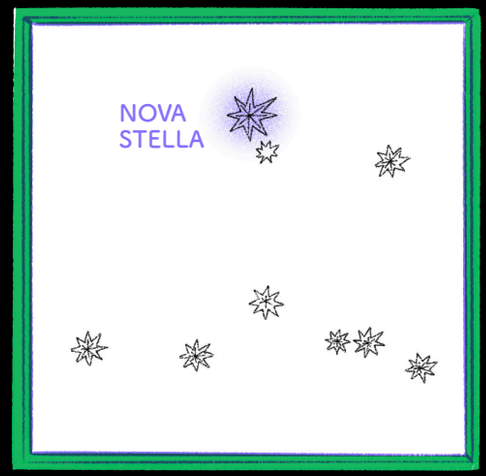
客星

¡Una estrella invitada!

Era visible incluso durante el día y permaneció en el cielo durante varias semanas antes de ir apagándose lentamente.

En aquella época no se buscaba una explicación física. La tarea de la astronomía consistía en observar, catalogar y conservar el registro de lo que aparecía en los cielos.

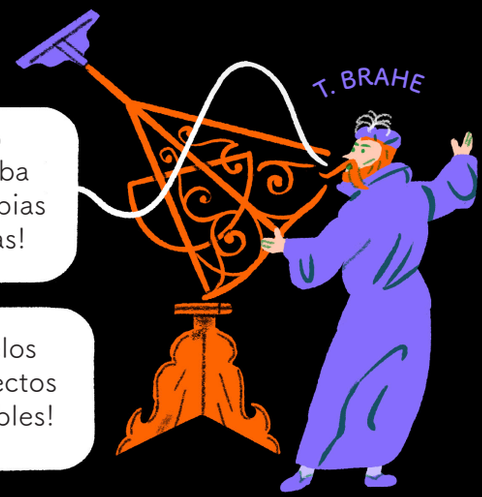




1572

Un objeto brillante similar fue observado en el cielo de Europa. Esta vez, el astrónomo Tycho Brahe hizo algo más que limitarse a registrar su presencia.

Midiendo su posición noche tras noche, Tycho demostró que el objeto no era un fenómeno atmosférico ni se encontraba cerca de la Tierra.



Las mediciones de Tycho contradecían la filosofía aristotélica:

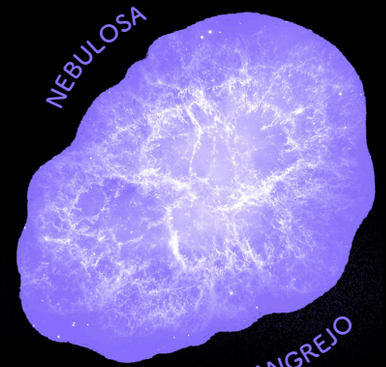
¡El objeto se encontraba entre las propias estrellas fijas!

ARISTÓTELES

¡Los cielos son perfectos e inmutables!

CUANDO LOS CIELOS CAMBIARON

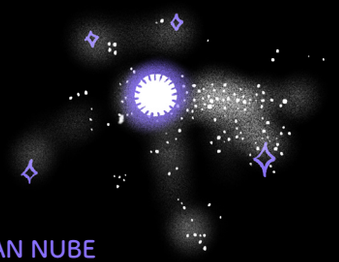
Actualmente la nube en expansión producida por el fenómeno de 1054 se conoce como la Nebulosa del Cangrejo que está a unos 6500 años luz de la Tierra.



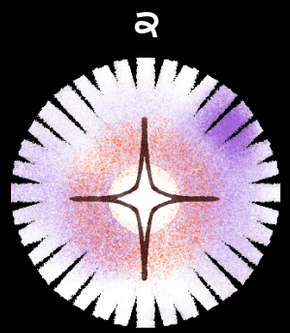
SN 1987A, UNA ESTRELLA EXPLOTA CERCA DE NOSOTROS

23 DE FEBRERO DE 1987

Una estrella masiva explota en la Gran Nube de Magallanes, una pequeña galaxia que orbita alrededor de la Vía Láctea.



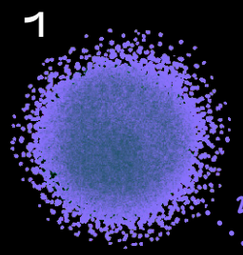
GRAN NUBE DE MAGALLANES



SN 1987

La supernova fue descubierta por astrónomos de todo el mundo: una estrella que antes apenas era visible había pasado repentinamente a poder observarse a simple vista.

Décadas después, el remanente en expansión producido por SN 1987A sigue siendo estudiado en todo el espectro electromagnético. Esto nos ofrece una oportunidad única para estudiar cómo evolucionan las supernovas con el tiempo y cómo interactúan con su entorno.

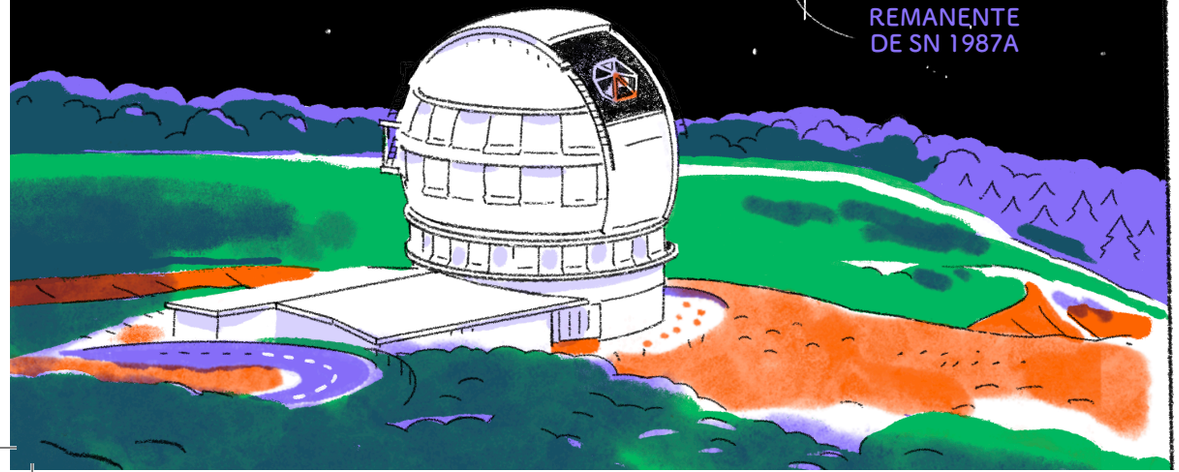


ESTALLIDO DE NEUTRINOS

El fenómeno pasó a conocerse como SN 1987A, la supernova más cercana a la Tierra desde la invención del telescopio.



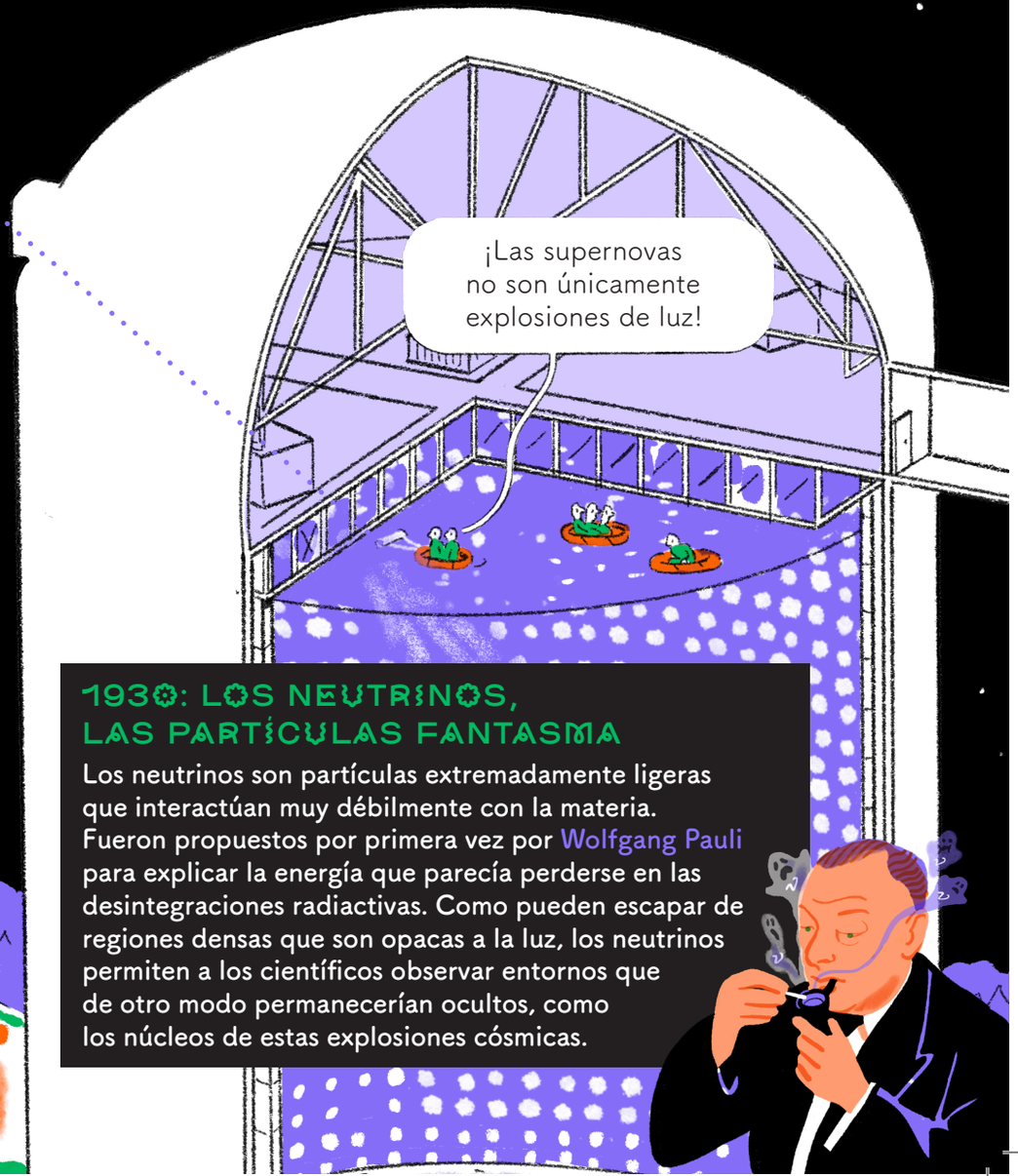
REMANENTE DE SN 1987A



ESTALLIDO DE NEUTRINOS

Unas horas antes de que la supernova fuese observada con luz visible, varios detectores gigantes situados a gran profundidad bajo tierra registraron de manera independiente un breve estallido de partículas casi invisibles llamadas neutrinos (ν).

Por primera vez, una supernova había sido detectada utilizando más de un tipo de mensajero.

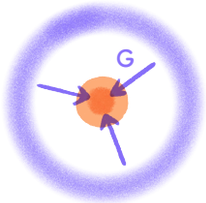


1930: LOS NEUTRINOS, LAS PARTÍCULAS FANTASMA

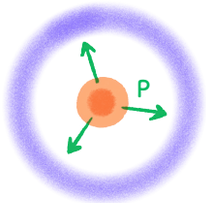
Los neutrinos son partículas extremadamente ligeras que interactúan muy débilmente con la materia. Fueron propuestos por primera vez por Wolfgang Pauli para explicar la energía que parecía perderse en las desintegraciones radiactivas. Como pueden escapar de regiones densas que son opacas a la luz, los neutrinos permiten a los científicos observar entornos que de otro modo permanecerían ocultos, como los núcleos de estas explosiones cósmicas.

EL EQUILIBRIO QUE MANTIENE UNIDA A UNA ESTRELLA

Una estrella existe gracias a un equilibrio entre la gravedad y la presión.



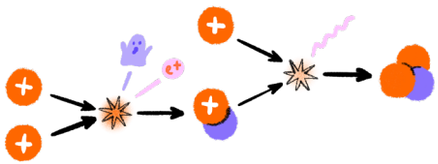
La gravedad (G) tira constantemente de la materia hacia el interior, provocando el colapso de la estrella.



La presión (P) se opone a la gravedad y es producida por la energía liberada en las reacciones de fusión nuclear que tienen lugar en el núcleo estelar.

FUSIÓN

En las reacciones de fusión, los núcleos ligeros se combinan para formar otros más pesados.



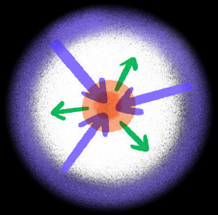
Los seres humanos hemos aprendido a provocar reacciones de fusión, aunque hasta ahora solo de manera descontrolada...



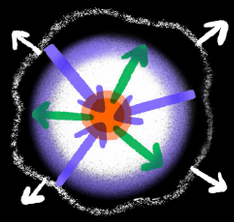
Las estrellas van formando progresivamente elementos más pesados hacia su interior, creando una estructura en capas.

SUPERNOVAS POR COLAPSO DEL NÚCLEO

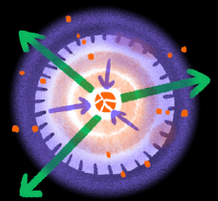
En las estrellas mucho más masivas que el Sol, la fusión nuclear continúa hasta llegar al hierro. A partir de ese momento, la fusión deja de producir energía.



Sin la presión proporcionada por la fusión, la estrella colapsa bajo su propio peso.



Cuando el núcleo alcanza una densidad superior a la de un núcleo atómico, el material que cae hacia el interior rebota y genera una onda de choque que se propaga hacia el exterior.



Si la onda de choque es suficientemente potente, la estrella explota en un fenómeno conocido como supernova por colapso del núcleo.



COLAPSO

Cuando se rompe el equilibrio entre gravedad y presión, la estrella colapsa y su destino lo determinan principalmente su masa y de la causa que precipita su final.

Estas explosiones marcan el final de las estrellas masivas y dejan tras de sí remanentes estelares extremos, como estrellas de neutrones o agujeros negros.

AGUJERO NEGRO

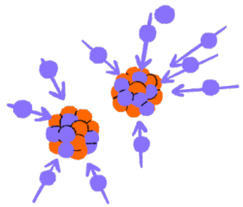


ESTRELLA DE NEUTRONES



LA ALQUIMIA DEL COSMOS

En las temperaturas y densidades extremas que se generan durante una supernova, o durante las colisiones entre estrellas de neutrones, los núcleos atómicos son bombardeados por enormes cantidades de neutrones, lo que permite la formación de elementos más pesados.

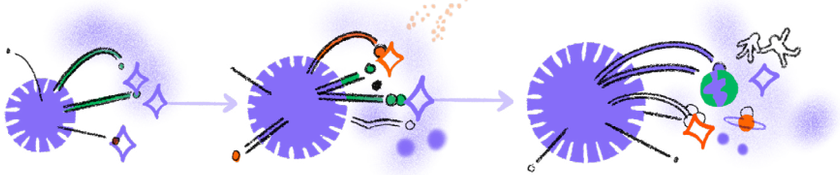


DEL POLVO A LA VIDA

En una fracción de segundo pueden formarse elementos más pesados que el hierro.

Estos elementos recién creados son expulsados al espacio, donde se mezclan con el gas y el polvo interestelares. Con el tiempo pasan a formar parte de nuevas estrellas, planetas y, finalmente, de la vida.





¿SABÍAS QUE...?

Muchos elementos esenciales para la tecnología moderna, como el cobalto y las tierras raras, se formaron en explosiones estelares. En otras palabras:

¡Tus dispositivos electrónicos están construidos con las cenizas de estrellas masivas!





NEUTRINOS: LAS PARTÍCULAS OCULTAS QUE POTENCIAN LAS SUPERNOVAS

Cuando el núcleo de una estrella colapsa, se producen enormes cantidades de neutrinos, que consiguen escapar casi sin obstáculos del denso núcleo.

La mayoría de los neutrinos viajan libremente hacia el espacio,

pero una pequeña fracción deposita su energía en las capas circundantes, justo fuera del núcleo.

De hecho, alrededor del

99%

de la energía liberada durante el colapso es emitida mediante neutrinos.

CORONA DE NEUTRINOS

En el escenario más ampliamente aceptado, propuesto por Hans Bethe y Robert Wilson, se considera que este mecanismo calienta y reactiva la onda de choque, permitiendo que la estrella explote.



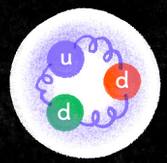
SN 1987A proporcionó un fuerte respaldo al modelo de las supernovas por colapso del núcleo, confirmando que las estrellas masivas colapsan y emiten enormes cantidades de neutrinos.

ESCALA DE ENERGÍA

La energía liberada en forma de neutrinos durante una única supernova por colapso del núcleo es comparable, durante un breve instante, a la energía emitida conjuntamente por todas las estrellas del Universo observable.

ESTRELLAS DE NEUTRONES

Los progenitores menos masivos de las supernovas dejan tras de sí un núcleo compacto y extremadamente denso que se parece a un gigantesco núcleo atómico del tamaño de una ciudad y con una masa superior a la del Sol. Estos objetos astrofísicos reciben el nombre de estrella de neutrones porque están compuestos principalmente por neutrones.



NEUTRÓN

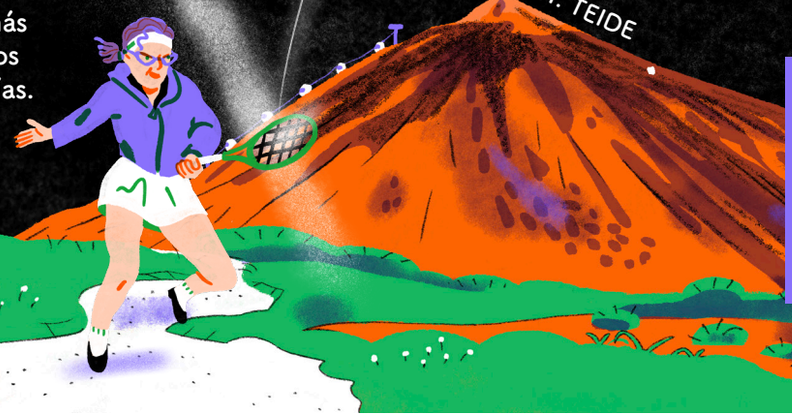


Muchas estrellas de neutrones giran rápidamente y poseen campos magnéticos extremadamente intensos. Al rotar, emiten estrechos haces de radiación desde sus polos magnéticos.

PÚLSARES

Cuando uno de estos haces barre la Tierra, se detecta como un pulso regular de luz. Estos objetos se conocen como púlsares. La mayoría de las estrellas de neutrones detectadas son púlsares, observables en ondas de radio y, más recientemente, en rayos gamma de altas energías.

¡Una pelota de tenis hecha de materia de estrella de neutrones tendría una masa parecida a la del VOLCÁN TEIDE!

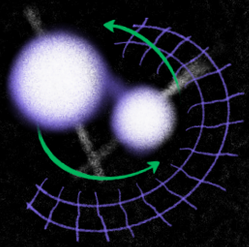


1967: LITTLE GREEN MEN



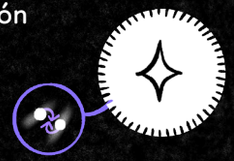
Jocelyn Bell Burnell descubrió los primeros púlsares. Su regularidad era tan sorprendente que, en tono de broma, les dio el nombre de "Little Green Men", "hombrecillos verdes".

SISTEMAS BINARIOS



En algunos casos, una pareja de estrellas masivas deja tras de sí un sistema binario formado por dos estrellas de neutrones que orbitan una alrededor de la otra. Si un sistema de púlsares binario puede detectarse y posee una órbita muy compacta, el estudio de la evolución temporal de sus pulsos permite realizar pruebas extraordinariamente precisas de teorías de la gravedad.

Con el tiempo, estos sistemas binarios pierden energía y terminan colisionando. El breve y potente resplandor producido por la colisión se conoce como kilonova.



KILONOVA



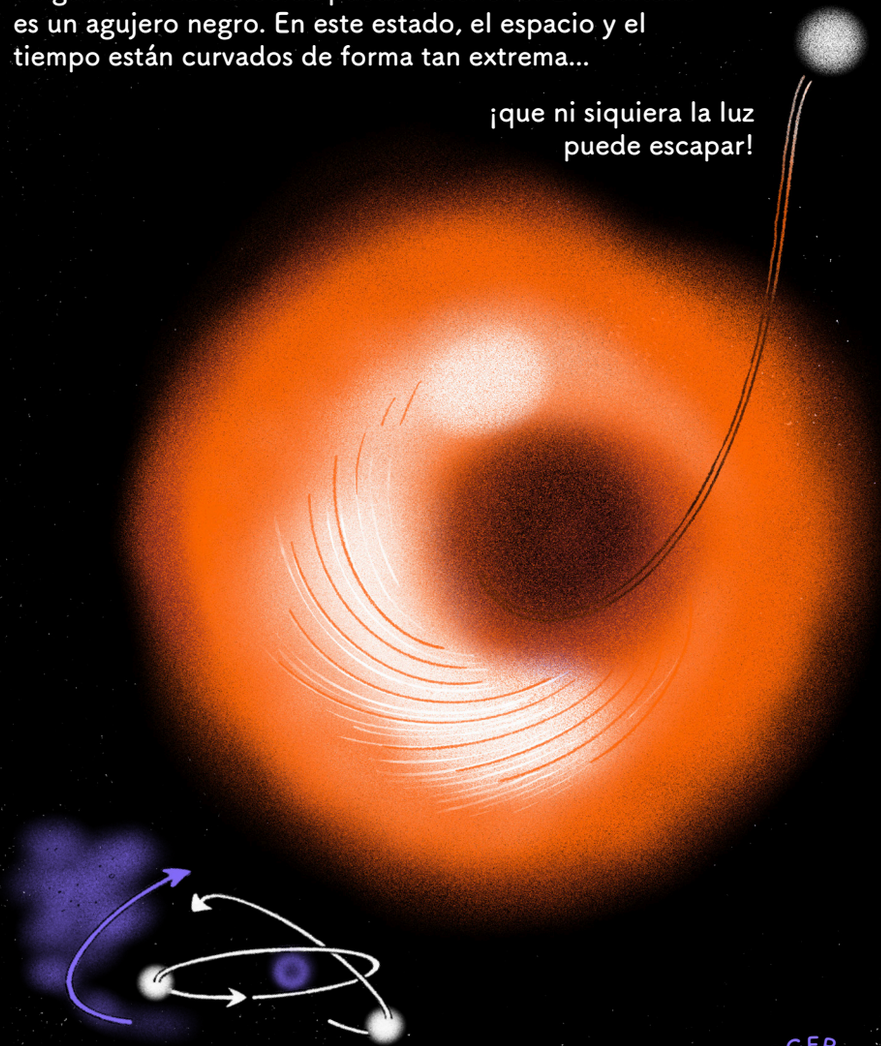
1993: UN NOBEL PARA DOS ESTRELLAS DE NEUTRONES

Russell Alan Hulse y Joseph Hooton Taylor descubrieron el primer sistema de este tipo en 1974. Su estudio proporcionó confirmaciones extraordinarias de las predicciones de la Relatividad General ... ¡y condujo a un Premio Nobel!

AGUJEROS NEGROS: ESCUCHANDO EL UNIVERSO

Cuando el núcleo de una estrella muy masiva colapsa, ninguna fuerza conocida puede detenerlo. El resultado es un agujero negro. En este estado, el espacio y el tiempo están curvados de forma tan extrema...

¡que ni siquiera la luz puede escapar!



Para un observador externo, un agujero negro es invisible y solo puede ser descubierto mediante sus efectos gravitatorios sobre la materia cercana (estrellas y gas) y sobre la luz.

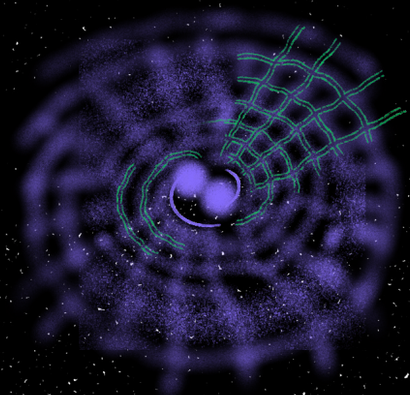
2014: LOS AGUJEROS NEGROS EN LA FICCIÓN

El agujero negro de la película Interstellar fue diseñado con el asesoramiento del físico Kip Thorne, cuyo trabajo contribuyó de manera fundamental a nuestra comprensión moderna de los agujeros negros. En 2017, recibió el Premio Nobel de Física por su contribución decisiva a la detección de ondas gravitacionales procedentes de la fusión de agujeros negros.



ONDAS GRAVITACIONALES

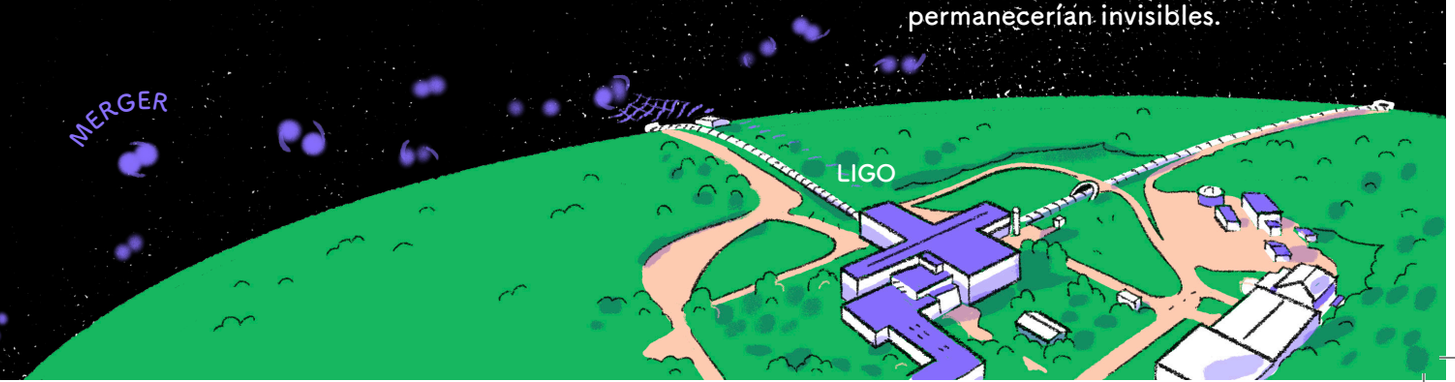
Cuando objetos compactos como agujeros negros o estrellas de neutrones orbitan entre sí y terminan fusionándose, se generan ondas gravitacionales: ondulaciones del espacio-tiempo que se propagan por el Universo a la velocidad de la luz.



2015

Estas ondas fueron detectadas directamente por primera vez por la colaboración LIGO, confirmando una predicción fundamental de la teoría de la relatividad general de Einstein.

Desde entonces se han observado decenas de estas fusiones, revelando poblaciones de agujeros negros de masa estelar y estrellas de neutrones que de otro modo permanecerían invisibles.



DESPUÉS DE LA EXPLOSIÓN, REMANENTES DE SUPERNOVA

Las supernovas no son únicamente explosiones, ¡también energizan el Universo!

Después de la explosión de una supernova, se produce una onda de choque en expansión que acelera partículas hasta energías extremadamente altas. Los electrones emiten ondas de radio y rayos X que permiten observar la estructura luminosa y en expansión conocida como remanente de supernova.

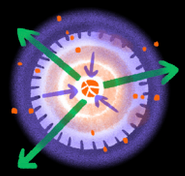
También se cree que los remanentes de supernova aceleran protones y que podrían constituir la principal fuente de los rayos cósmicos detectados en la Tierra.



Cuando estos protones colisionan con el gas, producen otras partículas, como radiación de muy alta energía (gamma rays, γ) y neutrinos (ν).

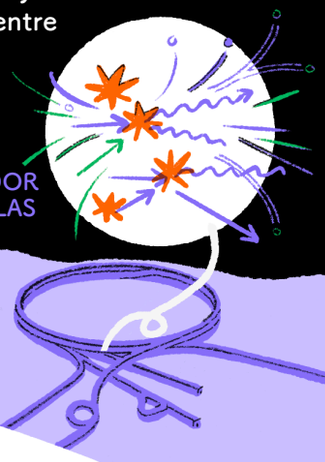
La detección de estas señales permite a los científicos estudiar la aceleración de partículas en un laboratorio astrofísico.

A LA ESPERA DEL PRÓXIMO ACONTECIMIENTO



La próxima supernova por colapso del núcleo que tenga lugar en nuestra Galaxia será un acontecimiento excepcional y extraordinario. Su observación podría ayudarnos a responder preguntas fundamentales, entre ellas cómo se producen realmente las explosiones de supernova.

Además de revelar la física de la propia explosión, durante su colapso una supernova se convierte también en un colosal colisionador astrofísico de partículas.



Los observatorios de neutrinos han aumentado enormemente de tamaño durante las últimas décadas. Estos gigantescos detectores subterráneos están diseñados para captar las débiles señales procedentes de las regiones más profundas de las explosiones estelares.

Una futura supernova podría producir también grandes cantidades de partículas oscuras todavía desconocidas y que permitirían su descubrimiento por experimentos en Tierra.



1983
KAMIOKANDE

1996
SUPER-KAMIOKANDE

~2030
HYPER-KAMIOKANDE

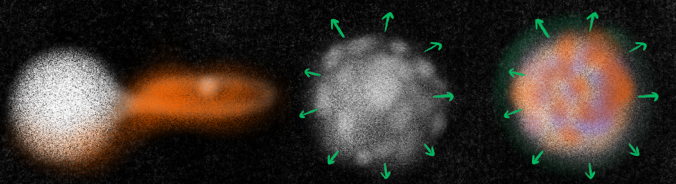
DE LAS SUPERNOVAS A LA COSMOLOGÍA

Las supernovas de tipo Ia, como la observada por Tycho Brahe en 1572, se producen en sistemas estelares binarios, cuando una enana blanca acreta materia de su estrella compañera o se fusiona con ella.

El proceso puede desencadenar una fusión nuclear descontrolada e imparable, provocando la destrucción completa de la estrella.

Estas supernovas desempeñan un papel muy especial en cosmología... Pero esa es otra historia.





ACRECIÓN SUPERNOVA REMANENTE DE SUPERNOVA

Texto: Jorge Martin Camalich, Pasquale Dario Serpico.
Illustración y diseño: Ève Barlier.
Financiado por: UNDARK, 2026,
todos los derechos reservados.

UNDARK

Funded by the European Union

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS