JULIO DE 2022 revista.iaa.es

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

## Las estrellas de neutrones

SU ENTORNO Y SU PAPEL DENTRO DE NUESTRA GALAXIA





Imagen compuesta de la Nebulosa del Cangrejo que combina datos de cinco telescopios: el VLA (radio) en rojo; Spitzer (infrarrojo) en amarillo; Hubble (visible) en verde; XMM-Newton (ultravioleta) en azul; y Chandra (rayos X) en violeta. Fuente: NASA/ ESA/NRAO/ AUI/NSF/G. Dubner, Universidad de Buenos Aires. En las regiones centrales se observa el púlsar, una estrella de neutrones de muy rápida rotación. **Directora:** Silbia López de Lacalle. **Comité de redacción:** Antxon Alberdi, Carlos Barceló, Sara Cazzoli, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Enrique Pérez-Montero, Pablo Santos y Montserrat Villar. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle. **Contacto:** revista@iaa.es

Este número ha contado con el apoyo económico de la Agencia Estatal de Investigación (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) a través de la acreditación de Centro de Excelencia Severo Ochoa para el Instituto de Astrofísica de Andalucía (SEV-2017-0709).

La página web de esta revista ha sido financiada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA). Copyright: © 2018 CSIC. Esta es una revista de acceso abierto distribuida bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Instituto de Astrofísica de Andalucía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas Excelencia Severo Ochoa 07/2018 - 07/2022

NIPO: 833-20-069-5 e-NIPO: 833-20-070-8 Depósito legal: GR-605/2000 ISSN: 1576-5598

Las estrellas de neutrones, sus entornos y su papel dentro de nuestra Galaxia ... 3
Del polvo al fuego. Sobre lo que sabemos y aquello que aún no conocemos de
nuestra estrella ... 7
El Moby Dick de ... Kelley Hess (IAA-CSIC) ... 11
Deconstrucción. Primeras imágenes del Telescopio Espacial James Webb ... 12
Historias ... Escalofríos ... 14
Actualidad ... 16

#### Se obtiene la primera imagen del agujero negro del centro de nuestra Galaxia

Este objeto, denominado Sagitario A\*, cuatro millones de veces más masivo que el Sol, ha sido captado por el proyecto internacional Telescopio del

Horizonte de Sucesos (EHT). El hallazgo, que cuenta con una destacada participación del IAA-CSIC constata la existencia del agujero negro y

ayuda a entender estos "monstruos" gravitacionales de los que nada puede escapar, ni siquiera la luz. La imagen muestra la región central oscura rode-

ada por una estructura brillante con forma de anillo, donde la luz se curva por la poderosa gravedad del agujero negro.

https://www.iaa.csic.es/noticias/se-obtiene-primera-imagen-agujero-negro-centro-nuestra-galaxia

### REPORTAJE

### Las estrellas de neutrones, sus entornos y su papel dentro de nuestra Galaxia

# ANALIZAMOS LOS NUEVOS ESCENARIOS QUE EL ESTUDIO DE LOS PÚLSARES HA ABIERTO LOS ÚLTIMOS AÑOS

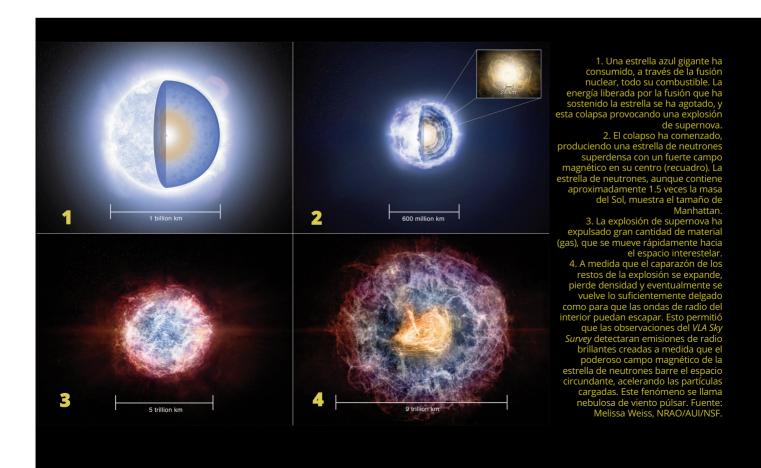
Rubén López-Coto (IAA-CSIC)

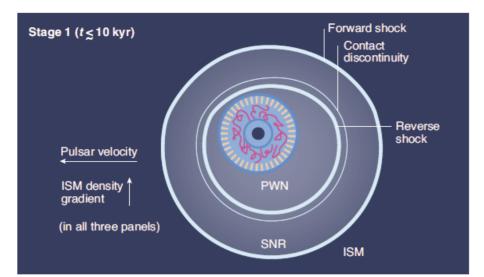
Cuando una estrella masiva agota su combustible nuclear, la presión que generaban las reacciones nucleares desciende y no puede contrarrestar su propia gravedad, de modo que la estrella colapsa en lo que se conoce como supernova. Esta explosión expulsa al medio interestelar una cantidad de partículas y energía descomunal, pero en el centro de esa explosión queda un remanente estelar.

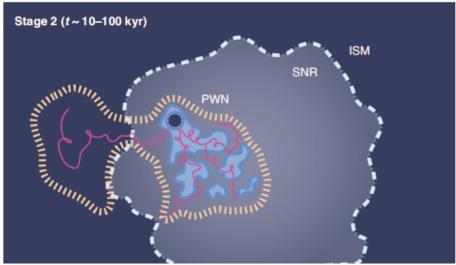
Si la estrella original era muy masiva, el remanente estelar se conoce como agujero negro -regiones del espacio de las que nada puede escapar-. Si la estrella tenía una masa intermedia, los protones y electrones de la estrella original se combinan en el colapso para formar una estrella de neutrones. Estas estrellas se hallan entre los objetos más densos del universo, con una masa superior a la masa del Sol concentrada en una esfera de diez kilómetros de radio. Debido a leyes de conservación del flujo magnético y el momento angular, la estrella de neutrones tiene una rotación muy rápida (de hasta cientos de veces por segundo) y un campo magnético muy potente. Si estas estrellas de neutrones de rápida rotación emiten radiación periódica en todo el espectro electromagnético y que es generada por la energía de rotación de la estrella, son conocidas como púlsares.

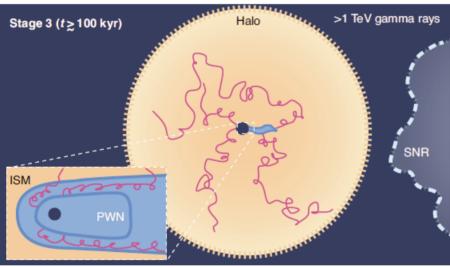
#### VIENTOS Y HALOS DE LOS PÚLSARES

En la región cercana a la estrella de neutrones, conocida como magnetosfera, debido a la intensidad de los campos magnéticos los fotones se transforman en pares de electrones y positrones que se aceleran y escapan siguiendo las líneas de los campos magnéticos. Estos electrones y positrones, junto a las líneas de campo magnético que escapan de la magnetosfera, se conocen como el viento del púlsar. Este viento, que se lleva parte de la









energía de rotación del púlsar, contiene una cantidad de energía de hasta millones de veces la energía liberada por nuestro Sol. El viento está también libre de emisión ya que no interacciona con campos ni partículas en su propagación. En un cierto momento, el viento, que viaja a velocidades cercanas a la de la luz, se encuentra con todo el material que se expulsó en la supernova que dio origen a la estrella de neutrones central y se produce un choque entre el viento y el material de la supernova. En este choque, las partículas del viento del púlsar se aceleran y comienzan a emitir a longitudes de onda que van

desde el radio hasta los rayos gamma de alta energía. Estas partículas pueden alcanzar energías mayores que los petaelectronvoltios (electronvoltio es la energía que tiene un electrón sometido al potencial de un voltio, y peta equivale a intensidades de 10<sup>15</sup>). Es, aproximadamente, la energía de una moneda cayendo desde una altura de diez centímetros, lo que puede no parecer muy impresionante, pero lo es si tenemos en cuenta que toda esa energía está concentrada en una partícula que es al menos ¡10<sup>15</sup> veces más pequeña que la moneda! La emisión constante de estas partículas reaceleradas en

Estados evolutivos en la vida de un plerión. El confinamiento temprano de las partículas y posterior escape de, al menos, las de más alta energía, forman un halo que es visible a energías de los teraelectronvoltios. Fuente: López-Coto, R. et al., Nature Astronomy, 6, 199-206 (2022)

este choque es lo que se conoce como nebulosa de viento de púlsar o plerión.

#### LAS EDADES DE LOS PÚLSARES

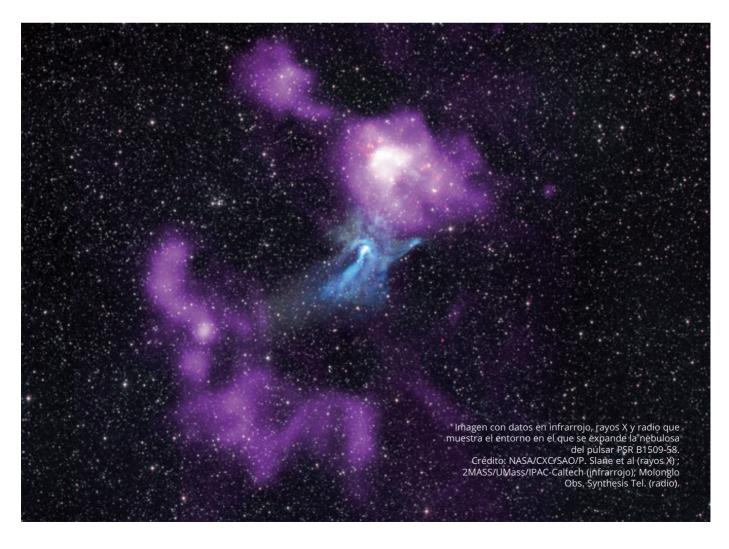
La situación se complica cuando queremos establecer qué es lo que les ocurre a estas partículas y por eso debemos distinguir diferentes estadios en la evolución de los pleriones, todos ellos ilustrados en el esquema contiguo. En la fase uno, el viento del púlsar está confinado por el material remanente de la supernova y se expande solo siguiendo el crecimiento de esta supernova. Es más, en la expansión de la supernova se forma un choque inverso que comprime aún más este viento, haciendo más complicada su expansión. Esta fase suele durar menos de diez mil años y es la que están viviendo pleriones como la Nebulosa del Cangrejo o 3C 58, el último descubierto en rayos gamma de muy alta energía por los telescopios MAGIC. En la fase dos, el choque inicial y el inverso creado por el material de la supernova expandiéndose por el medio interestelar comienzan a diluirse y el plerión se expande dentro del material del remanente de supernova e incluso fuera, adoptando formas irregulares como puede verse en el panel medio de la imagen. Hay que notar que estos electrones y positrones aún siguen confinados y ahora el choque en el que se aceleran se produce bien entre el viento del púlsar y el material de la supernova, o bien con el propio medio interestelar. Observaciones de este tipo de objetos a energías de teraelectronvoltios por parte de telescopios cherenkov han permitido estudiar la emisión de diferentes subregiones y estudiar la propagación y pérdida de energía de las partículas dentro del plerión. Esta fase dura desde los diez mil hasta aproximadamente los cien mil años, dependiendo de las características del motor central y del medio circundante. Finalmente, cuando el púlsar central empieza a inyectar menos energía en el medio interestelar y, por el movimiento propio imprimido en la explosión que dio lugar a su nacimiento, escapa del remanente de la supernova, el escenario se complica y no estaba claro hasta hace menos de un lustro. Cuando se estudiaban fuentes de este tipo en longitudes de onda como los rayos X se detectaba una fuente muy pequeña que se desplazaba a velocidades supersónicas por el medio interestelar, todavía produciendo y acelerando electrones y positrones hasta energías ultrarrelativistas1. Pero qué sucedía con estas partículas era una incógnita hasta la publicación de un artículo<sup>2</sup> en el que se detectaron dos fuentes muy extensas de rayos gamma de altas energías alrededor de dos púlsares con más de cien mil años. Dichas fuentes estaban originadas por los electrones y positrones que escapaban del plerión y formaban un "halo", por lo que se las bautizó como halos de púlsares. Estas fuentes son las que corresponden a la fase tres de la imagen, donde puede verse que las partículas escapan del plerión y se propagan libremente en el medio interestelar. A pesar de que estas partículas tengan propagación libre, debido a los campos magnéticos existentes en la galaxia las partículas no siguen trayectorias rectas, sino que se difunden en unos desplazamientos aleatorios siguiendo las turbulencias de las líneas de campo magnético.

#### EL ORIGEN DE LOS RAYOS CÓSMICOS

Estos electrones y positrones ultrarrelativistas que escapan de los pleriones y se invectan eficientemente en el medio interestelar pasan a formar parte de los omnipresentes rayos cósmicos. Se trata de partículas ultrarrelativistas cargadas que se desplazan por nuestra Galaxia permeándola isotrópicamente de una cantidad similar de partículas generadas de manera térmica y no térmica. El origen de estos rayos cósmicos es aún discutido hoy en día, más de cien años después de su descubrimiento. La composición se considera constante a lo largo de toda la Galaxia, y en su mayoría están compuesto de protones y helio, pero la pequeña fracción formada por electrones y positrones es muy importante para estudiar su propagación e invección por posibles fuentes cercanas. La cuestión es que los electrones y positrones, al tener masas dos mil veces más pequeñas que las de los protones, pierden energía mucho más rápidamente y, por tanto, los de más alta energía solo pueden proceder de fuentes vecinas, o de otra manera perderían la energía demasiado

rápido y no los detectaríamos. Por otro lado, los electrones y positrones, a pesar de ser creados en la misma proporción en púlsares, muestran orígenes muy diferentes en la Galaxia. Los electrones se consideran rayos cósmicos primarios porque se aceleran directamente en fuentes como remanentes de supernova, mientras que los positrones se consideran rayos cósmicos secundarios porque se crean en las colisiones de rayos cósmicos primarios con partículas del medio interestelar. Es por esto que la proporción de unos sobre otros debía ser constante, o al menos una función continua sobre la energía, pero desde hace algunos años se sabe experimentalmente que no es así y se miden más positrones de los que se esperan por colisiones de rayos cósmicos en el medio interestelar.

Las fuentes mundanas consideradas como principales candidatas para explicar estos positrones son los púlsares, mientras que hay explicaciones más exóticas que sostienen que estos positrones podrían provenir del decaimiento o la aniquilación de materia oscura en la Galaxia. La primera condición para que los púlsares fuesen la



explicación de estos rayos cósmicos era la invección eficiente de partículas de alta energía en el medio interestelar, y eso quedó resuelto con el descubrimiento de estos halos creados por partículas de centenares de teraelectronvoltios. Otra de las características importantes de la invección de estas partículas es la velocidad a la que estas se desplazan. Como decíamos arriba y puede verse en el esquema de la evolución del plerión, las partículas cargadas que se desplazan en un campo magnético turbulento lo hacen siguiendo caminos aleatorios en lo que se conoce como propagación por difusión. A nivel macroscópico, este desplazamiento puede ser caracterizado por lo que se conoce como coeficiente de difusión, que puede ser considerado un representante de la velocidad de propagación. Pues bien, de acuerdo con las medidas directas de rayos gamma emitidos por los halos de púlsares, se descubrió que este coeficiente de difusión era varios órdenes de magnitud inferior al que se considera para la propagación media en la galaxia. Por un lado, este coeficiente de difusión medio se basa en diferentes suposiciones, mientras que el medido en los halos es una medida directa; pero, por otro lado, la extrapolación del coeficiente de difusión medido en la región rodeando a los halos a regiones fuera de los mismos es también una asunción que no está respaldada a día de hoy por ninguna medida experimental. De modo que el problema de los positrones extra medidos en la Tierra sigue quedando abierto: los púlsares sí que inyectan eficientemente positrones (y electrones)

en el medio interestelar a través de los halos, pero si estos se desplazan a la misma velocidad medida dentro de los halos en todo el medio interestelar, los de más alta energía no nos llegarían desde ningún púlsar cercano conocido y otras explicaciones como púlsares desconocidos u otras fuentes tienen que ser invocadas para explicar este exceso de positrones.

#### **EL FUTURO**

Para acabar, me gustaría echar un vistazo al futuro en la observación y estudio de estos complejos de púlsares, pleriones y halos de púlsares, sobre todo enfocados a su observación en rayos gamma de alta energía:

Los púlsares se hallan entre las fuentes galácticas más abundantes visibles en rayos gamma, y el futuro *Cherenkov Telescope Array Observatory* (CTAO), en el que el Instituto de Astrofísica de Andalucía tiene una gran participación, con su umbral de energía más bajo que la actual generación de telescopios cherenkov, permitirá el estudio de los límites energéticos en la emisión de estas fuentes para localizar con exactitud dónde se aceleran las partículas que generan la emisión pulsada que medimos en la Tierra.

Los pleriones son las fuentes galácticas más abundantes visibles en rayos gamma de muy alta energía, y CTAO se ocupará del estudio de estas fuentes, multiplicando el número de fuentes detectadas hasta llegar a los cientos. Estudiadas con una mejor resolución angular y energética, permitirán un análisis pormenorizado de la aceleración y

propagación de los electrones y positrones ultrarrelativistas acelerados en este tipo de fuentes. Para un estudio pormenorizado de estas fuentes, observaciones en multibanda son esenciales.

Los halos de los púlsares son más complicados de abordar debido a la extensión física de las fuentes, que implican o bien una extensión angular del orden de grados si estas son cercanas, o una intensidad muy baja si son lejanas, todo ello debido a la baja cantidad de energía que contienen. Para esto, la sensibilidad sin parangón de CTAO, así como las nuevas cámaras con un campo de vista mucho más amplio que el de la actual generación de telescopios cherenkov, permitirán tratar de resolver los problemas abiertos acerca de si la velocidad de propagación de electrones y positrones en el medio interestelar rodeando a estas fuentes es similar en todas ellas o depende de la región en que estén localizadas. Igualmente, permitirá investigar si esta reducción de velocidad con respecto a la media en la Galaxia es propia de regiones rodeando este tipo de fuentes o se puede extender a toda la Galaxia, lo que haría temblar los cimientos de los modelos de propagación de rayos cósmicos dentro de la Galaxia tal y como los entendemos actualmente.

- 1. Caraveo, P. et al., Science, 301, 1345-1347 (2003)
- 2. "Extended gamma-ray sources around pulsars constrain the origin of the positron flux at Earth". Abeysekara, A. U. et al., Science 358, 911–914 (2017).

López-Coto, R. et al., Nature Astronomy, 6, 199- 206 (2022).



### REPORTAJE

### Del polvo al fuego

### Sobre lo que sabemos y aquello que aún no conocemos de nuestra estrella

EL IAA-CSIC PARTICIPA
EN LA MISIÓN SOLAR
ORBITER Y EN EL
TELESCOPIO SOLAR
EUROPEO, DOS DE LOS
PROYECTOS MÁS
AMBICIOSOS PARA
CONOCER EL CAMPO
MAGNÉTICO DE
NUESTRA ESTRELLA

Lucía Casas (Ayudas CSIC-FBBVA de Comunicación Científica)

Horacio Oliveria es el gran buscador, aunque Gregorovius siempre le critica que ya lleva en el bolsillo aquello que anda buscando. De Horacio se pueden decir muchas cosas, la más importante, quizás, que no existe y que es un personaje semificticio de *Rayuela* (Julio Cortázar, 1963). Lo segundo más importante, y esto es seguro, es que a veces su inventor le atribuye conclusiones que pueden ser, a la vez, poesía y verdad: "Probablemente de todos nuestros sentimientos el único que no es verdaderamente nuestro es la esperanza. La esperanza le pertenece a la vida, es la vida misma defendiéndose". De modo que, si la esperanza concierne a la vida, ¿qué nos queda a nosotros?

Al igual que Horacio, los humanos -no ficticios- buscamos, con la desventaja de que aquello que queremos encontrar a menudo no cabe en un bolsillo. Hay respuestas a preguntas tan inmensas que no hay bolsillo, gabardina ni edificio que pueda esconderlas. Inevitablemente acaban siendo encontradas; fuera del universo *Rayuela* las respuestas llegan gracias al trabajo de personas y personas, día tras día, pese al paso de los años. Con tesón y, por qué no, con un poco de esperanza que nos brinde la vida. De modo que eso es lo que tenemos: la fuerza de la mente humana. Quedan respuestas pen-

dientes, y en lo relativo a lo que vamos a contar, quizás alguna se descubra mañana a raíz del esfuerzo de hoy.

A diario nos llega energía de nuestra estrella que permite, entre otras cosas, que exista vida en la Tierra. Desde la antigüedad la humanidad se pregunta por la naturaleza del Sol: existen registros del año 1300 a.C. sobre el seguimiento de eclipses solares en Mesopotamia, y ya en el 104 a.C. los astrónomos chinos estimaron que la duración del año debía ser de 365 días con el fin de establecer su calen-

dario lunisolar. Sin embargo, hasta hace

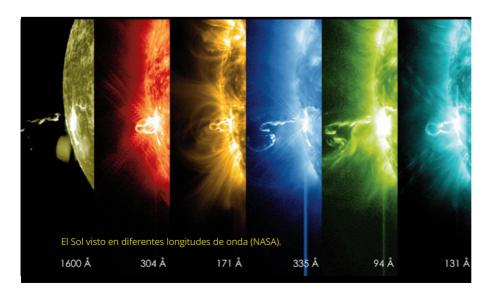
relativamente poco no éramos capaces de

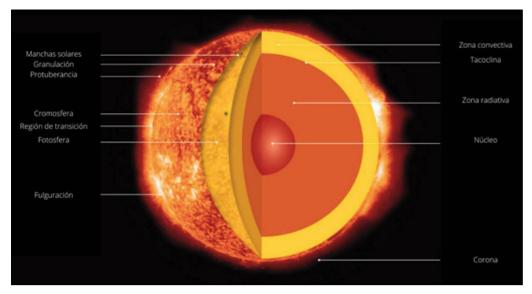
entender la complejidad de nuestra estrella, y todavía desconocemos cómo se producen muchos de los fenómenos que tienen lugar en su interior. El Sol es la razón última de nuestra existencia, pero es mucho más que nuestra fuente de energía. Para los investigadores José Carlos del Toro y Luis Bellot, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), el Sol es y ha sido un objeto de fascinación



y estudio a partes iguales.

Cada segundo el núcleo del Sol convierte cuatro millones de toneladas de hidrógeno en energía que inicia un épico y larguísimo viaje hasta la superficie de la estrella. Tras producirse en el núcleo, los fotones deben atravesar las diferentes capas del Sol, con temperaturas y densidades muy variadas. Solo en traspasar la zona radiativa, que se sitúa justo encima del núcleo, los fotones pueden tardar alrededor de 170 000 años. Esto se debe a que, en esta capa, el plasma (gas cargado eléctricamente o gas ionizado) se encuentra tan condensado que los fotones -que en condiciones de "vacío" viajarían





Anatomía del Sol. / Solar Orbiter (ESA), imagen interpretada por la autora.

a la velocidad de la luz- son continuamente absorbidos y remitidos en direcciones aleatorias, de modo que a un fotón le puede tomar mucho tiempo atravesar esta capa. Y el viaje no acaba ahí: todavía debe recorrer la zona convectiva, la fotosfera, la cromosfera y la corona para finalmente salir disparado y llegar a la Tierra en unos generosos ocho minutos. Así, desde el polvo, estudiamos el fuego y seguimos el baile de su luz.

#### **LO QUE NOS LLEGA DE LA LUZ**

Gracias a los fotones que recibimos del Sol conocemos muchas características de nuestra estrella, como su temperatura y su composición química, pero esta produce energía que va mucho más allá de lo que nuestro ojo es capaz de ver. Además de la luz visible, la luz solar está compuesta en un siete por ciento por radiación ultravioleta y en un cuarenta y seis por ciento por radiación infrarroja. Utilizando diferentes instrumentos diseñados para centrarse en cada rango del espectro electromagnético, se puede estu-

diar la a veces frenética actividad del Sol: desde las manchas solares, estructuras que van cambiando con el tiempo hasta desaparecer y que se perciben como parches mucho menos brillantes que la fotosfera, hasta las evecciones de masa coronal, erupciones de millones de toneladas de plasma que salen disparadas del Sol a cientos o miles de kilómetros por segundo y que pueden ocasionar tormentas geomagnéticas en la Tierra si están orientadas hacia nuestro planeta. Las granulaciones, las protuberancias, las fulguraciones... todos estos fenómenos que se producen en la estrella se deben al campo magnético de la misma, de ahí que su estudio hava cobrado gran importancia en los últimos años. No solo para conocer mejor la naturaleza del Sol, también para protegernos y saber cuándo debemos hacerlo.

#### **VIVIR EN UNA ESTRELLA**

Vivir dentro del Sol podría parecer un escenario digno de película de ciencia ficción, pero lo cierto es que nosotros vivi-

mos, en efecto, dentro de nuestra estrella. Tanto la Tierra como todo el Sistema Solar se encuentra inmerso en la heliosfera, una región del espacio que se ve influenciada por el viento solar y su campo magnético. Luis Bellot, investigador del Departamento de Física Solar del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) define el viento solar como "un flujo continuo de partículas cargadas, de iones, que salen de la superficie del Sol y se expanden por todo el Sistema Solar". Existen dos tipos diferentes de viento solar atendiendo a la velocidad a la que se propagan y a dónde se produce este fenómeno, el viento solar rápido y el lento. "No sabemos cómo se produce el viento solar, pero sí sabemos que el viento rápido se produce en las zonas donde el campo magnético de la estrella es abierto. Como las líneas del campo magnético están abiertas, las partículas pueden salir v fluir desde la superficie fácilmente a lo largo de estas. Por el contrario, el viento solar lento ocurre en aquellas zonas donde las líneas de campo son cerradas, lo que dificulta el movimiento de las partículas y hace que escapen a una velocidad menor", concluye Bellot.

El viento solar no constituye de por sí ningún problema para la Tierra, ya que su campo magnético desvía estas partículas hacia los polos del planeta creando las hermosísimas auroras boreales y australes de regalo. "Sin embargo -comenta Jose Carlos del Toro, investigador del mismo departamento-, de forma episódica se producen conversiones de energía brutales, que producen por un lado fulguraciones muy notables que pueden llegar a emitir incluso en rayos X y, por otro, energía cinética, de movimiento, que acelera las partículas del viento solar hasta que acaban siendo expelidas a velocidades cercanas a la mitad de la velocidad de la luz". Cuando estas partículas cargadas



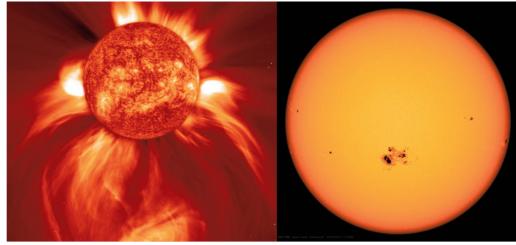


eléctricamente, aceleradas y altamente energéticas alcanzan el escudo geomagnético de la Tierra y son capaces de atravesarlo, impactan en la ionosfera y alteran el estado físico de esta capa, afectando a las telecomunicaciones, a los vuelos en avión o incluso a los habitantes de la Estación Espacial Internacional (ISS), quienes de hecho tienen una suerte de "habitación del pánico" a su disposición para protegerse de estos eventos.

Para poder entender mejor qué mecanismo produce estas brutales conversiones de energía es vital comprender cómo funciona el campo magnético de nuestra estrella. El Sol es una enorme dinamo que cada once años invierte sus polos; esta transición es lo que conocemos como ciclo solar. Dependiendo del momento del ciclo en que se encuentra la estrella su actividad es muy diferente; así, el mínimo solar se caracteriza por una disminución de la actividad, con menor aparición de manchas solares y de fulguraciones... mientras que en el máximo solar se producen numerosas tormentas solares de distinta intensidad. Pese a ello, todavía no sabemos cuándo se van a producir con exactitud estas tormentas. Para Jose Carlos del Toro es imprescindible seguir estudiando estos fenómenos con el fin de poder hacer predicciones fiables, ya que "cada vez somos más dependientes de nuestro entorno espacial: para hablar todos los días usamos teléfonos que utilizan, como poco, la ionosfera como espejo reflector, y que típicamente se sirven de los satélites de comunicaciones para casi todo. Ver la televisión, googlear en internet, navegar tanto por barco como por avión o en nuestros propios vehículos... toda nuestra vida es, cada vez, más dependiente de la tecnología v de nuestro entorno espacial. Este entorno es vulnerable a los fenómenos que se originan en el Sol, por ello es crucial estudiarlos para poder anticiparnos a ellos".

#### **AL SOL DEL SUR**

En Granada se cuentan más de tres mil horas de Sol al año. Además de una buena noticia para los turistas, esta luz es esencial para los investigadores del departamento de Física Solar del IAA-CSIC. Luis Bellot y Jose Carlos del Toro llevan años estudiando el campo magnético del Sol. Los nuevos proyectos como la misión *Solar Orbiter* (ESA y NASA), ya activa, y el EST (Telescopio Solar Europeo), que comenzará a construirse en 2023, nos ayudarán a comprender mejor de qué manera se produce el mag-



Eyecciones de masa coronal (ESA) y manchas solares (Wikipedia Commons).

netismo del Sol y cómo este genera los distintos fenómenos que tienen lugar dentro de la estrella y en la heliosfera. Ambos provectos cuentan con la participación del IAA-CSIC y suponen, además, un paso de gigante a nivel tecnológico. Solar Orbiter estudiará el Sol desde una órbita más cercana que la de Mercurio. Además, lo hará con una inclinación que le permitirá estudiar los polos de la estrella, que juegan un papel muy importante en el magnetismo y en los cambios de ciclo. La nave cuenta con diez instrumentos tanto de medición remota como in situ. Con ellos, podrá analizar las partículas de viento solar, fotografiar el Sol desde una distancia privilegiada y hacer espectropolarimetría, una técnica necesaria para poder entender los campos magnéticos que subyacen a estructuras como las manchas solares, las granulaciones o las protuberancias.

Las contribuciones de la ciencia española en esta misión no son triviales; el IAA ha diseñado uno de los instrumentos de sondeo remoto, PHI (*Poliarimetric and Heliosismic Imager*), además del desarrollo de un código (llamado de inversión de la ecuación de transporte radiativo) cuya finalidad es traducir las medidas de la luz

que tome el instrumento en parámetros físicos del Sol, como el campo magnético y la velocidad de rotación de la estrella. Lo novedoso de este código es que permite que los datos en bruto se interpreten a bordo de la nave, sin intervención humana. Solar Orbiter realiza el trabajo que en otras misiones se lleva a cabo con ordenadores en Tierra desde el espacio y de manera autónoma. María Balaguer, ingeniera eléctrica de la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT) del Instituto, ha vivido todo el proceso de desarrollo de Solar Orbiter. Sobre el código elaborado para la misión, María destaca: "El código fue un reto tecnológico muy grande. Ha sido el primero que se ha hecho de ese tipo en el IAA, y es la primera vez que un dispositivo electrónico es capaz de hacer cálculos complicados a bordo... no quedaba otra, porque no se podía mandar tanta información desde tan lejos. Además de ser todo un reto, considero que es la parte más importante del instrumento, porque al final es la novedad que aporta la misión a nivel tecnológico".

En cuanto a PHI, José Carlos del Toro resume: "El objetivo principal de la misión de *Solar Orbiter* es comprender



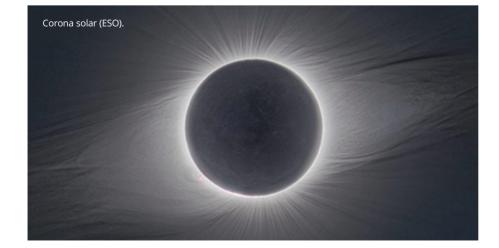


Recreación artística del Telescopio Solar Europeo (EST).

cómo el Sol genera y controla la heliosfera. Esta gran pregunta se desglosa en otras cuatro más específicas, relacionadas todas ellas con la actividad magnética del Sol. Para tres de estas preguntas la labor de SO/PHI es fundamental. Este instrumento es un generador de imágenes diseñado para proporcionarnos mediciones de muy alta resolución que muestren el campo magnético de la fotosfera (la superficie luminosa de la estrella) y cartografiados de su brillo. Además de esto, SO/PHI es el único instrumento que va a ser capaz de sondear el interior del Sol haciendo mapas de velocidad del movimiento de la fotosfera". Solar Orbiter ya ha publicado sus primeros resultados, como el primer campo magnético del Sol obtenido desde el espacio de manera autónoma, y se espera que la misión obtenga información trascendental sobre la naturaleza del Sol en los próximos años.

Por otra parte, el Telescopio Solar Europeo (EST, por sus siglas en inglés) será el instrumento de referencia para observar el Sol desde Tierra una vez se construya en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Su espejo primario tendrá un diámetro de 4.2 metros y contará con un sistema de óptica adaptativa multiconjugada, tecnología necesaria para minimizar el emborronamiento que las turbulencias de la atmósfera terrestre generan en las imágenes del telescopio. El objetivo de EST es estudiar el comportamiento de la fotosfera, la cromosfera y la corona para entender cómo se producen fenómenos como las manchas solares o las fulguraciones con una resolución sin precedentes: debido a su gran diámetro, el telescopio podrá distinguir estructuras en el Sol de tan solo treinta kilómetros, diminutas "parcelas" teniendo en cuenta que el radio de nuestra estrella es de 696 340 kilómetros.

Sin embargo, el objetivo del telescopio va mucho más allá. Luis Bellot, investigador que lidera la participación del IAA-CSIC



#### ESPECTROPOLARIME... ¿QUÉ?

La polarización es el elemento clave para estudiar el magnetismo solar. La espectropolarimetría es la única técnica que nos puede ofrecer un "plano" detallado de la topología de los campos magnéticos de la estrella; pero, ¿en qué consiste? Luis Bellot explica que "la polarización es, simplemente, cómo está vibrando la luz: la luz puede vibrar de muchas formas (linearmente, circularmente, hacia derecha o izquierda, etcétera). La polarización es muy importante para el estudio de los campos magnéticos porque, en presencia de estos, a la luz le ocurren dos cosas: la primera es que, las líneas espectrales que estudiamos gracias a la espectroscopía se desdoblan en varias componentes en presencia de un campo magnético. Y, además, la separación entre estas componentes nos dice cuán fuerte es el campo magnético". El estudio de la luz polarizada desenmascara los campos magnéticos y su intensidad, de ahí que la espectropolarimetría sea una técnica imprescindible para el estudio del Sol y de los fenómenos ocasionados por su magnetismo.

en el EST, comenta: "Con este telescopio vamos a estudiar el acoplamiento magnético de las distintas capas de la atmósfera solar. Significa que tenemos que medir el campo magnético en todas estas capas, y tenemos que hacerlo no solamente en las estructuras magnéticas más intensas, como son las manchas, o en las regiones más activas, como los polos. También vamos a estudiar los campos magnéticos más débiles y nos centraremos en capas menos superficiales del Sol, como la cromosfera, que juega un papel muy importante como interfaz hacia la corona. Es esencial entender cómo funciona esa región de transición para entender cómo funciona la corona solar, y en la cromosfera los campos magnéticos son muchísimo más pequeños, con lo cual medirlos es todavía más difícil. Ahora mismo no somos capaces, con los instrumentos y telescopios que tenemos, de medir el campo magnético cromosférico de forma sistemática, y esto es lo que vamos a hacer con el Telescopio Solar Europeo". Uno de los grandes enigmas que tratarán de responder estas dos misiones es por qué la corona solar, tan alejada del núcleo de la estrella, está mucho más caliente que la cromosfera y la fotosfera. En la corona el plasma se encuentra a más de un millón de grados, mientras que en la cromosfera la temperatura varía desde los cuatro mil hasta los veinticinco mil. Aunque haya motivos de peso para pensar que el campo magnético está detrás de este fenómeno, quedan todavía incógnitas en torno al Sol. Lo bueno es que, como Horacio, seguimos buscando respuestas. Siempre buscando, porque eso es lo que hacemos.

### EL MOBY DICK DE...

#### EL *VERY LARGE ARRAY*

ada te deja sin aliento como pararte en mitad del desierto para contemplar una antena de radio de noventa toneladas. En 2005, acercándome a mi último año en la universidad y antes de saber lo que quería ser "de mayor", fui a Socorro (Nuevo México) para un programa de verano en el Observatorio Nacional de Radioastronomía (EEUU). Mis padres condujeron seis horas desde nuestra casa en Colorado hasta el medio de la nada. Llegamos a Socorro, el pequeño pueblo donde viviría, y luego continuamos para ver el radiotelescopio para el que se construyó el centro de operaciones en Socorro, el Very Large Array\*.

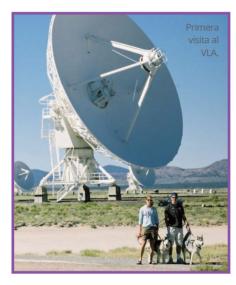
Si bien los astrónomos no siempre son creativos con sus nombres, sí son descriptivos. El viaje hasta el telescopio fue aburrido. La carretera ascendía por terrenos baldíos hasta una alta planicie desértica. En algún lugar había una gran matriz de antenas, pero el camino se extendía recto hasta el siguiente conjunto de montañas. Yo estaba leyendo en la parte trasera del coche cuando, en mitad de la meseta, cruzamos las vías del tren y nos detuvimos. Fuera de la ventanilla se alzaba una antena blanca gigante, sostenida por un entramado de vigas. Desde abajo, el plato, que medía veinticinco metros y se movía con un suave y profundo zumbido, cubría la mitad del cielo. No puedo describir la abrumadora sensación de asombro al encontrarme con esta estructura en medio de un desierto... pero resulta que veinticinco metros parecen mucho más grandes cuando se ciernen sobre ti. A lo largo de las vías del tren, en cualquier dirección, había más de estos imponentes centinelas, observando el cielo en silencio.

Pasé el verano aprendiendo sobre la matriz, su funcionamiento y las interesantes cuestiones científicas que ayudaba a resolver. El VLA es una colección de veintisiete antenas que trabajan al unísono para producir imágenes del cielo en radio; una matriz así se conoce como interferómetro, y utiliza la naturaleza ondulatoria de la luz para producir imágenes de restos de supernovas, galaxias espirales o chorros de partículas expulsadas por agujeros negros supermasivos,

#### ... KELLEY HESS (IAA-CSIC)



Doctora en Astronomía por la Universidad de Wisconsin-Madison (EE UU), trabaja como investigadora en el grupo de coordinación de la participación española en el *Square Kilometre Array* del IAA-CSIC. Su trabajo se centra en el estudio de la evolución de gases y galaxias en diferentes entornos. Participa en colaboraciones internacionales y proyectos como *COSMOS HI Legacy Extragalactic Survey* (CHILES) con el VLA, *Apertif* con el telescopio Westerbork y LADUMA con el telescopio MeerKAT.



entre otros. Las antenas están dispuestas a lo largo de las vías del tren en forma de una "Y" gigante, lo que aporta la capacidad de resolver objetos en dirección norte-sur y este-oeste en exposiciones de imágenes cortas. Las antenas se posan sobre pedestales junto a las vías para que puedan moverse y cambiar su configuración, y su ubicación se puede reproducir con una precisión de milímetros, un requisito para una buena calidad de imagen, y la reconfiguración le da al VLA una especie de modo zoom, casi como un teleobjetivo en una cámara SLR. En su configuración más compacta, las antenas se encuentran a un kilómetro de distancia entre sí y el telescopio es sensible a grandes estructuras en el cielo (algo así como ver los edificios de una ciudad desde arriba). En su configuración más extendida, la distancia máxima entre antenas es de treinta kilómetros y el VLA puede ver estructuras con una resolución treinta veces mayor, como si pudiera distinguir los ladrillos en la acera a esa misma distancia.

Los telescopios como el VLA se construyen en lugares remotos para evitar nuestra influencia. En particular, los radiotelescopios sufren la "interferencia de radiofrecuencia" (RFI) que generan nuestros teléfonos móviles, estaciones de radio, radares de aeropuertos, GPS/Galileo y 5G, por nombrar algunos. El entorno de radio se ha vuelto cada vez más ruidoso y desafiante para los radioastrónomos, y ahora hay regiones enteras del universo inaccesibles porque la fuerte interferencia de radio de los satélites inunda la débil señal de los objetos astronómicos. No obstante, el *Very Large Array* ha revolucionado lo que sabemos sobre el universo de muchas maneras: por ejemplo, descubrió la presencia de hielo en Mercurio, tomó imágenes del centro de nuestra Galaxia y ha caracterizado los estallidos de rayos gamma (las explosiones más energéticas del universo).

Para mi proyecto de verano, estudié el centro de nuestra galaxia vecina más cercana, Andrómeda. Aproveché las diferentes configuraciones para aprender que, a baja resolución, el centro de Andrómeda está envuelto en una nube difusa de emisión en radio, mientras que a alta resolución se pueden ver a través de las nubes las fuentes puntuales, incluyendo el agujero negro supermasivo central.

El VLA se construyó hace más de cuarenta años, pero con las actualizaciones continúa haciendo ciencia innovadora. Como estudiante, aprendí que se necesita un equipo grande y diverso para hacer que un instrumento tan increíble funcione: no solo especializado en astrofísica, sino también en ingeniería, diseño de software, carpintería, electricidad, comunicación científica, mecánica, etc. Trabajar con datos del VLA ha capacitado a generaciones de estudiantes de radioastronomía para enfrentar los desafíos del RFI y construir telescopios aún más ambiciosos, como el Square Kilometre Array, en el que ahora participo como miembro de la IAA. Desde mi verano en Socorro, he observado con radiointerferómetros en todo el mundo: en Australia, India, Holanda y Sudáfrica. Todos ellos son únicos a su manera, pero cada vez que tengo la oportunidad de viajar regreso al Very Large Array, donde siento que vuelvo a casa, donde comenzó mi carrera y mi pasión.

# PRIMERAS IMÁGENES DEL JAMES WEBB

NASA, en colaboración con ESA y CSA, ha revelado las primeras imágenes del telescopio James Webb. Las imágenes, que muestran un universo nunca visto, fueron seleccionadas por un grupo de representantes de las instituciones asociadas y revelan las capacidades de los cuatro instrumentos científicos de última generación del telescopio Webb

CRÉDITO IMÁGENES: NASA, ESA, CSA Y STSCI.

#### LA IMAGEN MÁS PROFUNDA

Esta es la imagen infrarroja más profunda y nítida del universo distante jamás obtenida. Conocida como el primer campo profundo del Webb, retrata el cúmulo de galaxias SMACS 0723: miles de galaxias, incluidos los objetos más débiles observados en el infrarrojo, se observan por primera vez. Esta porción del universo es aproximadamente del tamaño de un grano de arena sostenido con el brazo extendido.

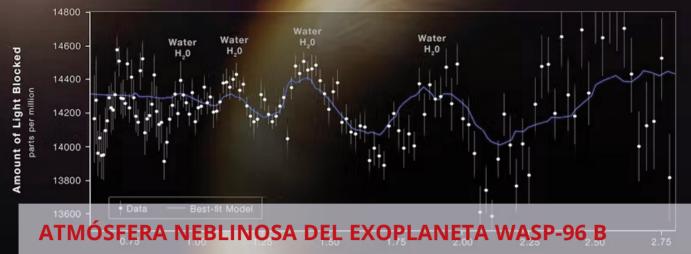
LA IMAGEN MUESTRA EL CÚMULO DE GALAXIAS SMACS 0723 TAL COMO ERA HACE 4600 MILLONES DE AÑOS. LA MASA COMBINADA DE ESTE CÚMULO DE GALAXIAS ACTÚA COMO UNA LENTE GRAVITATORIA, MAGNIFICANDO GALAXIAS MUCHO MÁS DISTANTES QUE SE HALLAN DETRÁS DE ÉL.

### EL PRECIPICIO DONDE NACEN LAS ESTRELLAS

Esta imagen, que evoca montañas iluminadas, es en realidad el borde de la cavidad gaseosa gigante dentro de NGC 3324. El área cavernosa ha sido excavada en la nebulosa por la intensa radiación ultravioleta y los vientos estelares de estrellas jóvenes, calientes y extremadamente masivas ubicadas en el centro de la burbuja, sobre el área que se muestra en esta imagen.

CAPTURADA EN LUZ INFRARROJA POR EL JAMES WEBB, ESTA IMAGEN REVELA LAS FASES INICIÁLES DE LA FORMACIÓN ESTELAR, PREVIAMENTE OCULTAS.

### DECONSTRUCCIÓN



La observación del Webb de este planeta caliente e "hinchado" fuera de nuestro Sistema Solar revela señales inconfundibles de agua, junto con evidencias de bruma y nubes que no habían sido detectadas en estudios previos de este planeta.

#### EL FIN DE UNA ESTRELLA

NGC 3132, conocida como la Nebulosa del Anillo Sur, se halla a unos dos mil años luz de distancia. Se trata de una nebulosa planetaria, una estrella central rodeada de un cascarón brillante de gas que constituye la etapa final de las estrellas como el Sol. El telescopio Webb ha revelado que se trata de un sistema doble de estrellas.

DOS CÁMARAS A BORDO DEL WEBB, NIRCAM (L) Y MIRI (R), CAPTURARON LA ÚLTIMA IMAGEN DE ESTA NEBULOSA PLANETARIA,

#### **GALAXIAS EN INTERACCIÓN**

Conocido como el Quinteto de Stephan, este grupo de galaxias se halla en realidad formado por cuatro (la quinta galaxia se halla más cerca, y solo forma parte del grupo de forma aparente). Se trata del primer grupo compacto de galaxias descubierto, y muestra el turbulento entorno de las galaxias en interacción. El telesocpio Webb atravesó el velo de polvo que rodea el centro de una de las galaxias y pudo revelar la velocidad y la composición del gas cercano a su agujero negro supermasivo.

ESTA IMAGEN MUESTRA CÚMULOS DE MILLONES DE ESTRELLAS JÓVENES Y BROTES DE FORMACIÓN ESTELAR, ASÍ COMO COLAS DE BARRIDO DE GAS, POLVO Y ESTRELLAS QUE ESTÁN SIENDO EXTRAÍDAS DE LAS GALAXIAS DEBIDO A LAS INTERACCIONES GRAVITATORIAS.

### **HISTORIAS**

## **ESCALOFRÍOS**

#### POR SEBASTIANO DE FRANCISCIS (ESTACIÓN BIOLÓGICA DE DOÑANA, EBD-CSIC)

https://lacienciaesaburrida.wordpress.com

Londres, sala de interrogatorios del centro operativo del MI6. Una mesa de metal gris, dos sillas, una lámpara en el medio. El agente enciende la grabadora: "Ahora puede hablar Mr. Lactowsky Kasei..."

Mr. Kasei (se aclara la voz): Biopreparat fue una agencia de guerra biológica de la Unión Soviética fundada en 1973. Era una vasta red de laboratorios secretos, cada uno centrado en un agente patógeno diferente.... Agente: Por favor, Mr. Kasei, POR FAVOR, ¿Usted cree que he nacido aver? Ahora me dirá que Biopreparat, la cual de manera oficial era una empresa nacional farmacéutica, fue un sistema de dieciocho institutos de investigación, que ahí durante más de veinte años un ejército de treinta mil personas entre científicos y técnicos desarrollaron armas biológicas basadas en diferentes patógenos: Bacillus anthracis (patógeno del carbunco o ántrax maligno), el ebolavirus, el marburgvirus, la Yersinia pestis (patógeno de la peste bubónica), la Coxiella burnetii (patógeno de la fiebre Q), y la viruela mayor...¹ Había de todo, y tiene tela, el BWC entró en vigencia en 1975!2 ¿Tengo que seguir? Sorpréndame Mr. Kasei, antes de que nos pongamos nerviosos...; Que sabe de Nikolai Ustinov<sup>3</sup>?

Mr. Kasei (se abre ligeramente la corbata): Ehm... era el 16 de abril de 1988. El virólogo Nikolai Ustinov estaba trabajando en su laboratorio con el virus de Marburg: cuando iba a inyectar en una cobaya una de las cepas obtenidas en laboratorio, un despiste, la aguja traspasó el guante y se pinchó un pulgar. Fue inmediatamente aislado a la espera del desarrollo de la enfermedad, para la que no había tratamiento.

A.: Ya... está todo en el diario que escribió para explicar cómo iba avanzando el virus. Voy de memoria: "mi piel desarrolló hemorragias en forma de estrella, y llego a sudar sangre directamente a través de los poros, nunca he visto nada parecido como científico". El diario a partir de ese momento parece estar escrito con sangre. Lo tene-

mos, la copia entera, desde hace treinta años. Me estoy aburriendo con usted y me dan ganas de hacerle una llamada a la agencia Rusia y mandarles a paseo con ellos. ¿Qué pasó después de su muerte?

Mr.K.: Ustinov murió poco después, el 30 de abril creo recordar. Los científicos conservaron sus muestras de sangre, el hígado y el bazo. El virus, tras ser incubado por Ustinov, había mutado y era especialmente letal en su forma aérea, pues la replicaron

semana aparecen graves hemorragias en varias partes del cuerpo y deshidratación. Su tasa de letalidad puede llegar al 90%. Sabemos todo esto ahora, e insistimos: aparatos de los ejércitos y agencias de seguridad de todo el mundo siguen jugando al 'susto o muerte'. Desarrollan nuevos patógenos, y les parece entretenido. El marburgvirus es increíblemente eficaz: bastan cinco partículas microscópicas en los pulmones de un mono para conseguir que el



Parte del complejo de Stepnogorsk. El edificio en primer plano albergaba las cámaras de aerosoles explosivos. Justo detrás se halla el laboratorio de secado de ántrax.

en laboratorio: se llamaba "variante U"... A.: La variante U, qué gran homenaje para el pobre camarada Ustinov. Bravo Mr. Kasei, empezamos a razonar.

(El agente se pone de pie y se enciende un cigarrillo)

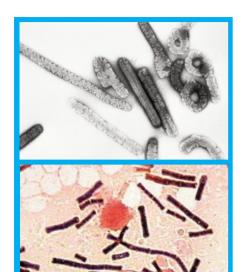
Ahora sabemos mucho más<sup>4</sup>: el virus de Marburgo es capaz de infectar casi todos los órganos, desde los linfoides hasta el encéfalo. Luego se genera el caos: daño endotelial orquestado por el virus y por la sobrerregulación de citocinas, moléculas reguladoras de la respuesta inflamatoria del sistema inmune, pero que en gran cantidad son tóxicas, y coagulación intravascular diseminada que conduce a una grave diminución de plaquetas. El inicio es repentino, con fiebre y escalofríos, y después de una

animal muera. Frente a esto el *Bacillus anthracis* es un juguete: necesita ocho mil esporas alojadas en los pulmones para garantizar la infección y la muerte. Por cierto Mr. Kasei, dígame de las instalaciones Aralsk-7, en la isla Vozrozhdeniya, Mar de Aral...

**Mr.K.:** Aralsk-7 fue construida por Stalin en 1954<sup>5</sup> y en sus laboratorios...

**A.** (tira con violencia su silla a la pared del fondo, luego con voz calma): No, pare, no quiero que me aburra. Por favor, no me repita lo que ya sabe hasta el último redactor de periodicucho de ciencia barata, ¡es ridículo! Les diré yo, que tengo buena memoria<sup>6</sup>:

1985: Cabeza de fresa Gorbachov llega al poder, nosotros y nuestros amigos yanquis



Arriba, viriones de virus de Marburg (microscopía electrónica).

Debajo, bacterias filiformes de Bacillus antrax, imagen obtenida mediante tinción de Gram a partir de sangre periférica

de una oveja.

les presionamos para abrir las puertas de las instalaciones de armas biológicas a observadores cualificados.

1988: Todos los trabajadores y familias de la isla huyen en el más sistemático barullo, enterrando doscientas toneladas de esporas de *Bacillus anthracis*, el producto estrella de las investigaciones de aquellos años, en una zanja a escasos dos metros de profundidad. A partir de ahí usted y muchos más cientí-

A partir de ahí usted y muchos más científicos y militares os dedicáis a la nueva moda del momento: disertar. En 1989, Vladimir Panchevik, uno de los cerebros de Biopreparat, pidió asilo en las islas británicas. Panchevick no es que supiera demasiado, lo sabía todo. Gracias a él, y a nuestra señora Thatcher, en 1990 se firmó un acuerdo entre Reino Unido, EEUU y URSS, para realizar una serie de visitas a las instalaciones: "visitas turísticas", con muchos protocolos, ceremonias y buenas maneras. Evidentemente Gorby quería ganar tiempo.

Durante diez años, desde el golpe y la desintegración de la URSS en 1991 hasta 2001, la isla estuvo desprotegida, quedando en un limbo administrativo, compartido por las nuevas naciones de Kazajistán y Uzbekistán. Un regalo envenenado.

1992: el coronel Kanatjan Alibeklov pidió asilo político a EEUU y habló con el Pentágono de la isla Vozrozhdeniya. Se

supo por un estudio que el cáncer en las zonas colindantes a la isla había doblado sus números en la década de 1981 a 1991. Varias zonas de Asia central habían detectado brotes de plagas excesivas. Responsables de la política científica de Rusia seguían diciendo que todo había sido destruido.

2001: EEUU y Uzbekistán firmaron un acuerdo para limpiar la isla del *Bacillus anthracis* y demás bichos. La misión no sale bien, hay muchas dificultades de logística.

(golpe de mano en la mesa)

PERO JODER, LAS MALDITAS esporas de *Bacillus anthracis* pueden permanecer más de cien años... silentes y crueles.

2008: la disminución del agua del mar de Aral descubrió el primer puente terrestre a tierra firme. Sabe usted, el cambio climático, nuestro nuevo enemigo invisible.

Ahora el viento y la misma fauna podrían traspasar los agentes infecciosos al resto de las poblaciones cercanas. Las bacterias *Bacillus anthracis*, en condiciones de estrés ambiental, producen endosporas, muy resistentes a la temperatura y a los desinfectantes químicos, frecuentemente encontradas en suelos alcalinos y en productos derivados de animales o plantas, lana o pienso. Las esporas se transforman en la forma vegetativa en medios favorables como la sangre y otros tejidos biológicos de animales... o humanos, hasta matarles, terminar todos los alimentos proporcionados por su anfitrión y volver al hibernarse como esporas<sup>7</sup>.

MR KASEI, POR FAVOR, ¿DONDE CARAJO HAN ESCONDIDO LAS DOS-CIENTAS TONELADAS DE ESPORAS DE LA ISLA? ¡HABLE YA! O su próximo viaje será en una furgoneta del KGB...

(El agente se enciende otro cigarrillo) **Mr.K.** (tragando saliva): ...

A.: Tenía que ser en la isla Vozrozhdeniya, la 'Isla renacimiento' (traducción del ruso NdR), para colmo. ¿EH? ¡PEDAZO DE HI...

(Se apaga la pantalla del televisor)

Sam: ¿Viste qué serie increíble? Me la recomendó un colega del IAA, para no dormirse durante las noches de observación en Sierra Nevada. Vamos, es una ficción, y estará todo muy exagerado y medio inventado...

María: No. No lo es, es un documentaL, ay de mí, escrupuloso. En el congreso de *Microbiología en la historia* nos enseñaros pruebas sobre las actividades del Biopreparat y demás...

(Largo silencio)

**Sam:** Phuff... me parece que la próxíma vez volvemos a ver los capítulos de *Lex, el oso detective*.

(Escalofríos)

[1] https://es.wikipedia.org/wiki/Biopreparat
[2]https://es.wikipedia.org/wiki/Convenci%C3%B3
n\_sobre\_armas\_biol%C3%B3gicas
Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la
Producción y el Almacenamiento de Armas
Bacteriológicas (Biológicas) y Toxínicas y sobre su
destrucción, generalmente conocida como la
Convención sobre Armas Biológicas (BWC). La
BWC fue puesta para su firma en 1972 y entró en

[3] https://www.abc.es/sociedad/20140811/abcivirus-marburgo-arma-biologica-

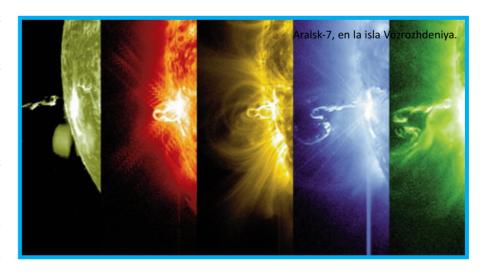
201408101715.html

vigencia en 1975.

[4] https://www.news-

medical.net/health/Marburg-Virus.aspx
[5] https://www.larazon.es/cataluna/20200610/b5madxachja7fm5fcjj5cl6uj4.html

[6] https://www.elagoradiario.com/salud/el-mar-de-aral-y-el-laboratorio-escondido-de-la-muerte/ [7] https://es.wikipedia.org/wiki/Bacillus\_anthra-cis#Descripci%C3%B3n



### La estrella más lejana

**EL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE ESTABLECE UN NUEVO RÉCORD AL CAPTAR LA LUZ DE UNA ESTRELLA OUE BRILLÓ EN LOS PRIMEROS MIL MILLONES DE AÑOS DESPUÉS DEL BIG BANG. EL IAA-CSIC PARTICIPA EN EL** HALLAZGO. OUE **APORTA UNA VISIÓN DETALLADA DE LOS ALBORES DEL UNIVERSO** 

El telescopio espacial Hubble de la NASA ha establecido un nuevo hito al captar la luz de la estrella más lejana nunca vista. Denominada Earendel, la estrella se halla tan lejos que su luz ha tardado 12 900 millones de años en llegar a la Tierra, de modo que la observamos tal y como era cuando el universo tenía solo el 7% de su edad actual. El hallazgo, en el que participa el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y publicado en la revista Nature, supone un enorme salto atrás en el tiempo con respecto al récord anterior -una estrella que vivió hace unos nueve mil millones de años-, y proporciona una visión única de los albores del universo.

"Casi no lo creímos al principio -señala Brian Welch, investigador de la Universidad Johns Hopkins y principal del trabajo-. Normalmente, a estas distancias las galaxias enteras parecen pequeñas manchas, pero esta galaxia ha sido ampliada y distorsionada por una lente gravitatoria hasta formar una media luna que hemos denominado arco del amanecer". Al estudiar esta galaxia en detalle, el equipo científico observó una estrella extremadamente magnificada a la que llamó Earendel, que significa "estrella de la mañana" en inglés antiguo.

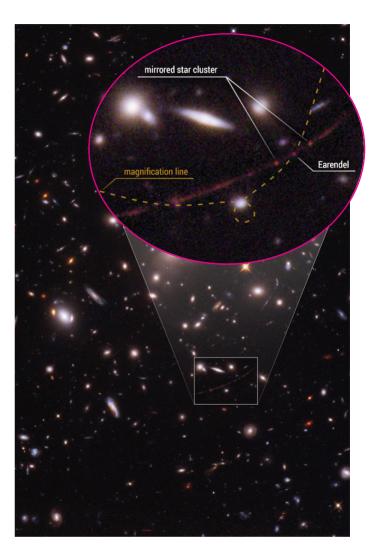
Las lentes gravitatorias son efectos comunes en el universo que se producen cuando la materia de un cúmulo de galaxias, en su mayor parte materia oscura, desvía los rayos de luz de las galaxias de fondo y actúa como una lente magnificadora o una lupa. En este caso, es el cúmulo de galaxias WHL0137-08, situado entre nosotros y Earendel, lo que distorsiona y amplifica enormemente su luz.

Si Earendel es una sola estrella y no un sistema doble, el equipo estima que tendría al menos cincuenta veces la masa de nuestro Sol y millones de veces su brillo, lo que la sitúa entre las estrellas más masivas conocidas. El descubrimiento, posible gracias a los datos del programa RELICS (Reionization Lensing Cluster Survey) de telescopio espacial Hubble, promete abrir una era inexplorada de formación estelar muy temprana.

#### UNA AFORTUNADA ALINEACIÓN

Gracias a la rara alineación con el cúmulo de galaxias que actúa como lente, la estrella Earendel aparece extremadamente cerca de una ondulación en el tejido del espacio. Esta ondulación, que en óptica se conoce como cáustica, proporciona una magnificación máxima. El efecto es análogo al de la superficie ondulada de una piscina, que crea patrones de luz brillante en el fondo de la piscina en un día soleado. Las ondulaciones de la superficie actúan como lentes y enfocan la luz del sol para obtener el máximo brillo en el fondo de la piscina. En el caso de Earendel, la cáustica hace que la estrella destaque sobre el resplandor general de su galaxia anfitriona y su brillo se magnifique en un factor de miles.

"Para predecir si la magnificación y brillo de Earendel se mantendrán estables en los próximos años o si es un fenómeno temporal, necesitábamos estimar la masa de todas las estrellas que se encuentran en la



línea de visión entre nosotros y Earendel. Estas estrellas son las que se encuentran en las alas de las galaxias próximas a Earendel, más aquellas que no pertenecen a ninguna galaxia y que componen lo que se conoce como luz intracumular. Esta ha sido específicamente la aportación que hemos realizado desde el IAA a este descubrimiento", apunta Yolanda Jiménez Teja, investigadora del IAA-CSIC que participa en el trabajo.

Dado que los datos apuntan a que Earendel seguirá estando magnificada durante años, el equipo planea estudiar esta estrella con el telescopio espacial James Webb (NASA), que estará operativo en los próximos meses. "Con Webb esperamos conLa estrella más lejana. Fuente: SCIENCE: NASA, ESA, Brian Welch (JHU), Dan Coe (STScI) IMAGE PROCESSING: NASA, ESA, Alyssa Pagan (STScI)

firmar que Earendel es realmente una estrella y medir su brillo y temperatura, lo que nos indicará su tipo y la etapa del ciclo de vida estelar en la que se halla —señala Dan Coe, investigador del Space Telescope Science Institute (STScI) y coordinador programa RELICS que participa en el trabajo—. También esperamos descubrir que la región carece de los elementos pesados que se formaron en las siguientes generaciones de estrellas, lo que sugeriría que Earendel es una rara estrella masiva pobre en metales".

### La galaxia OJ 287 podría albergar un agujero negro supermasivo binario

**EL IAA-CSIC ENCABEZA UN** TRABAJO QUE **COMBINA OBSERVACIONES DE RADIOTELESCOPIOS EN TIERRA Y EN EL ESPACIO PARA ESTUDIAR LAS REGIONES CENTRALES DE LA GALAXIA OJ 287** 

La galaxia OJ 287 no es un objeto común. Pertenece al grupo de los blázares, las fuentes de radiación continua más potentes del universo. Estos objetos muestran un agujero negro supermasivo central rodeado de un disco de gas que lo alimenta, pero se hallan entre el 10% de las galaxias que denominamos activas, y entre el porcentaje aún menor que presenta un chorro de materia que emerge de ambos polos a altísima velocidad y que vemos casi de frente. Además, OJ 287 es el único candidato a sistema binario de agujeros negros supermasivos que conocemos en nuestro vecindario cósmico. Ahora, un equipo científico internacional encabezado por el IAA-CSIC ha obtenido la imagen con mayor resolución de las regiones centrales de OJ 287 que apunta a que, en efecto, nos hallamos ante un dúo único de baile de aquieros negros.

El análisis de los datos reveló que esta espectacular fuente exhibe un chorro de plasma muy curvado que presenta varios nudos, o regiones más brillantes, cuya naturaleza se desconoce. La comparación de las observaciones espaciales y terrestres reveló una curvatura progresiva del chorro con una resolución angular creciente, en concordancia con las predicciones teóricas que sostienen que OJ 287 no alberga uno, sino dos agujeros negros supermasivos, con el secundario orbitando al primario y perforando su disco de acre-

Concepción artística del sistema binario de agujeros negros en OJ 287. Crédito: R. Hurt (NASA/JPL) & Abhimanyu Susobhanan (Tata Fundamental Research). ción dos veces cada doce años. Además, el equipo comprobó que, en tanto que la energía de las regiones 0.5 mas (7.5 años luz) más internas del chorro surge de las partículas de plasma, a distancias mayores procede tanto de las partículas como del campo magnético local.

También hallaron indicios de que el campo magnético, en las regiones más internas, se halla enroscado, en una estructura helicoidal que concuerda con los modelos de formación de cho-

"Estos resultados suponen un paso adelante en nuestro conocimiento sobre la morfología de los chorros en las cercanías del motor central. Confirman, también, el papel de los campos magnéticos en su lanzamiento y registran una vez más indicios indirectos de la existencia de un sistema binario de agujeros negros en el corazón de OJ 287", apunta Thalia Traianou, investigadora del IAA-CSIC que participa en el trabajo.

El hallazgo ha sido posible gracias a la técnica conocida como interferometría de muy larga base (VLBI por su acrónimo en inglés), que permite que múltiples radiotelescopios separados geográficamente trabajen al unísono, funcionando como un telescopio con un diámetro equivalente a la distancia máxima que los separa.

El chorro curvo de

OJ 287 a partir de imágenes de radio

máxima resolución

tomadas con la

con RadioAstron

En este caso, el equipo científico observó OJ 287 con antenas terrestres y en el espacio. La participación de la antena en órbita de diez metros Spektr-R (misión RadioAstron, del Centro Espacial Astro de Moscú y apoyada por la Agencia Espacial Rusa), permitió crear un radiotelescopio con un diámetro quince veces mayor que el de la Tierra. La imagen resultante es equivalente a distinguir, desde tierra, una moneda de veinte céntimos en la superficie de la Luna. "Nunca hemos observado el funcionamiento interno del chorro en OJ287 con un detalle tan fino", destaca Thalia Traianou (IAA-

A día de hoy, una de las principales

incógnitas relacionadas con la formación de agujeros negros supermasivos se conoce como el problema del pársec final. La teoría sugiere que todos los sistemas binarios de aquieros negros mantendrán para siempre una distancia de alrededor de un pársec (un pársec equivale a 3.26 años luz), debido a la dificultad en disipar momento angular cuando los dos agujeros negros están aislados de otras interacciones gravitatorias, y la separación entre ellos no es lo suficientemente pequeña como para que emitan ondas gravitatorias. La detección y estudio de las ondas gravitatorias emitidas por estos sistemas puede confirmar o descartar esta teoría.

0.5 mas (7.5 años luz)

Collage: Eduardo Ros (MPIfR), Imágenes: Gómez

et al. (The Astrophysical Journal, 2022)

## R Aquarii: una estrella simbiótica con rasgos de galaxia activa

R AOUARII. UNA **ESTRELLA DOBLE FORMADA POR UNA ESTRELLA GIGANTE ROIA Y UNA ENANA BLANCA**. MUESTRA **UNA MORFOLOGÍA** MUY COMPLEIA. **DONDE DESTACA EL CHORRO BIPOLAR EN FORMA DE S OUE EMERGE DE LA ENANA BLANCA Y UNA NEBULOSA EXTENSA OUE MUESTRA FILAMENTOS Y CAVIDADES** 

RAquarii es una estrella tan compleja que cuesta describirla. Se trata de un sistema doble formado por una gigante roja, una estrella de tipo solar que ya ha agotado su combustible, y una enana blanca, el núcleo "pelado" de una estrella que expulsó sus capas externas. Pero la gigante roja, a diferencia de sus plácidas análogas, sufre pulsaciones que aumentan su brillo y expanden su envoltura cada 385 días, y la enana blanca pre-

senta un disco a través del que roba material a su compañera gigante y un chorro que emerge de sus polos y a través del que libera el gas sobrante. Ahora, un análisis en detalle de las propiedades en rayos X de esta estrella doble muestra que el chorro presenta características similares a los que producen los agujeros negros supermasivos en los núcleos de las galaxias activas.

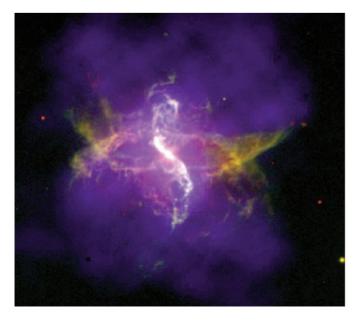
"Este peculiar sistema de estrellas ha configurado una morfología igualmente peculiar, donde todos los componentes parecen estar interconectados: la pérdida de masa de la gigante roja, la acreción de la enana blanca y el desarrollo de las intrincadas formas -apunta Jesús A. Toalá, investigador del Instituto de Radioastronomía y Astrofísica de la UNAM (México) que encabeza el trabajo-. R Aquarii está rodeada por una exquisita nebulosa en forma de reloj de arena que muestra numerosos nudos, filamentos y cavidades, y en sus regiones centrales vemos el chorro en forma de S, que también presenta nódulos con emisión más intensa en rayos X".

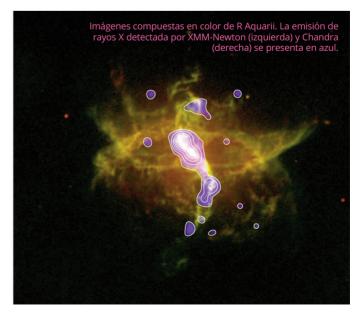
No en vano R Aquarii, situada a unos 650 años luz de distancia, es una de

las estrellas simbióticas mejor estudiadas. Sabemos, por ejemplo, que algunos rasgos de su nebulosa parecen deberse a episodios explosivos pasados: en la superficie de la enana blanca se acumuló suficiente material para desencadenar la fusión del hidrógeno, lo que bombeó energía y gas al espacio y generó, en 1073 y en la década de 1770, sendos anillos de material que se observan con telescopios ópticos.

Por su parte, los satélites de rayos X han permitido profundizar en el funcionamiento del sistema. "Gracias al satélite Chandra se corroboró que, en efecto, se estaba produciendo una caída de material hacia la enana blanca, o que los nódulos brillantes en rayos X se debían a la precesión del chorro: el eje de rotación de la enana blanca cambia gradualmente y la distribución espacial de gas que emite rayos X cambia cada pocos años (de ahí, también, la forma de S del chorro). Dado el potencial del estudio en rayos X de este objeto, hemos reanalizado observaciones del satélite XMM-Newton que llevaban ignoradas desde 2005", señala Martín A. Guerrero, investigador del IAA-CSIC que participa en el trabajo. Gracias al uso de técnicas especializadas, el equipo científico ha sido capaz de mostrar la presencia de rayos X a lo largo de toda la nebulosa, y ha hallado que el gas responsable de la emisión extendida tiene similares características físico-químicas que el que se encuentra en uno de los nódulos del chorro, lo que sugiere que el chorro es quien alimenta la burbuja caliente extendida que se observa en rayos X.

Más aún, el ángulo de precesión que aporta al chorro su forma en S se hallaría también en el origen de la morfología de la nebulosa. "Las predicciones teóricas sugieren que con ángulos de más de 40 grados se forman nebulosas con pares de burbujas extensas, y en R Aquarii vemos un ángulo de unos 50 grados. Así, sugerimos que las estructuras con forma de ampolla que observamos en los extremos del chorro se desintegran y alimentan con gas caliente la burbuja más extendida. Se trataría de un proceso similar, aunque en escala menor, a la creación de burbujas calientes producidas por galaxias activas que albergan agujeros negros supermasivos", concluye Jesús A. Toalá (IRyA-UNAM).





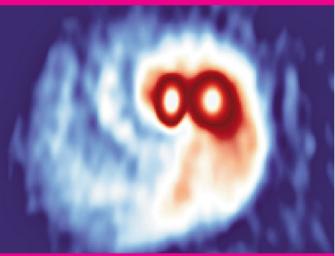
#### El inicio de la gestación de planetas en un sistema binario de estrellas

SE HA OBSERVADO
EN DETALLE CÓMO
SE REPARTE EL
MATERIAL
PRIMIGENIO QUE
PUEDE DAR LUGAR A
TRES SISTEMAS
PLANETARIOS, UNO
ALREDEDOR DE CADA
ESTRELLA Y OTRO
COMÚN

La mayoría de las estrellas forman sistemas binarios, en los que dos estrellas giran en torno a un centro común. Sin embargo, los modelos de formación planetaria, que sugieren que los planetas nacen por la lenta agregación de partículas de hielo y polvo en los discos protoplanetarios alrededor de las estrellas en formación, suelen considerar solo estrellas aisladas, como el Sol. Así, aún se desconoce cómo nacen los planetas en torno a estrellas dobles, en las que la interacción gravitatoria entre ambas juega un papel esencial. Utilizando el Very Large Array (VLA) y el Atacama Large Millimeter/ Submillimeter Array (ALMA), un grupo científico encabezado por el IAA-CSIC ha estudiado la estrella binaria SVS 13, aún en fase embrionaria, y ha proporcionado la mejor descripción disponible hasta ahora de un sistema binario en formación.

"Nuestros resultados han revelado que cada estrella presenta un disco de gas y polvo a su alrededor y que, además, se está formando un disco mayor alrededor de ambas estrellas –señala Ana Karla Díaz-Rodríguez, investigadora del IAA-CSIC y del Centro Regional de ALMA de Reino Unido (UK-ARC), en la Universidad de Manchester (UoM), que encabeza el trabajo—. Este disco muestra una estructura espiral que está alimentando de materia a los discos individuales, y en todos ellos

Concepción artística de un sistema binario de protoestrellas, Fuente: ESO/L. Calçada.



Observaciones realizadas con ALMA del polvo en los discos alrededor de

podrían formarse en el futuro sendos sistemas planetarios". Se trata de una clara evidencia de la presencia de discos alrededor de ambas estrellas y de la existencia de un disco común en un sistema doble. El sistema binario SVS 13, formado por dos embriones estelares con una masa conjunta similar a la del Sol, se encuentra relativamente cerca de nosotros, a unos 980 años luz de distancia en la nube molecular de Perseo. Las dos estrellas del sistema se hallan muy próximas una de la otra, con una distancia de solo unas noventa veces la que existe

entre la Tierra y el Sol.

El trabajo ha permitido estudiar la composición del gas, polvo y materia ionizada en el sistema. Además, se han identificado alrededor de ambas protoestrellas casi treinta moléculas diferentes, entre ellas trece moléculas orgánicas complejas precursoras de la vida (siete de ellas detectadas por primera vez en este sistema). "Esto significa que, cuando se empiecen a formar planetas alrededor de estos dos soles, los componentes básicos de la vida estarán allí", indica Ana Karla Díaz-Rodríguez (IAA-CSIC / UK-ARC).

El grupo científico ha utilizado las observaciones de SVS 13 tomadas por el VLA durante treinta años, junto con nuevos datos de ALMA, y ha seguido el movimiento de ambas estrellas a lo largo de este periodo, lo que ha permitido inferir su órbita, así como la geometría y orientación del sistema, junto con varios parámetros fundamentales, como la masa de las protoestrellas, la de los discos y su temperatura.

"En el IAA comenzamos a estudiar este sistema hace veinticinco años. Nos llevamos una sorpresa cuando descubrimos que SVS 13 era una binaria en radio, porque en el visible aparece una sola estrella. Normalmente, los embriones estelares se detectan en radio, pero solo se hacen visibles al final del proceso de gestación. Era muy extraño descubrir un par de estrellas gemelas donde una parecía haber evolucionado mucho más rápido que la otra. Diseñamos varios experimentos para obtener más detalles y averiquar si en un caso como este alguna de las estrellas podría formar planetas. Ahora hemos visto que ambas son muy jóvenes, y que ambas pueden formar planetas", indica Guillem Anglada, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que coordina los estudios de SVS 13.

De hecho, en la literatura científica SVS 13 ha generado mucho debate, ya que algunos trabajos lo consideran extremadamente joven y otros en una fase de formación algo posterior. Este nuevo estudio, probablemente el más completo de un sistema estelar binario en formación, no solo aporta luz sobre la naturaleza de las dos protoestrellas y de su entorno, sino que también proporciona parámetros cruciales para poner a prueba las simulaciones numéricas de las primeras etapas de la formación de sistemas binarios y múltiples.

### Una posible galaxia satélite de M33, una galaxia vecina del Grupo Local

EL HALLAZGO SE
ENMARCA EN LA
BÚSQUEDA DE LOS
"SATÉLITES
PERDIDOS", QUE
TRATA DE RESOLVER
LA DISCREPANCIA
ENTRE LOS MODELOS
DE FORMACIÓN DE
GALAXIAS Y LAS
OBSERVACIONES DE
LAS GALAXIAS DEL
GRUPO LOCAL

El acrónimo Lambda-CDM, del inglés Lambda-Materia oscura fría, se refiere al modelo cosmológico que mejor explica el origen y la evolución del universo. De hecho, partiendo de la composición inicial del cosmos (hidrógeno y helio en su mayoría), las simulaciones que emplean este modelo forman estrellas, galaxias, cúmulos y supercúmulos de galaxias muy similares a los que observamos. Sin embargo, estas simulaciones sugieren que las observaciones de algunas galaxias del Grupo Local, como la vecina M33, deberían mostrar numerosos satélites, y en torno a ella solo se ha descubierto uno. Ahora, una investigación, encabezada por el IAA-CSIC, ha detectado una candidata a satélite de M33, que abre la puerta a nuevos hallazgos.

Con entre treinta y cuarenta mil millones de estrellas, la galaxia espiral M33 (o galaxia del Triángulo) es la tercera mayor del Grupo Local, al que pertenece la Vía Láctea. Los datos apuntan a que se halla ligada gravitatoriamente a Andrómeda, la mayor del grupo, y representa un claro exponente de lo que se conoce como el problema de los "satélites perdidos": según las simulaciones debería contar con entre nueve y

veinticinco galaxias satélite, pero hasta la fecha solo se ha hallado uno.

Esta discrepancia, que no se produce por ejemplo en la Gran Nube de Magallanes, una galaxia del grupo de tamaño similar y que presenta siete galaxias satélite, podría deberse a varios motivos. Trabajos anteriores han sugerido que, ya que M33 se halla ligada a Andrómeda, una interacción en el pasado pudo expulsar la mayoría de sus satélites; sin embargo, los movimientos orbitales indican que M33 se halla en el proceso de su primera caída hacia Andrómeda, de modo que el problema podría implicar un conocimiento aún incompleto de los procesos de formación de galaxias o a la baja luminosidad de sus satélites, por debajo de los límites de detección de los muestreos.

"En este sentido, el hallazgo de una nueva candidata a satélite de M33 puede cambiar nuestra comprensión del sistema y de la formación de galaxias, y por ese motivo es importante realizar un censo de galaxias enanas usando los datos más profundos posibles", apunta David Martínez-Delgado, investigador Talentia Senior del IAA-CSIC que encabeza el trabajo.

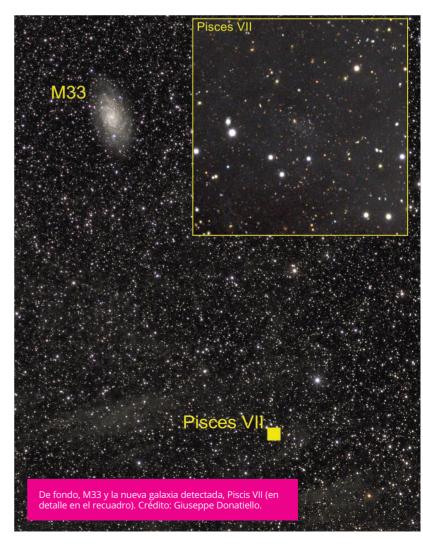
La nueva galaxia, llamada Pisces VII, fue detectada por el astrónomo aficionado Giuseppe Donatiello en los datos públicos del muestreo DESI Legacy surveys por inspección visual. Para confirmarla, el equipo científico empleó datos más profundos obtenidos con el telescopio TNG de 3.5 metros, que permitieron medir su distancia y su magnitud absoluta. Los análisis sugieren que podría tratarse de un satélite de M33, pero la estimación de distancia resulta muy compleja y cabría otra posibilidad: si estuviera más lejos,

sería la galaxia enana más aislada detectada hasta ahora.

"Imágenes profundas obtenidas hace unas semanas por el telescopio Gemini North nos permitirán detectar estrellas más débiles de Pisces VII, que actúan como estimadores de distancia más robustos ya que tienen un brillo estándar conocido. También planeamos confirmar si el movimiento de esta nueva galaxia es consistente con el de una galaxia enana en el Grupo Local, para lo que necesitamos observaciones espectroscópicas

con un telescopio de ocho o diez metros, como el Gran Telescopio Canarias o el Keck", apunta Michelle Collins, investigadora de la Universidad de Surrey que participa en el hallazgo.

Este resultado sugiere que podría haber más satélites sin descubrir. De hecho, el equipo científico ya ha observado nuevas candidatas con el telescopio de ocho metros Gemini North, y planea la medida de su velocidad radial para confirmar su asociación con la galaxia del Triánqulo.

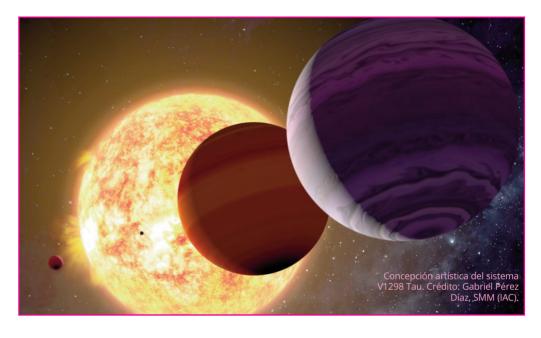


# Los planetas gigantes podrían alcanzar su madurez antes de lo esperado

EL IAA-CSIC
PARTICIPA EN EL
ESTUDIO, CON LOS
INSTRUMENTOS
HARPS-N Y
CARMENES, DE LOS
PLANETAS GIGANTES
DEL SISTEMA V1298
TAU, QUE EN
APENAS VEINTE
MILLONES DE AÑOS
YA HAN ALCANZADO
SU TAMAÑO FINAL

Las teorías actuales de evolución planetaria predicen que los planetas gigantes, como Júpiter o Saturno, nacen con grandes dimensiones y densidades muy bajas y que, tras cientos de millones de años de lenta contracción, alcanzan su tamaño final. Sin embargo, estas expectativas no cuentan con pruebas que las corroboren, y un reciente hallazgo muestra que quizá no respondan a la realidad en algunos casos. Un equipo científico internacional ha medido la masa de los planetas del sistema V1298 Tau, uno de los más jóvenes conocidos, y concluye que los planetas gigantes podrían culminar su contracción mucho más rápido de lo esperado. El resultado se publica en la revista Nature Astronomy.

"La caracterización de planetas muy jóvenes es extraordinariamente difícil: sus estrellas presentan niveles de actividad muy altos y hasta hace muy poco era impensable siquiera intentarlo —apunta Alejandro Suárez Mascareño, investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) que encabeza la investigación—. Solo gracias a la combinación de detecciones con telescopios espaciales, combinadas con campañas intensas de velocidad radial y el uso de las técnicas de análisis más avanzadas, es posible empezar a ver lo que está ocu-



rriendo en estadios tan tempranos de la evolución de los sistemas planetarios".

Con una edad estimada de veinte millones de años, V1298 Tau es una de las estrellas de tipo solar más jóvenes conocidas que cuenta con un sistema planetario que produce tránsitos (o mini eclipses producidos cuando los planetas, al girar alrededor de la estrella, ocultan parte de su luz). V1298 Tau alberga un sistema múltiple compuesto por dos planetas del tamaño de Neptuno, uno del tamaño de Saturno y uno del tamaño de Júpiter.

El trabajo que se publica hoy revela la presencia de dos señales periódicas compatibles con las órbitas de dos de sus planetas. Por un lado, el planeta b, que gira en torno a la estrella cada 24 días, presenta una masa de 0,64 masas de Júpiter y una densidad similar a los planetas gigantes del Sistema Solar. Por otro, el planeta e, que culmina su órbita en 40 días, muestra una masa de 1,16 masas de Júpiter y una densidad mayor que la mayoría de los exoplanetas gigantes.

"Se trata de dimensiones inesperadas para planetas tan jóvenes, y el trabajo sugiere que algunos planetas gigantes podrían evolucionar más rápido de lo previsto. Nuestro conocimiento está cambiando hacia la idea de que los planetas empezarían a formarse en etapas mucho más tempranas de la evolución conjunta con la estrella -indica Pedro J. Amado, investigador del IAA-CSIC que participa en el hallazgo-. Actualmente estamos en un momento dulce, al poder conectar los estudios de planetas en estrellas muy jóvenes pero ya formados, como V1298 Tau, con el de los sistemas aún más jóvenes y todavía con discos protoplanetarios y planetas en formación".

El estudio de sistemas jóvenes aporta indicios sobre lo que ocurrió durante la infancia de nuestro Sistema Solar, y ayudan a construir una idea más sólida de la evolución temprana de sistemas planetarios. Por ejemplo, si se comprueba que V1298 Tau es un caso normal, y que su evolución resulta similar a la de la mayoría de planetas, habría que

replantear la historia de formación de los planetas gigantes del Sistema Solar.

Ha sido necesario combinar medidas de velocidad radial de varios instrumentos como el espectrógrafo HARPS-N, instalado en el *Telescopio Nazionale Galileo* (TNG) del Observatorio Roque de los Muchachos, o el espectrógrafo de alta resolución CARMENES, en el observatorio de Calar Alto, entre

"Una vez más, se pone de manifiesto el valor añadido que tiene CARMENES en el panorama internacional en la astrofísica moderna, especialmente en las ciencias exoplanetarias. Las observaciones realizadas con el telescopio de 3.5 metros con este instrumento han sido decisivas y más que necesarias para estudiar este interesantísimo objeto. Es un claro ejemplo de sinergias que posiciona al Observatorio de Calar Alto en primera línea", apunta Jesús Aceituno, director del Observatorio de Calar Alto y coautor del estudio.

## El dramático baile final de las estrellas que comparten envoltura

EL IAA-CSIC
PARTICIPA EN EL
ESTUDIO DE QUINCE
ESTRELLAS
PECULIARES QUE
HAN RESULTADO SER
ESTRELLAS DOBLES
QUE, TRAS
COMPARTIR
ENVOLTURA,
PERDIERON GRAN
PARTE DE SU MASA

A diferencia del Sol, la mayoría de las estrellas forman sistemas binarios, en los que dos estrellas giran en torno a un centro común. En ocasiones la distancia entre ambas es tan reducida que una de ellas, al evolucionar y convertirse en gigante roja, engulle a su compañera y comparten envoltura. Un equipo internacional, en el que participa el IAA-CSIC, ha estudiado con el telescopio ALMA una muestra de quince estrellas inusuales, y ha hallado que todas ellas habían pasado recientemente por un episodio de este tipo. El hallazgo, publicado en Nature Astronomy, aporta nuevas perspectivas sobre la vida, la muerte y el renacimiento de las estrellas.

Denominadas "fuentes de agua", estas quince estrellas eran conocidas porque presentaban una emisión en radio característica de las moléculas de vapor de agua. "Estas estrellas expulsan grandes cantidades de polvo y gas al espacio, una parte en forma de chorros con velocidades de hasta 1.8 millones de kilómetros por hora. Pensamos que podríamos encontrar pistas sobre cómo se crean los chorros, pero en su lugar encontramos mucho más", afirma Theo Khouri, investigador de la Universidad Tecnológica Chalmers (Suecia) que encabeza el estudio.

"Se pensaba que las fuentes de agua eran estrellas más masivas que el Sol, con entre cuatro y ocho masas solares, pero en este trabajo vemos que comenzaron su vida con una masa

Concepción artística de un sistema estelar doble al comienzo de una fase de envoltura común. La estrella más grande, una gigante roja, se ha expandido hasta generar la atmósfera que rodea a ambas estrellas (óvalo anaranjado). La estrella más pequeña orbita cada vez más rápido alrededor del centro de masas, girando sobre su propio eje e interactuando con su nuevo entorno. La interacción crea chorros que expulsan gas desde sus polos y un anillo de material de movimiento más lento en su ecuador. Crédito: Danielle Futselaar (artsource.nl).



Imagen de ALMA de la fuente de agua W43A. La estrella doble en su centro es demasiado pequeña para ser resuelta en esta imagen, pero los datos muestran que la interacción de las estrellas ha cambiado su entorno: los chorros expulsados por las estrellas centrales se muestran en azul (acercándose) y en rojo (alejándose) , y las nubes de polvo arrastradas por los chorros se muestran en rosa. Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), D. Tafoya et al.

similar a la solar y que han atravesado una fase de envoltura común. Por eso, muestran una pérdida de masa más violenta de lo que se esperaría en una estrella de tipo solar", señala José Francisco Gómez, investigador del IAA-CSIC que participa en el hallazgo. El equipo midió con el radiotelescopio ALMA (Chile) la emisión de las moléculas de monóxido de carbono en la luz de las estrellas y comparó las señales de diferentes isótopos de carbono y

oxígeno. "ALMA está proporcionando resultados revolucionarios. Es particularmente eficiente para adentrarnos en las, hasta ahora inexploradas, profundas regiones centrales de las nubes de gas y polvo que rodean estas fuentes de agua, y nos permitirá averiguar por fin cómo el viento estelar se estrecha y acelera en forma de chorros en estas etapas tardías de la evolución de estrellas de tipo solar", apunta Carmen Sánchez Contreras, investigadora del

CAB-CSIC/INTA que participa en el estudio.

Los datos mostraron que estas estrellas habían expulsado, en los últimos doscientos años, la mitad de su masa, y que esta dramática pérdida había sido precedida por una fase de apenas unos años, verdaderamente breve en términos astronómicos, en la que ambas estrellas orbitaron juntas en una especie de capullo o envoltura común. El punto final de esta breve etapa evolutiva podría ser la fusión de ambas estrellas o la formación de un sistema compacto si la envoltura se expulsa antes de la fusión.

"Las expulsiones de material en estas quince estrellas son relativamente recientes y su evolución maneja escalas de tiempo similares a la vida de un ser humano, pudiendo verse grandes cambios en pocos meses. Además, estas fuentes de agua podrían ser casi todas las que existen en nuestra Galaxia, de modo que resultan claves para entender la fase de envoltura común. Por eso, planeamos continuar su observación con ALMA y con otros radiotelescopios", adelanta José Francisco Gómez (IAA-CSIC).

Se cree que la fase de envoltura común constituye una etapa crucial en la evolución de las estrellas binarias. Por ejemplo, es una de las vías de formación más probable de una clase de supernovas, las de tipo la, y también está vinculada a la formación de las nebulosas planetarias (objetos formados por una enana blanca -el núcleo de una estrella de tipo solar- y una envoltura fluorescente). Además, puede quardar relación con sistemas dobles no estelares, como las fuentes de ondas gravitacionales, que atravesarán una fase de envoltura común; e, incluso, podría ser importante en escenarios de estrellas solitarias, como el que vivirá el Sol cuando se convierta en una gigante roja, engulla a los planetas internos e interaccione con los planetas gigantes del Sistema Solar.

# Captan distintos pulsos en la llamarada magnética gigante de una estrella de neutrones

EN APENAS UNA
DÉCIMA DE
SEGUNDO, UN
MAGNETAR LIBERÓ
UNA ENERGÍA
EQUIVALENTE A LA
QUE PRODUCE EL
SOL EN CIEN MIL
AÑOS. SU ESTUDIO
HA REVELADO
MÚLTIPLES PULSOS
EN EL PICO DE LA
ERUPCIÓN

Entre las estrellas de neutrones, objetos que pueden contener medio millón de veces la masa de la Tierra en un diámetro de unos veinte kilómetros, destaca un pequeño grupo con el campo magnético más intenso conocido: los magnetares. Estos objetos, de los que apenas se conocen treinta, sufren violentas erupciones aún poco conocidas debido a su carácter inesperado y a su corta duración, de apenas décimas de segundo. Un grupo científico encabezado por el IAA-CSIC ha publicado en la revista Nature el estudio de una erupción en detalle: han logrado medir distintas oscilaciones, o pulsos, en su brillo durante los instantes de mayor energía, que constituyen un componente crucial para comprender las llamaradas gigantes de los magnetares.

"Incluso en un estado inactivo, los magnetares pueden ser cien mil veces más luminosos que nuestro Sol –apunta Alberto J. Castro-Tirado, investigador del IAA-CSIC que encabeza el trabajo—. Pero en el caso del destello que hemos estudiado, GRB200415, que se produjo el 15 de abril de 2020 y que duró solo en torno a una décima de segundo, la energía que se liberó es equivalente a la energía que irradia nuestro Sol en cien mil años. Las observaciones revelaron múltiples pulsos, con un primer pulso



que apareció solo alrededor de decenas de microsegundos, mucho más veloz que otros fenómenos transitorios extremos".

Se cree que las erupciones en los magnetares pueden deberse a inestabilidades en su magnetosfera o a una especie de "terremotos" producidos en su corteza, una capa de carácter rígido y elástico de alrededor de un kilómetro de espesor. "Independientemente del desencadenante, en la magnetosfera de la estrella se crearán un tipo de ondas, las ondas de Alfvén, que son bien conocidas en el Sol y que, mientras rebotan hacia adelante y hacia atrás entre los puntos de la base de sus líneas de campo magnético, interactúan entre sí disipando energía", apunta Alberto J. Castro-Tirado (IAA-CSIC).

Las oscilaciones detectadas en la erupción son consistentes con la emi-

sión que produce la interacción entre las ondas de Alfvén, cuya energía es rápidamente absorbida por la corteza. Así, en unos pocos milisegundos termina el proceso de reconexión magnética y, por lo tanto, también los pulsos detectados en GRB200415, que desaparecieron a los 3.5 milisegundos después del estallido principal. El análisis del fenómeno ha permitido estimar que el volumen de la llamarada fue similar o incluso mayor al de la propia estrella de neutrones.

La erupción fue detectada por el instrumento ASIM, a bordo de la Estación Espacial Internacional, que fue el único de un total de siete capaz de registrar la fase principal de la erupción en su rango completo de energía sin sufrir saturaciones. El equipo científico pudo resolver la estructura temporal del evento, una tarea verdaderamente compleja que implicó más de un año

de análisis para un segundo de datos. "La detección de oscilaciones cuasiperiódicas en GRB200415 ha supuesto todo un reto desde el punto de vista del análisis de señal. La dificultad radica en la brevedad de la señal, cuya amplitud decae rápidamente y queda embebida en el ruido de fondo. Y, al ser ruido correlado, resulta difícil distinguir la señal del ruido. Debemos, pues, este logro a las sofisticadas técnicas de análisis de datos que se han aplicado de manera independiente por los distintos miembros del equipo, pero también es sin lugar a dudas un logro tecnológico debido a la excelente calidad de los datos proporcionados por el instrumento ASIM a bordo de la Estación Espacial Internacional", apunta Javier Pascual, investigador del IAA-CSIC que ha participado en el trabajo.

#### RECOMENDADOS

#### SE ESTRENA LA SERIE DOCUMENTAL "TERRITORIO GRAVEDAD"

Desde la enunciación de la Teoría General de la Relatividad por el físico Albert Einstein en 1915, la gravedad como ámbito de investigación se ha desarrollado hasta constituir un rico entramado, de forma que su relevancia se extiende al universo por completo. La serie TERRITORIO GRAVEDAD quiere transmitir la belleza y riqueza de las ideas que configuran la relatividad, pero de tal forma que la ciencia aparezca integrada en el resto de actividades humanas. El contenido de la serie se vertebra alrededor de un único concepto: la gravedad como el gran motor del universo. Un recorrido por un vasto territorio, desde los GPS de nuestros móviles al comportamiento de las galaxias, pasado por satélites, estrellas, agujeros negros y las recién detectadas ondas gravitacionales.

Promovida por la Sociedad Española de Gravitación y Relatividad y coproducida por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y Lipssync Medialab SRL (con un apoyo importante por parte de la Fundación Española para la Ciencia y la tecnología FECYT y la corporación E2IN2), la serie cuenta con un novedoso formato docuficción: unos personajes con vida propia, que ejercen de guías narrativos, mantienen entrevistas y encuentros con distintos de especialistas en la materia. Entre ellos se hallan algunos de los mayores expertos sobre cosmología y gravitación, tanto a nivel nacional como internacional, como el premio Nobel 2017 Kip Thorne (asesor científico de la película Interstellar), el director del proyecto que consiguió en 2019 la primera imagen de un agujero negro (Heino Falcke) o el mítico cosmólogo ruso Alekséi Starobinski.

TERRITORIO GRAVEDAD está dirigida por Carlos Barceló, físico, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y Nacho Chueca, productor y realizador audiovisual de la productora audiovisual LIPSSYNC MEDIALAB.





#### LIBROS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

