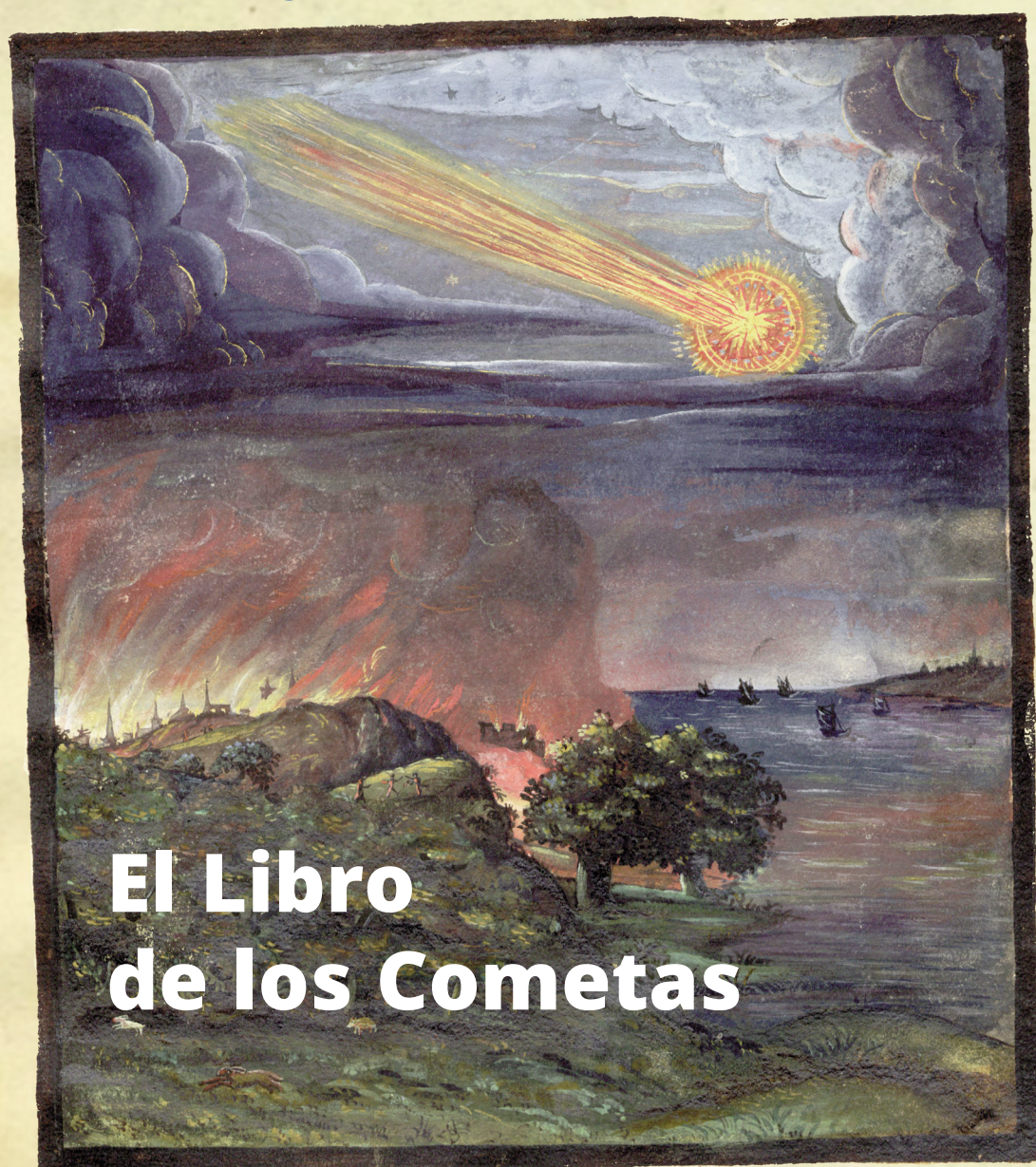


Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía



El Libro de los Cometas

Directora: Silbia López de Lacalle. **Comité de redacción:** Antxon Alberdi, Carlos Barceló, 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

SUMARIO

Un hermoso manuscrito sobre cometas del siglo XVI ...	3
Gigantes tras la cabellera de Berenice ...	8
Deconstrucción. Espirales en el cielo ...	12
El Moby Dick de ... Sara Cazzoli (IAA-CSIC) ...	14
Actualidad ...	15
Sala limpia ...	23

LA CIENCIA DEL EUROPEAN SOLAR TELESCOPE, EN LIBRO

El volumen incluye setenta y siete artículos breves sobre temas de investigación actuales sobre el Sol, redactados por científicos de treinta centros de investigación y universidades europeas. Los artículos inciden en la necesidad de grandes telescopios, como el futuro European Solar Telescope-EST, de cuatro metros, para comprender mejor el Sol y las estrellas en general. El libro ha sido editado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), centro de residencia de la Oficina de Comunicación del Telescopio Solar Europeo. El IAA ha contribuido con un total de seis artículos.

Se puede descargar en: <https://tinyurl.com/TheScienceOfEST-Book>.



Un hermoso manuscrito sobre cometas del siglo XVI

UN TRATADO SEGÚN EL CUAL LOS COMETAS PODÍAN DISPARAR GUERRAS, PRODUCIR SEQUÍAS O LA MUERTE DE REYES

Montserrat Villar
(CAB, CSIC-INTA)

A mediados de noviembre 1577, las gentes de Europa miraron al cielo con asombro. Una estrella nueva había hecho su aparición en el cielo de la tarde hacia el oeste. A medida que el crepúsculo dio paso a la noche se hizo aparente una larga cola que se extendía en dirección opuesta al Sol. Era un cometa. Dijeron que brillaba como la Luna, que ardía como un fuego entre las nubes,

que su brillo iluminó toda la Tierra. Varios estudiosos del cosmos, Tycho Brahe entre ellos, tomaron medidas de la posición del cometa en días diferentes. Los cálculos demostraban que estaba más allá de la Luna. Esto tenía implicaciones muy profundas. Significaba, por un lado, que no todos los cometas eran exhalaciones de la Tierra, como propusiera Aristóteles (384-322 a.C) hacía casi dos mil años. En su obra "Meteorología", el filósofo griego excluyó los cometas del ámbito de los astros, que definió como eterno e inmutable, y los explicó como fenómenos meteorológicos. Según él, la esfera del aire entre la Tierra y el mundo celeste contenía exhalaciones calientes y secas que ascendían desde la Tierra hasta la región superior donde podían llegar a arder. Cuando presentaban la consistencia adecuada se formaba un cometa, que se consumía lentamente.

Las estrellas fugaces y los bólidos, por el contrario, se producían por conflagraciones tan débiles o tan rápidas que se extinguían en breve. Aristóteles atribuyó a los cometas el presagio de sequía lo que, según argumentaba, demostraba también su naturaleza ígnea. Su teoría fue ampliamente aceptada durante dos milenios por eruditos de diferentes culturas, tanto musulmanes como cristianos.

La enorme distancia del cometa de 1577 implicaba que no era un fenómeno del aire, sino que formaba parte del mundo de los astros. Este, por tanto, no era





Ilustraciones de "El Libro de los Cometas". De izquierda a derecha: Miles, Rosa, Pertica y Aurora

perfecto e inalterable. Aunque su naturaleza seguía siendo un completo misterio, este cometa contribuía a resquebrajar el edificio milenar construido sobre los cimientos de la cosmovisión aristotélica aún defendida por muchos pensadores de la época.

EL LIBRO DE LOS COMETAS

Debido a su supuesta capacidad anunciadora o causante de eventos espantosos en el mundo, los cometas fueron objeto de atención desde la antigüedad. Aquel significado astrológico de terribles augurios, hoy descartado, seguía muy arraigado en la Europa del Renacimiento, como muestran multitud de escritos y grabados. El "Libro de los Cometas" es un ejemplo muy hermoso. Fue publicado en 1587 (una década después del avistamiento del gran cometa de 1577) con el título "Acerca de los cometas y de sus significados generales y particulares según Ptolomeo, Albumasar, Haly, Alquind y otros astrólogos". Aunque hacía más de un siglo de la invención de la imprenta moderna por

Gutenberg, la obra fue manuscrita. Poco se sabe de este tratado. Se conservan dos copias algo distintas, que probablemente salieron del mismo taller: una se encuentra en la biblioteca de la Universidad de Kassel, en Alemania, y otra en la biblioteca del Instituto Warburg de Londres. La obra se escribió en francés. Dos tipos de caligrafía apuntan a dos escribas diferentes. Se desconoce si uno de ellos hizo también las ilustraciones, o si estas fueron realizadas por una tercera persona o quizás por varios artistas del mismo taller. Se ignora también quiénes fueron sus patrocinadores y primeros destinatarios, aunque algunos indicios apuntan que fue encomendado por Louise de Coligny, cuarta y última esposa del príncipe Guillermo de Orange.

En su contenido no se mencionan ni la fecha ni el lugar de ejecución. Las alusiones frecuentes a varias provincias de los Países Bajos y a Guillermo de Orange, así como las características de los paisajes, sugieren que el origen estaría en Flandes. No se descarta el norte

de Francia. La mención a la aparición de "tres soles similares el año precedente de 1586" (fenómeno llamado parhelio) marcan el año 1587 como el más probable de su creación. El taller donde se realizaron las ilustraciones, seguramente ubicado en una ciudad costera del norte de Europa, hubo de ser uno de los pocos que aún iluminaban tratados a mano a finales del siglo XVI.

El ejemplar de Londres fue comprado en 1918 en una subasta en Berlín por el historiador Aby Warburg. El alemán fue inventariado en 1686 como parte del legado que recibió Kassel de la biblioteca Jüngerer Palatina. Sufrió daños durante la Segunda Guerra Mundial en los bombardeos de esa ciudad.

EL ORIGEN

El autor (o autores) de "El Libro de los Cometas" cita como fuentes a Ptolomeo (h. 100-170) y a los astrólogos árabes Albumasar (787-886), Haly (h. 968-1061) y Alquind (probablemente Al-Kindi, h. 801-870). Sin embargo, la raíz se ha identificado en un manuscrito anónimo



nimo de origen español titulado “Liber de Significatione Cometarum” (Libro Sobre el Significado de los Cometas) escrito en latín y datado en el segundo cuarto del siglo XIII, quizá en 1238.

Los tratados sobre cometas y sus connotaciones astrológicas proliferaron en la Edad Media. Su producción se multiplicó a partir del siglo XV tras la llegada de la imprenta. Muchos mencionaban a Aristóteles, Ptolomeo, Haly o Albumasar como referencias. En ellos se disertaba sobre el significado, aspecto y naturaleza de los cometas. Todos recogían y perpetuaban una tradición transmitida de manera escrita y oral desde hacía siglos acerca de las creencias e interpretación astrológica sobre estos fenómenos prodigiosos.

El manuscrito “Liber de Significatione Cometarum” de 1238 es uno de estos tratados. Fue copiado y traducido en repetidas ocasiones y tuvo amplia difusión. Su autor estaba familiarizado con la literatura astrológica griega, árabe e incluso india. Su estructura se convirtió en la manera estándar de tratar las apa-

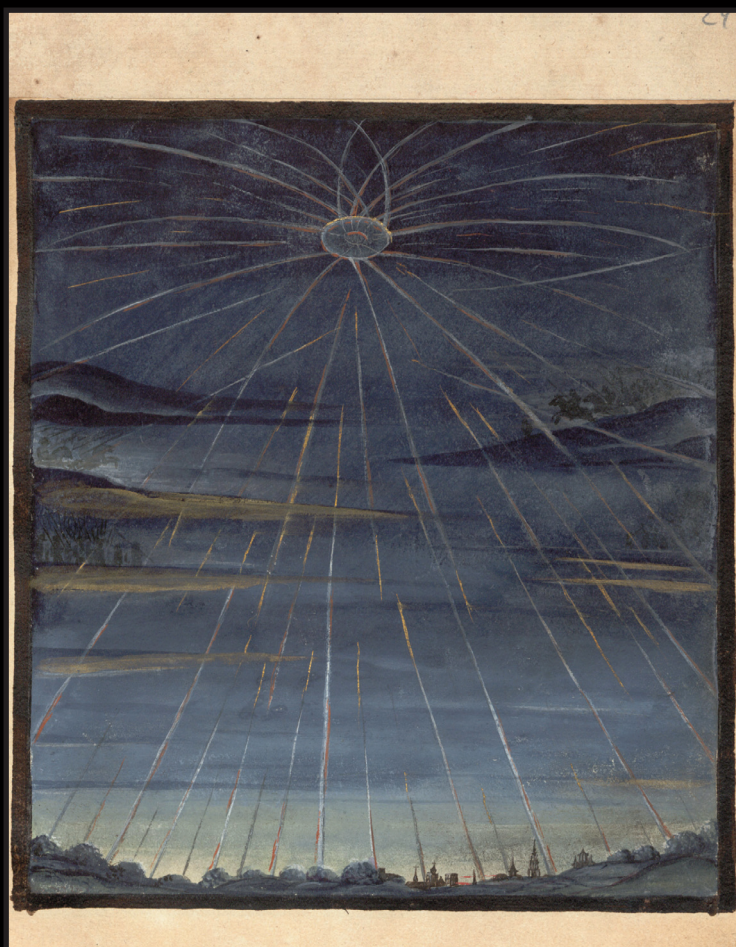
riciones de los cometas, su significado y clasificación hasta el siglo XVII. Compila en dieciséis capítulos extractos de textos de autoridades diversas como las ya mencionadas. En el siglo XV se produjo una versión abreviada de ocho capítulos en Francia que, muy seguramente, sirvió de modelo al autor de “El Libro de los Cometas” al que dedicamos este artículo.

EL CONTENIDO

Los primeros capítulos están dedicados al origen de los cometas y otros fenómenos, como las estrellas fugaces (*étoiles courantes*). El autor hace alusión expresa a Aristóteles y su teoría de los vapores terrestres. Es decir, los considera fenómenos meteorológicos. Diserta sobre los efectos en general, citando a los sabios nombrados más arriba. Menciona guerras, sequías, hambrunas, crisis de fe, cambio de reyes, motines, etc. Afirma que los cometas están relacionados con los planetas, los cuales influyen tanto en el aspecto como en las alteraciones que provocarán. Así, si los

vapores que forma un cometa son de color blanco, demuestran la naturaleza de Júpiter, pues ese color indica templanza, una virtud considerada joviana. Si rojo, tono que indica sequedad y calor, su naturaleza es de Marte. Si los colores son diversos, tiene el temperamento de Mercurio porque, siempre según el escriba, este planeta tiene varios estados y significados. Es decir, la tonalidad indica una determinada propiedad supuestamente acorde con el temperamento del planeta al que se atribuye ese color. Los efectos, la duración y los lugares donde se sentirán dependerán también del signo zodiacal en el que aparece el cometa y la dirección hacia la que apunte el extremo de la cola.

Siguen varios capítulos dedicados a la descripción detallada de los diferentes tipos de cometas y su significado. Recogiendo la tradición de tratados antiguos, los organiza en diez clases: Miles, Argentum, Azcime (o Dominus Aschone), Veru, Gebea (o Tenaculum), Pertica, Rosa, Scutella, Aurora (o Matuta) y Domina Capillorum. Según el



Ilustraciones de "El Libro de los Cometas": el Círculo Ardiente y estrellas fugaces.

autor, los nueve primeros son descritos en el "Centum Verbis" (Centiloquio) un texto anónimo atribuido de manera errónea a Ptolomeo durante siglos. El décimo, dice también, es mencionado por Haly en su comentario al texto de Ptolomeo. Incluye además dos capítulos dedicados al sol triple (parhelio) y a la aurora boreal.

Las ilustraciones, bellísimas, tienen elementos comunes. La mayoría son escenas costeras, con preciosos y bucólicos panoramas que, en general, nada tienen que ver con las desgracias anunciadas por los cometas. El cielo sobre el horizonte es de tonos estridentes, rojos y amarillos. Hacia la parte superior se torna azul, blanco y gris. El cometa es el protagonista absoluto de todas las escenas. Tiene un tamaño desproporcionadamente grande en comparación con el paisaje. Unos tienen cola, otros no. Las nubes cambian de forma, se retiran para dejarle espacio (el artista lo considera, como decíamos, un fenómeno del aire). Su resplandor las ilumina. Se entrevén algunas estrellas que llegan con la noche. Los colores amarillos y rojos,

Aunque hoy no queda rastro de aquellas supersticiones, el pavor que inspiraron impulsó su estudio

la forma de la cola y la cabellera recuerdan a menudo al fuego, haciendo alusión, quizá, a su naturaleza ígnea. Abajo, embarcaciones de distintas formas y tamaños avanzan por el agua. La gente se dedica a sus tareas sin apenas percatarse de la presencia del cometa.

A continuación, describimos varios cometas y sus efectos basándonos en el texto y las iluminaciones del manuscrito de Kassel.

MILES

Es del temperamento de Venus y es tan brillante como la Luna llena. Tiene cri-

nes y el color resplandece como el oro. Sigue su curso por todos los signos del Zodíaco. La cola conlleva el peor presagio. Cuando aparece, aterroriza a los reyes y a las gentes poderosas. Nacerán hombres que transformarán las viejas leyes en otras nuevas.

En la ilustración, el cometa, enorme, ha sido pintado con tonos amarillos y rojos. Parece de fuego. Ajeno a su presencia, un hombre rema en una pequeña barca en medio de un paisaje bañado por los espléndidos colores del atardecer. En esta estampa bucólica, un campesino defeca bajo un árbol con los pantalones bajados y las nalgas al aire. Ha dejado la horca de dos dientes en el suelo. Un búho le mira desde arriba posado tranquilamente en una rama.

ARGENTUM

Es de la naturaleza de Júpiter. El tono blanquecino de sus bonitos rayos se asemeja, dice el copista, a la plata pura. De ahí su nombre. Cuando aparece este cometa, significa años abundantes y fértiles en las tierras donde se muestra, especialmente si aparece mientras

Júpiter reina en uno de los signos acuáticos, Cáncer, Escorpio o Piscis. Nótese que aquí tenemos un cometa que trae buenos augurios.

En la ilustración, el cometa Argentum es representado con tonos grises, azulados y blancos. Efectivamente, parece de plata. Dos hombres ignorantes de su presencia arrastran con esfuerzo un barco velero hacia la orilla usando unas gruesas sogas. Otros dos reman en una barca. A lo lejos, una llama arde junto a un edificio. Podría ser un faro.

PERTICA

El escriba explica que este cometa puede adquirir dos aspectos diferentes. En el oeste, cerca del Sol, recuerda a una columna. Cuando está en el este, parece una estrella brillante partida en dos. De la naturaleza de Mercurio y Marte, anuncia plaga y enfermedad.

Dependiendo de dónde se muestre y qué planeta haya cerca, el significado varía. Así, si aparece hacia el norte, significa sequía y, como consecuencia, escasez de trigo y otros productos de la tierra. Morirán reyes en las regiones en las que sea visto. Si se encuentra con Marte, habrá grandes batallas entre los hombres.

El artista ha ilustrado Pertica con los dos aspectos que puede presentar. El gran cometa de 1577 fue clasificado según este tipo.

ROSA

Este cometa es grande y redondo como un sol, con un color amarillento, como de plata y oro mezclados. Una vez se volvió de color rojo y brilló tanto que venció a la noche. Después su tamaño disminuyó gradualmente hasta que se consumió y su claridad se perdió. Denota la muerte de hombres poderosos allí donde es visto. Provocará mudanza de las cosas a mejor estado.

En la ilustración, el cometa mira al lector con rostro amable. Sus largos rayos iluminan el cielo; no hay estrellas como en las ilustraciones de los demás cometas. Rosa ha hecho que la noche desaparezca.

AURORA (O MATUTA)

Tiene el temperamento de Marte. Cuando aparece hacia el este con la cabeza baja y la cola alta habrá sequía, incendios, hambrunas, y guerra en la tierra de Babilonia y Egipto.

Esta es la única ilustración en que el

artista muestra el horror presagiado por el cometa. Aurora es de color rojo y amarillo. La cabeza está baja y alta la espléndida cola. Bajo su auspicio atemoriza una ciudad es devastada por las llamas. Personas y animales huyen del fuego que avanza sin control. El resplandor de la conflagración ilumina el paisaje.

LOS TRES SOLES (PARHELIO)

Tras la muerte de César aparecieron por el este tres soles que, poco a poco, se convirtieron en uno. Pudieron anunciar la llegada al gobierno de Marco Antonio, Lucas Antonio y Augusto (nombres así mencionados en el texto). Se referiría al Segundo Triunvirato de Roma. Alternativamente explica que podrían haber presagiado que la Santísima Trinidad sería conocida por todo el mundo. Tres soles, añade, fueron vistos también en Holanda y Zelanda el año precedente 1586. Esto, como decíamos, ha ayudado a datar el manuscrito.

EL CÍRCULO ARDIENTE

El escriba relata que, a mediados de año, se observó una “corona” (o “círculo ardiente”, según el manuscrito de Warburg) en el cielo de Brabante. Otra similar se vio sobre Bruselas. Hasta la media noche, y durante tres horas, lanzas y picas de fuego fueron arrojadas hacia oriente y occidente. Según el historiador Jean Michele Massing, la narración que sigue a esta descripción hace alusión al motín de la armada española ocurrido entre la captura de Ziericsee (29 junio de 1576) y la caída de Alost (25 de Julio de 1576).

En la ilustración que acompaña a estos pasajes del texto (imagen izquierda página contigua), el cielo ocupa prácticamente toda la escena. Infinidad de ráfagas de fuego son lanzadas desde un círculo luminoso situado entre las nubes. Caen en todas direcciones sobre un paisaje en calma. Esta representación nos recuerda una lluvia de estrellas. El círculo ardiente sería el radiante, es decir, la zona de la bóveda celeste de donde, por efectos de perspectiva, parecen partir todos los meteoros durante una lluvia. No es descartable que el artista se inspirara en un avistamiento de una copiosa lluvia de estrellas, pero según la tradición se trataría de una aurora boreal. Así lo indica la batalla que está ocurriendo en el cielo (téngase en cuenta también que, en la primera iluminación del tra-

tado, aparecen varias estrellas fugaces cruzando el cielo nocturno en diferentes direcciones). A izquierda y derecha, dos ejércitos a caballo y a pie se preparan para la batalla. Se aprecian las siluetas de los animales, los soldados y sus lanzas. Durante la Edad Media era frecuente interpretar las auroras boreales como augurios de guerras. Era una herencia de tradiciones anteriores. Se encuentran numerosas descripciones de contiendas vistas en el cielo coincidiendo con dicho fenómeno, así como grabados inspirados en esta interpretación. En algunos casos, las luces nórdicas se representaron como ríos de sangre en el campo de batalla celeste.

Al margen de la verdadera esencia y origen de los cometas, durante milenios se les atribuyó un carácter profético de muerte y devastación. Esa aura terrible se desvaneció a medida que su naturaleza fue desvelada. Aunque hoy no queda rastro de aquellas supersticiones, el pavor que inspiraron impulsó su estudio mediante la datación, clasificación y descripción. Quedaron como legado numerosos tratados que, como “El Libro de los Cometas”, perpetuaron una tradición milenaria, amalgama de culturas muy diversas. Aquellos textos fascinantes y las ilustraciones que los acompañan nos permiten hoy reconstruir el conocimiento sobre estos objetos extraordinarios a través de los siglos, así como comprender el papel que jugaron en la historia de nuestra cultura.

NOTA

Este artículo está basado en la transcripción del texto original en francés de “El Libro de los Cometas” realizada por Rose-Marie Biehlig, licenciada en historia del arte (Francia) y en historia (Alemania). Entre otras fuentes bibliográficas, he utilizado también el trabajo de investigación que, además de la transcripción, Biehlig desarrolló para su tesis de Máster bajo la supervisión de Anne-Marie Legaré de la Universidad de Lille (2008). Ambos textos fueron generosamente cedidos por su autora.

Crédito de las imágenes: Licencia Creative Commons. “El Libro de los Cometas”. Manuscrito 4º Ms. astron. 5. Universitätsbibliothek Kassel, Landesbibliothek und Murhardsche Bibliothek der Stadt Kassel.

Gigantes tras la Cabellera de Berenice

UN TRABAJO DESARROLLADO EN EL IAA SIGUE LA PISTA DE ESTRELLAS GIGANTES ROJAS EN LA CABELLERA DE BERENICE

Matilde Fernández, Estefanía Casal, Emilio J. Alfaro, Víctor Casanova y Ángel Tobaruela (IAA-CSIC)

La Cabellera de Berenice, o Coma Berenices en latín, es la constelación que alberga gran parte del supercúmulo de galaxias de Coma, el más cercano a nuestro supercúmulo de Virgo. Está formado por varios miles de galaxias, a una distancia media de trescientos millones de años luz. Este cúmulo está muy cerca del polo norte galáctico y por eso lo vemos desde una perspectiva privilegiada. Este polo es la dirección a la que apunta la línea recta, perpendicular al plano de nuestra Galaxia, que pasa por donde nos encontramos nosotros. Diríamos que nos queda *hacia arriba* y que la luz de esas galaxias atraviesa el menor espesor posible de nuestra Galaxia antes de llegar a nosotros. Es decir, la absorción debida al gas y al polvo de la Galaxia es mínima comparada con la absorción que sufre la luz que nos llega de galaxias que están en otras direcciones. Pero también vemos menos estrellas en esta dirección. O, mejor dicho, deberíamos verlas, si no fuese porque en esta constelación se encuentra el segundo cúmulo abierto más cercano a la Tierra, después del de las Hyades. Sus estrellas están bastante desperdigadas, ocupando un área de unos ocho por trece grados (imagen contigua); recordemos que la

Luna llena tiene un diámetro de 0.5 grados. Este es uno de los motivos por los que ha llevado varias décadas identificar las estrellas miembros del cúmulo, ya que es fácil confundirlas con otras estrellas de fondo. De esta confusión trata el trabajo que nosotros hemos realizado.

El primer estudio que identificó estrellas del cúmulo de Coma Berenices fue publicado en 1938 por R. J. Trumpler, que seleccionó treinta y siete estrellas y propuso otras siete estrellas candidatas. Los trabajos realizados en las siguientes décadas fueron aumentando el número de estrellas a más de doscientas, pero no ha sido hasta la publicación de la segunda *remesa* de datos del satélite GAIA, conocida como DR2, que se ha podido hacer un recuento más fiable de los miembros del cúmulo, ya que GAIA proporciona medidas muy precisas de las distancias y de los movimientos angulares propios (movimientos en el cielo).

Nuestro estudio comenzó en 2015, obser-

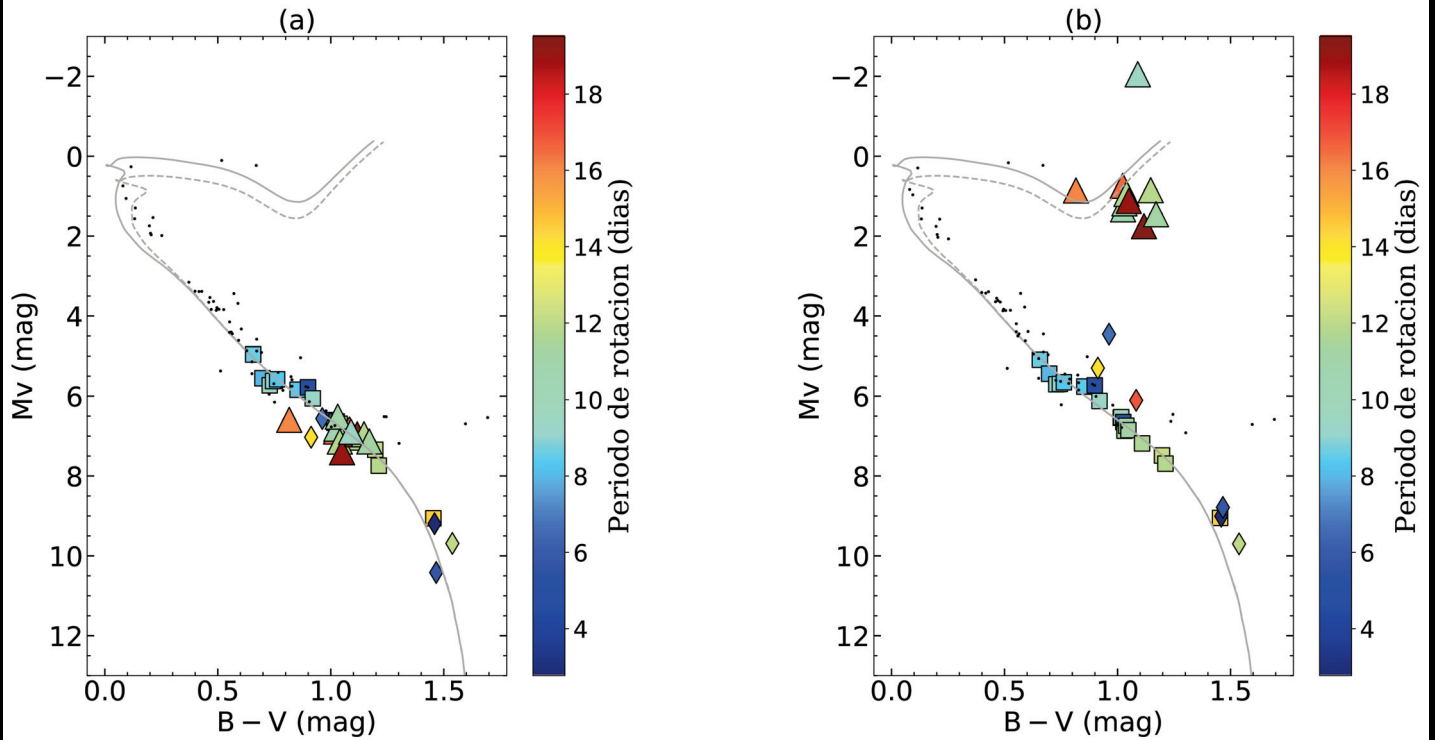
vando varias de estas estrellas con el telescopio de 1.5 metros del Observatorio de Sierra Nevada. Determinamos el brillo en tres bandas fotométricas, conocidas como BVI, de aquellas estrellas del cúmulo para las cuales el equipo de A. Collier Cameron había publicado los periodos de rotación en 2009. Se estima que las estrellas del cúmulo tienen una edad entre cuatrocientos y ochocientos millones de años. Con esa edad, las estrellas que tienen una masa similar a la del Sol o menor presentan manchas frías, como las que podemos observar en la *superficie* del Sol, pero de mayor tamaño. Al girar la estrella, la mancha, que está fija sobre su superficie, aparece y desaparece del hemisferio visible, provocando primero una disminución y luego un aumento de brillo que podemos medir. De esa variación de brillo obtenemos el periodo de rotación.

Se conocen los periodos de rotación de unas treinta y cuatro estrellas del cúmulo. Nuestro objetivo era representar estas



El cúmulo de Coma, un grupo de estrellas en la constelación de Coma Berenices, se observa en esta imagen tomada por el astronauta Donald R. Pettit a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS).

Coma Berenices



(a) Diagrama color-magnitud de las estrellas de Coma Berenices, adoptando para todas ellas la distancia media al cúmulo (282 años luz). Hemos representado con puntos negros las estrellas de cúmulo que no pertenecen a nuestra muestra y con símbolos coloreados las estrellas que estudiamos; el color informa sobre su periodo de rotación.

(b) Diagrama color-magnitud de las estrellas de Coma Berenices, adoptando para cada estrella su distancia medida con el satélite GAIA (DR2). En ambos paneles la línea continua corresponde a las posiciones teóricas que tendrían las estrellas si la edad del cúmulo fuese seiscientos millones de años y la línea discontinua corresponde a una edad de ochocientos millones de años (isocronas Yapsi).

treinta y cuatro estrellas en un diagrama color-magnitud¹ para comparar sus posiciones con las de estrellas de otros cúmulos estelares un poco más jóvenes, de unos pocos cientos de millones de años. Hasta 2016 la distancia que se había usado para elaborar esta representación gráfica era de doscientos ochenta y dos años luz, que es la distancia promedio a las veintisiete estrellas más brillantes del cúmulo de Coma Berenices, medidas con el satélite Hipparcos. Pero GAIA nos permitió, en 2018, conocer las distancias a todas las estrellas individuales y esas distancias son las que debemos utilizar para convertir los brillos aparentes (que son los que medimos) en brillos absolutos, que son los que mostrarían las estrellas si estuviesen a 32.6 años luz. En el caso de la banda V, centrada en el máximo de sensibilidad del ojo humano, al brillo absoluto lo designa-

mos como M_v y se mide también en magnitudes².

En el diagrama color-magnitud representamos el brillo M_v frente a un indicador de la temperatura superficial de la estrella, que es el índice de color B-V, la diferencia de brillos de la estrella en las bandas B (azul) y V (naranja). En la figura superior, la gráfica a muestra la posición que tendrían en el diagrama las treinta y cuatro estrellas si tomásemos para cada una de ellas la distancia promedio al cúmulo y la b muestra las posiciones que tienen cuando el cálculo se hace utilizando la distancia individual a cada estrella. Más de la mitad de las estrellas de la muestra tienen una posición muy parecida en ambas gráficas, definiendo una secuencia o franja denominada *secuencia principal*³, pero varias estrellas se alejan de esa secuencia cuando se calcula su brillo M_v usando sus

distancias individuales, en lugar de usar la distancia media al cúmulo. Tomando como referencia el eje vertical (M_v), tres de las estrellas que se alejan se encuentran una o dos magnitudes por encima de la secuencia principal y resultan estar situadas entre cien y cuatrocientos años luz por detrás del cúmulo y no tienen relación con él. Nueve estrellas tienen M_v entre cero y dos magnitudes y una estrella se aleja extraordinariamente, superando en seis magnitudes el valor que tendría su M_v si estuviese en el cúmulo. ¿Qué ocurre con estas estrellas?

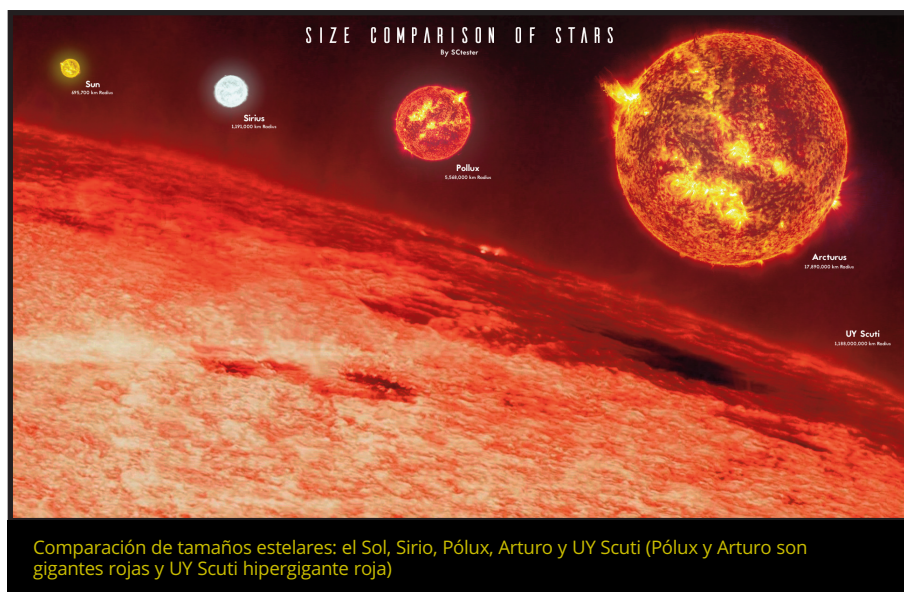
¿NOS HEMOS EQUIVOCADO AL MEDIRLAS?

En primer lugar revisamos sus distancias, que tienen valores entre tres mil y cinco mil años luz, por si el equipo de GAIA hubiese marcado esas medidas como

1. Diagrama en el que se representa el brillo que tendría una estrella si su distancia fuese de 32.6 años luz frente a su color o temperatura superficial. Se toma esa distancia de referencia para poder comparar los brillos de las estrellas.

2. El brillo de una estrella se mide en magnitudes, pero una deformación del lenguaje que ya está demasiado consolidada en astrofísica hace que hablemos de magnitud V cuando en realidad nos referimos al brillo en la banda V y que llamemos a M_v la magnitud absoluta; el equivalente, a nivel de la unidad estándar de longitud (el metro), sería decir que un objeto tiene "de metros 3" en lugar de decir que tiene una longitud de 3 metros.

3. La franja en la que se mantienen las estrellas gran parte de su vida, mientras que viven de la combustión del hidrógeno.



defectuosas, pero no es así.

Las nueve estrellas que están en la misma zona no han caído en una parte cualquiera en el diagrama, ocupan la posición de las estrellas gigantes rojas. La diferencia de brillo entre una estrella de la secuencia principal y una gigante roja varía entre 5 y 7.5 magnitudes, según su temperatura superficial (en nuestro caso de unos cinco mil grados, tipo espectral K); esto es lo mismo que decir que la gigante roja es entre cien y mil veces más luminosa. Si colocamos una gigante roja a una distancia diez veces mayor que la del cúmulo, es decir, a 2820 años luz, su brillo aparente se reducirá cinco magnitudes, que equivale a un factor cien en luminosidad; si la alejamos treinta y dos veces la distancia del cúmulo (9024 años luz) ese brillo se reducirá 7.5 magnitudes, que es un factor mil en luminosidad. Este intervalo de distancias, de 2820 a 9024 años luz, incluye las distancias a las candidatas a gigantes rojas de nuestra muestra. Es decir, las gigantes se encuentran precisamente a las distancias a las que, por su lejanía, su brillo aparente es el mismo que el de las estrellas de la secuencia principal del cúmulo.

La estrella que aparece en la parte superior del diagrama podría ser, por un razonamiento equivalente, una estrella gigante brillante, situada a unos 17000 años luz.

¿SON REALMENTE ESTRELLAS GIGANTES?

Era necesario confirmar esta hipótesis, así que nos planteamos si sería posible distinguir una gigante roja de una estrella de la secuencia principal analizando sus brillos en las bandas del visible y del infrarrojo

cercano. No es posible porque, aunque los brillos absolutos son muy distintos, el ritmo al que cambia el brillo entre una banda y otra (eso es lo que nosotros podemos medir mejor) es muy parecido. De hecho, para poder distinguir así una gigante de una estrella de la secuencia principal la temperatura superficial de ambas tendría que haber sido de cuatro mil, o mejor, de tres mil grados (es decir, de tipo espectral M). En principio hubiéramos tenido que hacer espectroscopía para tener un análisis más detallado de la luz de las estrellas, que nos habría permitido medir rasgos espectrales (líneas o bandas de absorción de la atmósfera de las estrellas) que son diferentes en las gigantes y en las estrellas de la secuencia principal. Pero no fue necesario porque GAIA, además de la distancia a las estrellas, nos proporciona la velocidad a la que se aproximan o alejan de nosotros (la velocidad radial). Para las gigantes se espera una dispersión de velocidades bastante mayor que para las estrellas del cúmulo y eso fue lo que encontramos. Las estrellas del cúmulo tienen unas velocidades radiales muy pequeñas, de pocos kilómetros por segundo, mientras que las gigantes se mueven en un intervalo más amplio, entre -70 y +60 kilómetros por segundo⁴. Habíamos confirmado, pues, que las nueve estrellas mencionadas están mucho más lejos que el cúmulo y que han de ser estrellas gigantes.

¿POR QUÉ INCLUYERON COLLIER CAMERON Y COLABORADORES ESTAS GIGANTES EN SU ESTUDIO?

Las eligieron por sus brillos, por las variaciones de ese brillo y por sus movimientos

propios; sin saber que se trataba de estrellas de fondo. Las gigantes rojas también pueden tener manchas frías sobre su superficie, que modulan su brillo conforme la estrella gira. Estos investigadores trataron de identificar nuevas estrellas del cúmulo analizando una muestra muy grande de estrellas observadas con el conjunto de cámaras SuperWASP y seleccionaron aquellas que resultaron ser variables, con periodos de rotación de entre unos días y tres semanas. *Nuestras* nueve gigantes mostraban el mismo comportamiento que las estrellas de la secuencia principal. La variabilidad de las gigantes rojas es conocida, pero lo sorprendente es que los periodos de rotación sean tan cortos. Que una estrella con una masa algo inferior a la del Sol y con un radio un poco menor que el solar dé una vuelta en torno a sí misma en unos cinco o diez días, cuando el Sol tarda veintiséis días en hacerlo, no es extraño; pero que una estrella gigante, con un radio hasta cien veces mayor que el del Sol, gire en torno a sí misma en tan solo diez o quince días sí sorprende, incluso a los expertos en gigantes rojas. Un equipo de ellos, liderado por T. Ceillier, hizo un estudio en 2017 utilizando datos del satélite Kepler, que midió con mucha precisión las variaciones de luz de una muestra enorme de estrellas en las constelaciones del Cisne y de la Lira. Dentro de esta muestra estaban incluidas 17377 gigantes rojas y pudieron analizar la distribución de periodos de rotación de las gigantes que tienen manchas. Un 2.4% de las gigantes giran con periodos por encima de veintidós días y tan sólo un 0.6% de la muestra total lo hace con periodos por debajo de veintidós días. A estas estrellas las llamaremos rotadores muy rápidos.

Recapitulando, la búsqueda llevada a cabo por A. Collier Cameron y colaboradores seleccionó, de manera fortuita, nueve estrellas gigantes de fondo con periodos de rotación extremadamente cortos que simulan, por sus brillos aparentes y periodos de rotación, ser estrellas del cúmulo de Coma Berenices, aun cuando nada tengan que ver con él.

¿QUÉ PORCENTAJE DE LAS GIGANTES DE COMA BERENICES REPRESENTAN LAS RÁPIDAS ROTADORAS?

Usando las herramientas de GAIA, hemos calculado el número de estrellas gigantes que hay detrás del área que ocupa el

4. La velocidad es negativa cuando la estrella se aproxima a nosotros y positiva cuando se aleja.

cúmulo estelar y que se encuentran a distancias similares a las de nuestras gigantes. GAIA identifica 628 gigantes en ese volumen, así que las nueve gigantes de nuestra muestra representan el 1.4%, que es del orden del porcentaje de rotadores muy rápidos obtenido en el estudio llevado a cabo con Kepler y con lo obtenido por otros autores para otras muestras de gigantes rojas.

Hay varias hipótesis que tratan de explicar por qué hay gigantes que giran tan rápido: la presencia de una estrella compañera con la que formen un sistema binario, cambios en el interior de la estrella o la caída sobre la gigante de planetas que orbitaban a su alrededor.

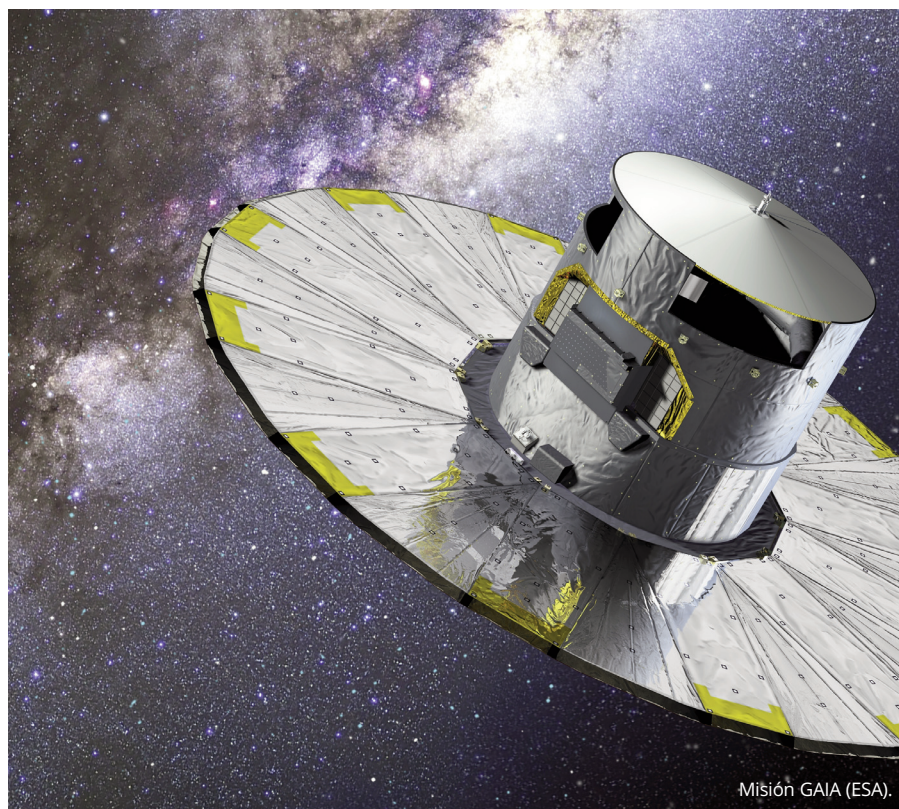
¿Y LA ESTRELLA QUE APARECE “TODAVÍA MÁS ARRIBA” EN EL DIAGRAMA?

A la distancia a la que se encuentra esta estrella, diecisiete mil años luz, y recordando que está en la dirección perpendicular al plano de la Galaxia, esta estrella se sitúa en la región conocida como halo y, para que tenga un brillo aparente similar al de las estrellas del cúmulo, ha de ser una *gigante brillante*. Al igual que los observadores de las galaxias del cúmulo de Coma, nosotros nos hemos visto muy favorecidos por la inusual perspectiva, ya que el gas y polvo, que absorben mucha de la luz de las estrellas, tienden a acumularse en el disco de la Galaxia. Si esta estrella gigante brillante estuviese en la constelación de Sagitario, que apunta al centro de la Galaxia, habría sido casi inobservable para nosotros porque sería más de una magnitud más débil que la estrella de menos brillo aparente de nuestra muestra.

La velocidad radial de esta gigante brillante es de 164 kilómetros por segundo; a esa distancia, una velocidad tan alta con respecto al Sol indica que la estrella no forma parte del disco de la Galaxia sino del halo.

¿QUÉ HEMOS APRENDIDO AL EVITAR ESTA CONFUSIÓN?

Para entender la principal consecuencia de este trabajo vamos a familiarizarnos un poco con la técnica denominada girocronología, que asigna edades a las estrellas en base a su periodo de rotación. La base de esta técnica se remonta a los años 70 del siglo pasado, que fue cuando se descubrió que las estrellas tienden a frenar su velocidad de giro conforme envejecen, pero su auge comenzó en 2007 de la mano



de S. A. Barnes, que comparó datos de estrellas de cúmulos de diferentes edades. El estudio de la variación del periodo de rotación con la edad no se halla exento de dificultades ya que hay otros factores que juegan también un papel importante.

¿HA AFECTADO LA CONTAMINACIÓN DE LA MUESTRA?

Sí, en la determinación de la edad del cúmulo. El equipo de R. Angus publicó, en 2015, una comparación entre los periodos de rotación de estrellas del cúmulo de las Hyades y de Coma Berenices, asignando una edad de 650 millones de años al primero y 500 millones de años al segundo. El cúmulo de Coma Berenices incluía unos cuantos rotadores lentos, más lentos que cualquiera de las estrellas de las Hyades, cuando, según las edades asignadas, tendría que haber sido al revés. Se trataba de cuatro estrellas con periodos de rotación por encima de quince días que nosotros hemos identificado como gigantes. Al eliminar las gigantes de la muestra esa discrepancia desaparece y, además, se reduce la dispersión de la distribución de periodos de rotación del cúmulo, dándole más fiabilidad a la edad determinada por este método.

Nuestro estudio apoya una edad de entre quinientos y seiscientos millones de años y no apoya la edad de ochocientos millones

de años, que propusieron S.-Y. Tang y sus colaboradores en 2018. Esta estimación tan alta de la edad se basa en cuatro estrellas del cúmulo que han salido recientemente de la secuencia principal, es decir, se están volviendo “viejas”. En los modelos teóricos, esta salida de la secuencia principal provoca un punto de inflexión bastante claro en la línea (denominada isocrona) que predice las posiciones de las estrellas sobre el diagrama color-magnitud para una cierta edad del cúmulo (imagen pág. 9). Sin embargo, una de las cuatro estrellas que han salido de la secuencia principal está en el cruce de las isocronas de seiscientos y ochocientos millones de años y otras dos estrellas son sistemas binarios en los que no distinguimos las dos componentes (vemos el sistema como un único punto). La cuarta estrella es la que apoya con más peso la hipótesis de Tang y sus colaboradores, pero fue eliminada de la lista de miembros del cúmulo por ellos mismos en 2019, imponiendo criterios más restrictivos de pertenencia al cúmulo. Por estos motivos, y por cómo se ha reducido la dispersión de la distribución de periodos de rotación al eliminar las gigantes que contaminaban la muestra, nosotros consideramos que la edad de 500 – 590 millones de años que asigna la girocronología es probablemente la verdadera edad del cúmulo estelar de Coma Berenices.

ESPIRALES EN EL CIELO

Existen en el universo objetos cuyas formas poco comunes hacen que sus imágenes resulten especialmente atractivas. Por mencionar algunos: las galaxias espirales, los objetos Herbig-Haro, los jets relativistas o las majestuosas nebulosas planetarias. La impresionante variedad y riqueza morfológica de estas últimas han hecho que el estudio de su formación y evolución encuentre un hueco importante en la astrofísica actual

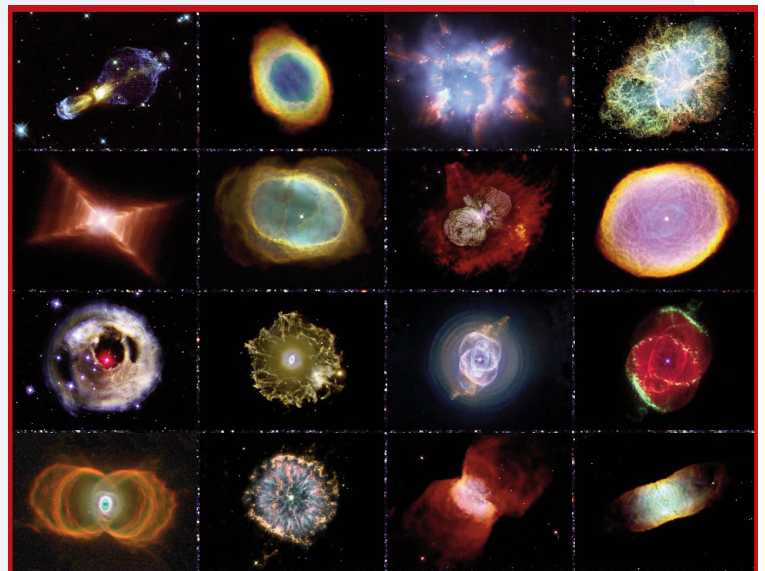
LAS NEBULOSAS PLANETARIAS

Las nebulosas planetarias están constituidas por una estrella central muy caliente que, durante su evolución, ha expulsado la mayor parte de sus capas externas, que se han dispersado en el espacio. Eventualmente, este material será ionizado por la propia estrella, haciéndolo brillar y produciendo espectaculares morfologías que van desde las más sencillas formas esféricas o de anillo hasta formas bipolares, multipolares o hasta irregulares.

En algunos casos se encuentra (o se sospecha) que la nebulosa planetaria alberga en su centro un sistema binario, en el que una estrella orbita en torno a la estrella central. Y es justo aquí donde, a la lista inicial de formas extravagantes, se añade una morfología hipnótica, la espiral de Arquímedes, la curva generada por la combinación de dos movimientos uniformes simultáneos, uno rectilíneo y otro rotacional. Una de las fuentes más notorias en la que se observa este tipo de estructuras es la estrella LL Pegasi, una posible prenebulosa planetaria también conocida como AFGL 3068 (imagen página contigua).

AFGL 3068

A la fuente AFGL 3068 se la cataloga como una estrella de carbono extrema, lo que significa que es una estrella gigante roja con exceso de carbono en su atmósfera. Esto hace que, al combinarse el carbono con el oxígeno de su atmósfera, se forme monóxido de carbono (CO) hasta que se consume todo el oxígeno de la atmósfera de la estrella, permitiéndose así la formación de más compuestos de carbono, lo que da una apariencia turbia y opaca a su atmósfera. Para estudiarla es preciso usar instrumentos fuera del rango óptico que sean capaces de atravesar este material. Así, fueron observaciones en el rango infrarrojo realizadas con el telescopio Keck II en la isla de Hawái las que revelaron la naturaleza binaria de AFGL 3068. El sistema estaría compuesto por una estrella roja de carbono con grandes pérdidas de masa y una componente más azul separadas por una distancia de unas 109 unidades astronómicas (UA) en una órbita que completan cada 800 años aproximadamente (asumiendo que AFGL



Mosaico de nebulosas planetarias, que muestra la variedad de formas posibles de estos bellísimos objetos. Fuente: Telescopio Espacial Hubble (NASA/ESA).

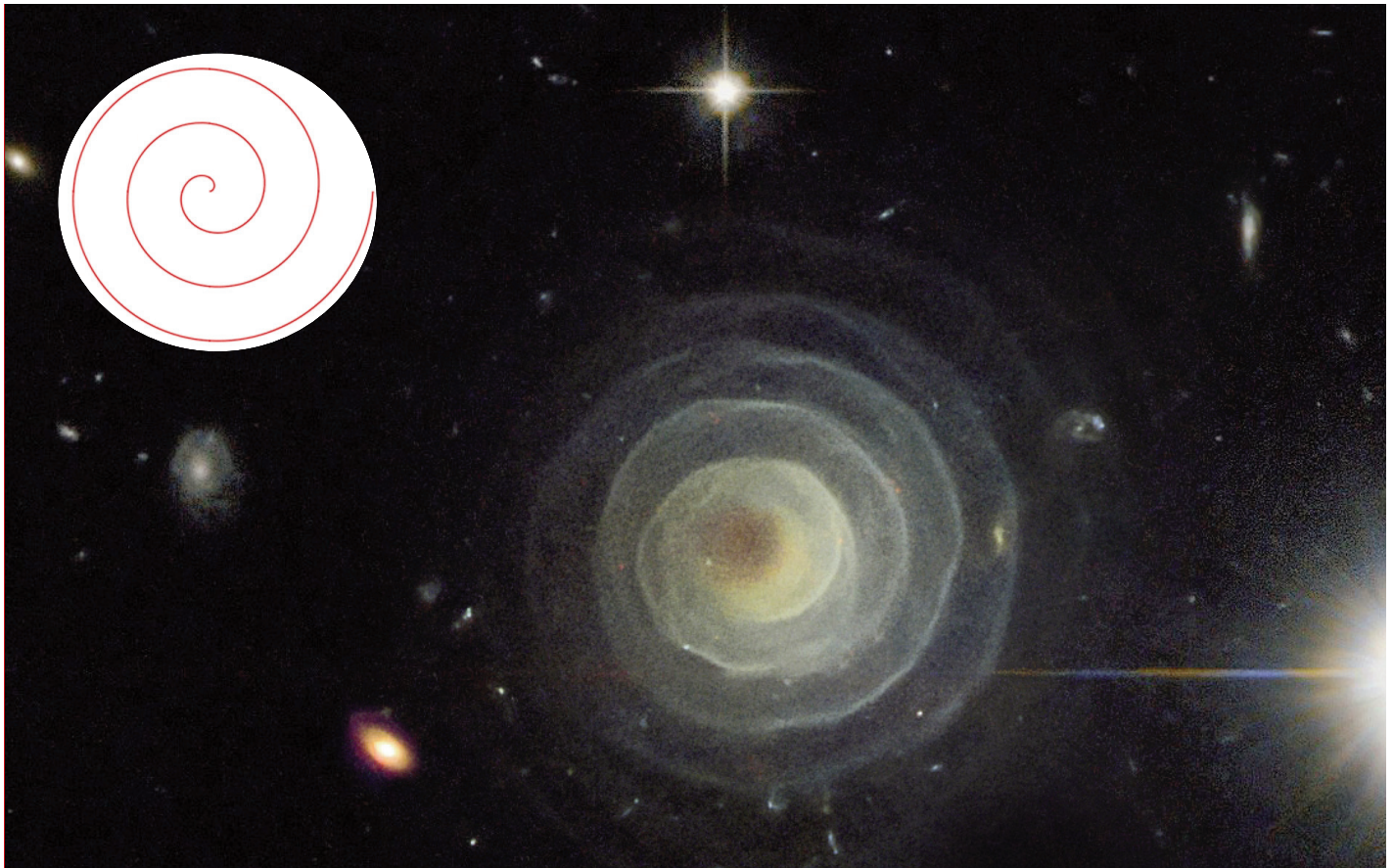
3068 se encuentra a una distancia de 3400 años luz).

La gran cantidad de moléculas ricas en carbono en la atmósfera de AFGL 3068 y en el material que expulsa provocan que esta fuente emita profusamente en longitudes de onda milimétricas, haciéndola ideal para observaciones con ALMA, el Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. Dichas observaciones, junto a las del Telescopio Espacial Hubble, confirman que la estructura en forma de espiral de Arquímedes se extiende desde apenas 0.05 hasta 0.35 años luz de la estrella. El material se expande con una velocidad de 14 kilómetros por segundo, por lo que el espaciado entre cada vuelta de la espiral ocurre aproximadamente cada ochocientos años.

Curiosamente, el espaciado entre vueltas de la espiral es muy similar al tiempo que le toma al sistema binario completar una órbita, lo que ha incitado la teoría más aceptada para este tipo de estructuras. La estrella central eyectaría material de manera continua cuya expansión sería modulada por el de la compañera en su movimiento orbital, sumando a la velocidad radial del viento estelar

DECONSTRUCCIÓN

GERARDO RAMOS LARIOS
IAM - UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA



Espiral de Arquímedes (izquierda) e imagen del Telescopio Espacial Hubble en una banda óptica de continuo de la fuente AFGL 3068 (derecha) en la que se aprecia una estructura con dicha forma. Fuente: ESA/NASA & R. Sahai.

una componente rotacional que generaría la forma espiral. Desde el descubrimiento de esta estructura en AFGL 3068, hace ya unos quince años, se ha podido observar este fenómeno en otros objetos, siendo los casos de CW Leonis, R Sculptoris y U Antliae los más interesantes. Todos ellos eventualmente culminarán su evolución como una nebulosa planetaria, y entonces la acción combinada de vientos estelares rápidos y procesos de ionización destruirán estas espirales para formar los arcos observados en torno a una fracción notoria de nebulosas planetarias, como el caso de NGC 6543, el Ojo del Gato (imagen derecha).

Las formas espirales más conocidas en los cielos son las de las galaxias espirales, sistemas compuestos por miles de millones de estrellas, gas y polvo, con tamaños promedio de 100.000 años luz. A diferencia de las espirales en un sistema binario, los brazos espirales de una galaxia son en realidad ondas de densidad (mantenidas por efectos gravitacionales) que se propagan en sus discos, arremolinando estrellas, gas y polvo en brazos en torno a sus abultados núcleos. Las diferencias entre ambos objetos son enormes, pero también lo es el atractivo visual de estos torbellinos celestiales.



Imagen del Telescopio Espacial Hubble en bandas del óptico con filtros estrechos de la nebulosa planetaria NGC6543 en la que se aprecia su naturaleza bipolar, rodeada por estructuras concéntricas. Fuente: ESA/NASA.

EL MOBY DICK DE...

...SARA CAZZOLI (IAA-CSIC)

EL SUPERVIENTO DE IRAS F11506-3851

No todas las galaxias son iguales. Diferencias como la morfología y el color son obvias cuando miramos las espectaculares imágenes del telescopio espacial Hubble. No obstante, las galaxias son verdaderos ecosistemas de estrellas, gas, planetas, nebulosas y agujeros negros, y solo a través de las imágenes no tenemos una visión completa de su variedad y complejidad. Por ejemplo, cuando las observamos con técnicas como la espectroscopía, dos galaxias que podrían parecer gemelas en imagen resultan pertenecer a distintas familias de galaxias.

Conozco en profundidad dos familias de galaxias muy interesantes por distintas razones. Durante mi doctorado me dediqué al estudio de las U/LIRGs (galaxias luminosas y ultraluminosas en el infrarrojo, por sus siglas en inglés), y actualmente me dedico a estudiar las llamadas galaxias activas, que poseen un agujero negro supermasivo activo, abundantemente alimentado con gas. Pero, como se dice en Italia, mi país, *il primo amore non si scorda mai* (amor primero, jamás se olvida). En mi caso, cambiamos “amor” por “primer artículo” y nos encontramos con IRAS F11506-385. ¿Qué tiene esta galaxia que la hace tan especial?

Para responder a esta (muy acertada) pregunta, tenemos que dar un paso atrás y hablar de mi especialidad dentro de la rama de la astronomía galáctica: es decir, el estudio del papel desempeñado por los supervientos galácticos (*outflows* en inglés) en la evolución de las galaxias.

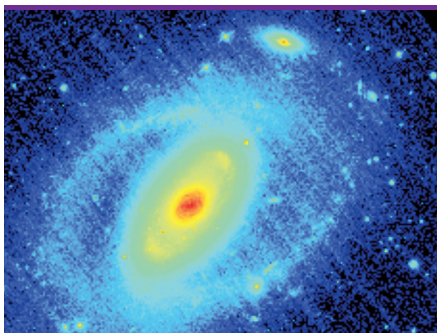
SUPERVIENTOS GALÁCTICOS

Se trata de fenómenos capaces de liberar una extraordinaria cantidad de energía y transportar material (principalmente gas) desde las regiones centrales de las galaxias hasta grandes distancias, incluso superando el tamaño de la galaxia anfitriona y llegando al medio intergaláctico. El efecto de estos supervientos no es, como pudiera parecer, negativo y arrasador, sino que su desarrollo puede tener consecuencias positivas y constructivas, pudiendo desencadenar la formación de nuevas estrellas.

Su influencia sobre la galaxia anfitriona es crucial y puede hasta determinar su evolu-



Licenciada en astrofísica por la Universidad de Bolonia (Italia) y doctora en astrofísica por la Universidad Autónoma de Madrid. Realizó su tesis doctoral “Búsqueda de supervientos de gas neutro en galaxias luminosas cercanas con fuerte formación estelar”, en el Centro de Astrobiología (CAB), en colaboración con la Universidad de Cambridge. Actualmente es investigadora postdoctoral en el IAA-CSIC, donde estudia las propiedades de las galaxias activas, del agujero negro central y de los supervientos galácticos.



La galaxia IRAS F11506-385 fotografiada por el telescopio espacial Hubble.

ción, de modo que su estudio nos aporta algunas claves sobre la evolución de las galaxias. En los últimos veinte años se ha demostrado que los supervientos galácticos son fenómenos comunes en las galaxias, pero que presentan diferentes propiedades y efectos según el fenómeno que los desencadena: intensos brotes de formación estelar o la actividad de los agujeros negros supermasivos.

EL SUPERVIENTO DE IRAS F11506-3851

Esta galaxia pertenece a la familia de las LIRGs, que se caracterizan por su enorme luminosidad en el rango del infrarrojo del espectro electromagnético (IRAS es el nombre del telescopio espacial que muestreó por primera vez el cielo a esta frecuencia). Las galaxias de esta familia representan los casos más extremos de formación estelar en el universo local, y constituyen el lugar perfecto para cazar supervientos galácticos originados por la intensa formación de estrellas.

Para investigar la posible presencia de un superviento en IRAS F11506-3851 analizamos las propiedades del gas a través de observaciones espectroscópicas con el telescopio VLT (*Very Large Telescope*) y el espectrógrafo de campo integral VIMOS. Este instrumento cubre el rango óptico, y por esto fue posible analizar el perfil de las diferentes líneas de emisión y absorción asociadas a diferentes tipos de

gas, templado las primeras y frío las segundas. En estos datos buscamos la evidencia de flujos de gas en movimiento a gran velocidad; como referencia, usamos la velocidad de rotación normal de las estrellas obtenida a partir de los datos del instrumento SINFONI del VLT.

Estas observaciones proporcionaron la primera evidencia de un prominente superviento galáctico en IRAS F11506-385. El superviento resultó ser masivo (por su composición principalmente en gas frío, más pesado que el templado), capaz de arrastrar hacia las regiones externas una gran cantidad de gas necesario para la formación de estrellas (lo que ralentiza su ritmo), e incapaz de llegar al medio intergaláctico debido a sus velocidades relativamente bajas (“solo” entre 30 y 150 kilómetros por segundo). Así, el gas asociado al superviento cae de nuevo como una lluvia sobre la galaxia anfitriona, alterando su composición química o su morfología, y vuelve a estar disponible para la formación de nuevas estrellas.

Las sorpresas que IRAS 11506-3851 nos reserva no terminan aquí, ya que a partir de mi artículo se inició una serie de trabajos dedicados a esta galaxia. Por ejemplo, los potentes ojos del telescopio ALMA en Chile fueron capaces de ver con gran detalle la estructura del gas muy frío de IRAS F11506-385. Estas observaciones revelaron que, en el flujo de gas templado y frío, el gas muy frío está presente en nubecitas de gas de diferentes tamaños. Esto nos permitió de estimar con precisión la masa total del superviento (pesando tres tipos de gas: templado, frío y muy frío), indispensable para poder medir el papel del superviento en la evolución de esta galaxia. Seguimos al pie del cañón con IRAS F11506-3851 descubriendo peculiaridades interesantes (no solo relacionadas son el superviento) para entender mejor la familia de las LIRGs. ¡No hay duda de que la decisión de dedicar mi primer artículo a esta LIRG fue muy acertada!

Se observa el acercamiento de las estrellas de un sistema binario debido a la emisión de ondas gravitatorias

EL SISTEMA ESTÁ COMPUESTO POR DOS ESTRELLAS ENANAS BLANCAS QUE GIRAN EN TORNO AL CENTRO DE MASAS COMÚN CADA VEINTE MINUTOS, Y QUE VAN ACERCÁNDOSE GRADUALMENTE. EL TRABAJO, EN EL QUE PARTICIPA EL IAA-CSIC, MUESTRA QUE LAS ESTRELLAS SE HAN "ACHATADO" Y PRESENTAN FORMA ELIPSOIDAL DEBIDO A LAS FUERZAS DE MAREA

Cada veinte minutos, las estrellas del sistema doble PTF J053332.05+020911.6 completan una órbita en torno al centro de masas común, una frecuencia que apunta a que se trata de un sistema excepcional: no está formado por estrellas "normales", sino por enanas blancas, y esa velocidad genera efectos de marea que deforman las estrellas, que presentan forma elipsoidal. Un trabajo, en el que participa el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha estudiado este sistema y ha hallado que las estrellas muestran un decaimiento orbital, que las acerca progresivamente, debido a la emisión de ondas gravitatorias.

"Sabemos que existe una relación directa entre el período de un sistema de estrellas y la distancia entre sus componentes: cuanto más cerca están las estrellas, más rápido orbitan entre sí y, por lo tanto, más corto es su período. Y, dado que el período observado es tan corto, eso implica que las estrellas están tan próximas que no puede tratarse de estrellas como Sol,

sino de objetos más compactos, como demostró el análisis de los datos", señala Antonio Claret, investigador del IAA-CSIC de participa en el estudio.

Las enanas blancas, como las que forman el sistema PTF J053332.05+020911.6, constituyen los restos de una estrella como el Sol que ha expulsado sus capas más externas y conserva un núcleo muy compacto. Las densidades de estos objetos pueden ascender a dos toneladas por centímetro cúbico, y pueden albergar una masa equivalente a la del Sol en un volumen similar al de la Tierra.

Los sistemas binarios de enanas blancas constituyen un excelente laboratorio para profundizar en el conocimiento de la evolución de estrellas dobles, así como de la física de las mareas en entornos astronómicos pero, igualmente, un sistema como PTF J053332.05+020911.6 representa un objeto idóneo para el estudio de ondas gravitatorias, ondulaciones en la estructura del espaciotiempo predichas por Einstein.

Las ondas gravitatorias son un fenómeno asociado a los objetos que generan los entornos gravitatorios más extremos, como los sistemas binarios de enanas blancas, agujeros negros o estrellas de neutrones. Estos



sistemas generan distorsiones en el espaciotiempo que, al igual que las ondas que produce una piedra en el agua, se propagan desde el origen a la velocidad de la luz acarreando valiosa información sobre los objetos que producen las ondas y sobre la naturaleza de la gravedad.

"El decaimiento orbital observado es debido a las fuerzas de marea que actúan en el sistema y a la contribución puramente relativista. El acercamiento de las dos componentes hace que estas sigan una trayectoria espiral emitiendo ondas gravitacionales que podrán ser detectadas en el futuro por la misión espacial LISA. La contribución relativista en la reducción del período orbital es del orden del 98% del total —señala Antonio Claret (IAA-CSIC)—. Además, hemos calculado

tanto las distorsiones causadas por las enormes fuerzas de marea como la distribución de brillo de las enanas blancas, que presentan una forma elipsoidal".

El trabajo ha permitido también atisbar el futuro del sistema. El decaimiento orbital, que provoca un acercamiento progresivo de ambas estrellas, irá reduciendo el tiempo que tardan en girar en torno al centro de masas común. Cuando ese periodo baje de veinte a catorce minutos comenzará a producirse una transferencia de masa entre las estrellas, y bien terminarán fusionándose, emitiendo una gran cantidad de energía, o formando un sistema de variables cataclísmicas, en las que la transferencia de materia produce intensos picos de variabilidad.

Un episodio extremadamente violento en la historia de la Vía Láctea, con más de cien mil explosiones de supernova

UN MUESTREO CON UNA RESOLUCIÓN SIN PRECEDENTES DE LAS REGIONES CENTRALES DE NUESTRA GALAXIA REVELA SU HISTORIA COMPLETA DE FORMACIÓN ESTELAR

El proyecto GALACTICNUCLEUS, coordinado por investigadores del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), fue diseñado para estudiar la región central de la Vía Láctea, que representa el ambiente astronómico más extremo que podemos estudiar en detalle, con un agujero negro supermasivo rodeado de un denso cúmulo estelar. Con una muestra de estrellas cien veces superior a la de proyectos anteriores, GALACTICNUCLEUS ha permitido desentrañar la historia de formación de estrellas en el centro galáctico y detectar el que posiblemente fue su episodio más energético: un estallido de formación estelar que produjo más de cien mil explosiones de supernova.

“Por primera vez hemos obtenido una visión detallada del proceso de formación de las estrellas en una gran región del centro galáctico”, apunta Rainer Schödel, astrónomo del IAA-CSIC y coordinador del proyecto GALACTICNUCLEUS. “Al contrario de lo que se esperaba, hemos descubierto que la formación de las estrellas no ha sido continua”, señala Francisco Nogueras-Lara, investigador del IAA-CSIC y primer autor del estudio, publicado en *Nature Astronomy*.

El estudio revela que alrededor del 80% de las estrellas en el centro de la Vía Láctea se formaron en el pasado remoto, hace entre ocho y trece mil millones de años. Este período de formación inicial de estrellas fue seguido por unos seis mil millones de años de latencia durante los que apenas nacieron estrellas. Este periodo estéril llegó a su fin con un intenso estallido de formación estelar hace alrededor de mil millones de años: estrellas con una masa combinada de varias decenas de millones de soles se formaron en el centro galáctico en un período inferior a cien millones de años.

“Las condiciones en el centro galáctico

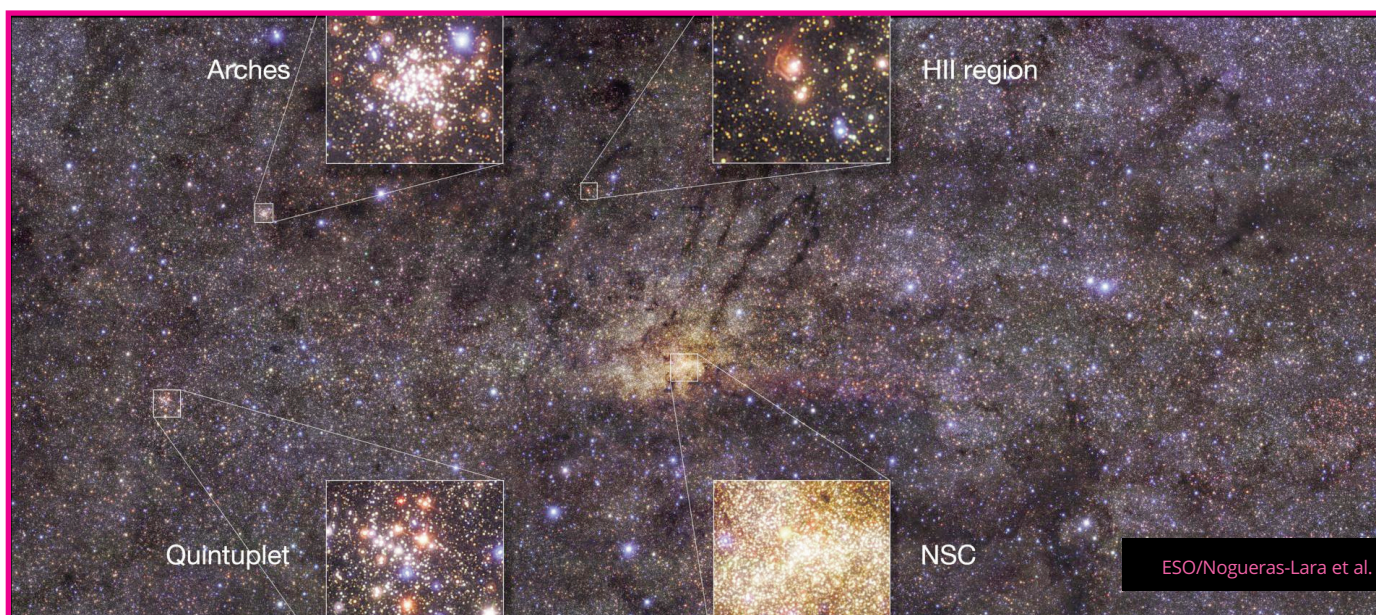
durante este estallido de actividad debieron parecerse a las de las galaxias *starburst* –literalmente, estallidos de estrellas–, que muestran un ritmo de formación estelar de más de cien masas solares por año, muy superior a la tasa actual de la Vía Láctea, que oscila anualmente entre una y dos masas solares”, apunta Nogueras-Lara.

En este tipo de estallidos de formación estelar nacen muchas estrellas masivas, que presentan una vida breve: queman su combustible, el hidrógeno nuclear, mucho más rápido que las estrellas de menor masa y culminan sus vidas con violentas explosiones de supernova. “Este estallido de actividad, que resultó en la explosión de más de cien mil supernovas, fue probablemente uno de los eventos más energéticos en toda la historia de la Vía Láctea”, concluye Rainer Schödel (IAA-CSIC).

Este estallido fue seguido por un período de actividad reducida, pero en las últimas decenas de millones de años el centro galáctico ha estado formando estrellas a un ritmo relativamente alto.

Este resultado cambia nuestra imagen de cómo se forman las estrellas en la región central de la Vía Láctea: en lugar de una formación estelar constante, esta parte de la galaxia presenta notorios picos de actividad a lo largo de su historia. Esta investigación fue posible gracias a las observaciones del centro galáctico realizadas con el instrumento HAWK-I del telescopio VLT (ESO) en el desierto de Atacama (Chile). Esta cámara infrarroja, capaz de ver a través de las nubes de polvo del centro galáctico, hizo posible obtener la imagen más detallada del centro galáctico, publicada en octubre. Para ello se estudiaron más de tres millones de estrellas, cubriendo un área correspondiente a más de sesenta mil años luz cuadrados.

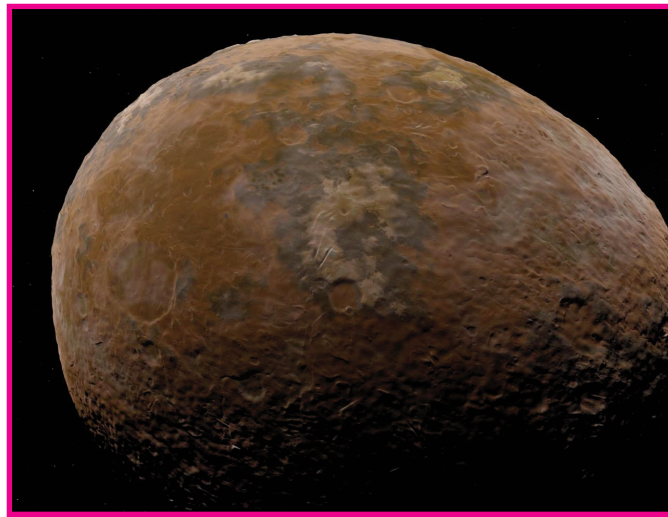
Estudiar el centro de la Vía Láctea resulta fundamental para obtener una imagen completa de cómo se formó nuestra galaxia. Los datos obtenidos en el marco del proyecto GALACTICNUCLEUS permiten también comprender mejor la estructura y las propiedades del centro galáctico, así como sus poblaciones estelares.



Indicios de la existencia de un satélite alrededor de Varuna, un cuerpo menor situado más allá de Neptuno

QUINCE AÑOS DE OBSERVACIONES DESDE DISTINTOS TELESCOPIOS HAN PERMITIDO DETECTAR LA SEÑAL DE UNA LUNA EN TORNO A ESTE OBJETO TRANSNEPTUNIANO

Más allá de Neptuno, el octavo planeta del Sistema Solar, orbitan los objetos transneptunianos (o TNOs, de su nombre en inglés), un grupo de objetos rocosos y helados entre los que destaca Plutón, el de mayor tamaño. Situados a más de treinta veces la distancia entre la Tierra y el Sol, los TNOs constituyen los fósiles de la nebulosa solar primitiva que dio origen al Sistema Solar, y su estudio aporta información sobre cómo se formaron los planetas. Ahora, un grupo de investigadores, con participación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha hallado señales de que Varuna, un TNO de unos mil kilómetros de lado, presenta un satélite natural.



El grupo recolectó imágenes de Varuna desde distintos observatorios, entre ellos el de Calar Alto y el de Sierra Nevada, a lo largo de quince años. Al analizar los datos observaron cómo la curva de luz rotacional (la variación del brillo debido a la rotación sobre su eje principal) del objeto difiere de lo que se espera ver en un objeto elipsoidal. El grupo encontró que, además de la periodicidad debida a la rotación del cuerpo, los datos contenían una

segunda periodicidad, muy probablemente debida a un satélite que gira en torno a Varuna una vez cada doce horas.

“Es la primera vez que detectamos indicios de un satélite en un objeto tan lejano utilizando curvas de luz rotacionales —apunta Estela Fernández-Valenzuela, investigadora del Florida Space Institute que encabeza la investigación—. Es muy emocionante, sobre todo porque este objeto en concreto es

bastante complejo”.

Varuna muestra unas propiedades físicas peculiares. Rota relativamente rápido, con un periodo de unas seis horas, y produce una curva de rotación curiosa que indica que se trata de un objeto muy alargado. Además, los indicios apuntan a que se trata de un cuerpo más denso que los TNOs similares.

“Hasta la fecha, los satélites en objetos transneptunianos solo se habían descubierto con telescopios espaciales, como Hubble, capaces de diferenciar ambos cuerpos. Esto implica que estamos limitados a satélites que se hallan suficientemente separados del cuerpo principal del sistema”, señala Fernández-Valenzuela. “Al añadir esta técnica, usada anteriormente en asteroides, más próximos y por lo tanto más brillantes, podemos detectar satélites que se encuentran mucho más cerca del cuerpo principal, eliminando el sesgo observacional. Esto ayudará a mejorar los modelos sobre formación de sistemas con satélites y también sobre los diferentes procesos físicos que tienen lugar en las regiones más externas del Sistema Solar”.

Un posible segundo planeta en torno a Próxima Centauri

CON UNA MASA MÍNIMA DE UNAS SEIS VECES LA TERRESTRE, EL PLANETA GIRARÍA EN TORNO A LA ESTRELLA A 1.5 VECES LA DISTANCIA ENTRE LA TIERRA Y EL SOL

Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol, es una enana roja que se encuentra a tan solo cuatro años luz. Ocho veces menos masiva que el Sol, se está revelando como un sistema cada vez más complejo: si en 2016 se anunciaba el hallazgo en torno a Próxima de un planeta templado del tamaño de la Tierra, que constituye el planeta extrasolar más cercano, en

2017 se detectaron indicios de la existencia de cinturones de polvo en torno a la estrella, quizá los restos de la formación del sistema. Ahora, un equipo internacional con participación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) anuncia el hallazgo de un posible segundo planeta, Próxima c.

“En el IAA estamos entusiasmados con este resultado porque proporciona

información nueva para comprender el sistema planetario alrededor de Próxima Centauri —apunta Pedro J. Amado, investigador del IAA-CSIC que participa en el hallazgo—. Comenzamos coliderando las primeras observaciones para el proyecto Red Dots, lo que resultó en la detección del primer planeta, Próxima b. Continuamos intentando comprender el entorno de la

estrella, con la detección de posibles cinturones de polvo y con una fuente puntual de emisión de polvo a 1.5 veces la distancia Tierra-Sol de la estrella, que atribuimos a la emisión de anillos alrededor de un segundo planeta. Y ahora detectamos un segundo posible planeta que orbita exactamente a esa distancia. ¿Una coincidencia? Quizá, pero tenemos que confirmarlo”.

MÁS ALLÁ DE LA LÍNEA DE NIEVE

El descubrimiento, publicado en portada en la revista *Science Advances*, fue realizado por un equipo internacional de investigadores gracias a los datos recopilados desde Chile con los espectrógrafos UVES y HARPS, pertenecientes al Observatorio Europeo Austral (ESO). Las observaciones, que abarcan un total de diecisiete

años, revelaron la presencia de una señal con un período de 5.2 años compatible con la existencia de un segundo planeta en torno a Próxima Centauri con una masa mínima de unas seis veces la de la Tierra.

“La señal parece muy convincente, pero aún no podemos descartar que se deba a otros factores, como un ciclo de actividad magnética estelar —explica Cristina Rodríguez-López, investigadora del IAA-CSIC que participa en el trabajo—. Se trata de un planeta idóneo para la combinación de técnicas complementarias que confirmen existencia, y si lo logramos hará falta una revisión de los modelos: la señal apunta a que se trata de un planeta rocoso, pero se encuentra más allá de lo que se conoce como la línea de nieve, a partir de la que hallamos planetas gigantes gaseosos. Un pla-



neta rocoso en esa región exige nuevos planteamientos”.

La señal detectada se encuentra en el límite de las capacidades instrumentales, y los investigadores esperan que los datos astrométricos tomados con el satélite Gaia jueguen un papel decisivo para confirmar la

existencia de Próxima c. Además, la proximidad del sistema y la distancia entre el planeta y la estrella apuntan a que podría convertirse en un objetivo principal para el seguimiento y la caracterización con instrumentación de imagen directa de próxima generación.

Más de trescientos discos de formación de planetas en estrellas jóvenes en las nubes de Orión

ALMA Y VLA SE ADENTRAN EN LAS NUBES DE ORIÓN, UN VIVERO ESTELAR QUE REVELA CÓMO LAS ESTRELLAS RECIÉN NACIDAS EVOLUCIONAN Y DESARROLLAN DISCOS PROTOPLANETARIOS

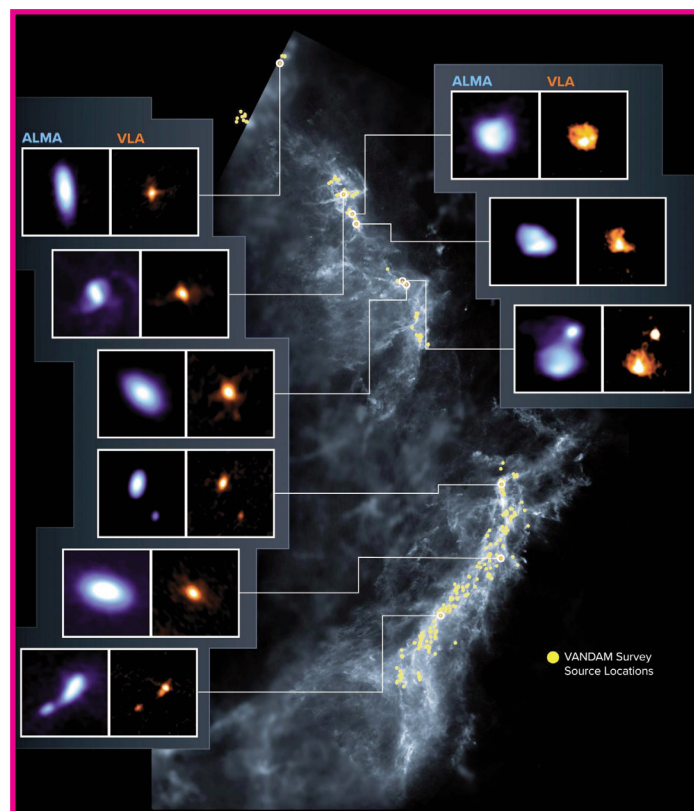
Las estrellas se forman en las nubes moleculares, enormes nubes de gas (con un pequeño porcentaje del polvo) que pueden contener masa suficiente para generar miles, e incluso millones, de estrellas como el Sol. Los embriones de las futuras estrellas se encuentran ocultos en el interior de estas nubes, por lo que la observación del proceso de formación estelar, así como de los discos a partir de los que nacen los planetas, resulta difícil.

Ahora, un equipo internacional de astrónomos ha completado el mayor muestreo de estrellas recién nacidas desarrollado hasta la fecha, con más de trescientos discos protoplanetarios descubiertos.

CÓMO SE FORMAN LAS ESTRELLAS

Según los modelos de formación estelar, el nacimiento de las estrellas comienza con la fragmentación de la nube. Cada fragmento sufrirá un lento proceso de contracción hasta que se

Esta imagen muestra las nubes moleculares de Orión, el objetivo del estudio. Los puntos amarillos señalan la ubicación de las protoestrellas observadas en una imagen de fondo tomada por Herschel. Los paneles laterales muestran nueve protoestrellas jóvenes fotografiadas por ALMA (azul) y el VLA (naranja). Crédito: ALMA (ESO / NAOJ / NRAO), J. Tobin; NRAO / AUI / NSF, S. Dagnello; Herschel / ESA.



forma el embrión estelar, o protoestrella, que crece acumulando material mediante un disco en rotación a su alrededor. Simultáneamente, la estrella expulsa el material sobrante a lo largo de su eje polar en forma de un potente chorro, que estabiliza su rotación y permite que siga creciendo.

Sin embargo, estas primeras etapas de la formación de las estrellas aún presentan incógnitas. “Gracias a la potente instrumentación actual, como los radiotelescopios ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) y VLA (Very Large Array), podemos observar etapas cada vez más tempranas en el proceso de formación de las estrellas, cuando aún conviven potentes expulsiones de materia con el desarrollo de discos a su alrededor, que constituyen la semilla de posibles sistemas planetarios”, comenta Ana Karla Díaz-Rodríguez, investigadora

del IAA que participa en el trabajo. “Estos resultados, con la detección de cientos de sistemas planetarios en las nubes de Orión, ilustran muy bien la diversidad de condiciones físicas en las que puede ocurrir este proceso. Orión es una región rica en estrellas jóvenes, donde conviven protoestrellas de alta y de baja masa, y cuya formación tiene lugar tanto de forma aislada como en grupo, por lo que su estudio es de gran relevancia para este campo”, comenta Mayra Osorio, investigadora del IAA-CSIC que participa en el resultado.

La muestra obtenida ha permitido, por ejemplo, comparar la masa y el tamaño medio de los discos protoplanetarios jóvenes con discos en un estado evolutivo más avanzado. Los investigadores han hallado que, aunque todos muestran un tamaño similar, los discos jóvenes son mucho más masivos, lo que apunta a que los planetas más grandes se forman en

etapas muy tempranas de la formación estelar.

PROTOESTRELLAS PECULIARES

Entre los cientos de imágenes de la muestra destacan cuatro objetos, que presentan una forma irregular y “grumosa” y son opacas incluso a las ondas de radio, lo que podrían ser indicios de que se hallan en un estadio anterior al de protoestrella.

Para definirse como una protoestrella típica, las estrellas no solo deben tener un disco plano a su alrededor, sino también el chorro bipolar que libera material, pero aún se desconoce en qué momento de la formación de la estrella se genera el chorro.

Por ejemplo, una de las estrellas del estudio, HOPS 404, muestra un flujo de material que se mueve a dos kilómetros por segundo, cuando la velocidad típica en estas estructuras es de entre diez y cien kilómetros por

segundo. “Estamos ante un gran e hinchado sol que todavía está acumulando masa, pero que acaba de comenzar a expulsar materia para perder momento angular y poder seguir creciendo —apunta Nicole Karnath, investigadora de la Universidad de Toledo (Ohio, EEUU) que encabeza uno de los dos artículos publicados—. Se trata de uno de los flujos más pequeños que hemos visto, y se presenta como una de las primeras etapas en la formación de una protoestrella”. Estos cuatro objetos representan una rareza y, aunque los investigadores no pueden confirmar su edad, estiman que tienen menos de diez mil años. Para las estrellas como el Sol, se cree que el proceso de contracción gravitatoria finaliza pasados los diez millones de años, momento en el que comienzan las reacciones termonucleares que definen a una estrella propiamente dicha. Estamos, así, ante objetos verdaderamente jóvenes.

Así eran las semillas de los cuerpos sólidos del Sistema Solar: motas de polvo porosas y de pocos milímetros

EL IAA ENCABEZA UNA INVESTIGACIÓN QUE MUESTRA, POR PRIMERA VEZ DE FORMA EXPERIMENTAL, LOS RASGOS DE LAS PARTÍCULAS DEL NÚCLEO DE UN COMETA

Sabemos que todos los cuerpos sólidos del universo, bien sean planetas, cometas o asteroides, se forman de pequeño a grande: minúsculas partículas de polvo se van agregando para dar lugar a objetos cada vez mayores. Pero, ¿cómo eran las semillas con las que comenzó el proceso, y que miles de millones de años después dieron lugar a la Luna, a Venus, o al suelo que

pisamos? La respuesta puede hallarse en los cometas, que constituyen los objetos menos procesados del Sistema Solar y, por lo tanto, son testigos de cómo era la nebulosa primigenia. Ahora un estudio muestra que sus semillas eran partículas muy porosas y del tamaño de milímetros, un escenario distinto al contemplado hasta ahora.

“Las partículas de polvo se hallan presentes en escenarios tan diversos como el medio interestelar, las atmósferas planetarias, las colas de los cometas o los discos en torno a las estrellas jóvenes —apunta Olga Muñoz, investigadora del IAA-CSIC que coordina el estudio—. Conocer las propiedades de estas partículas resulta esencial no solo para evaluar sus efectos, como el aumento o descenso de las temperaturas en el caso de la atmósfera terrestre, sino también para obtener informa-



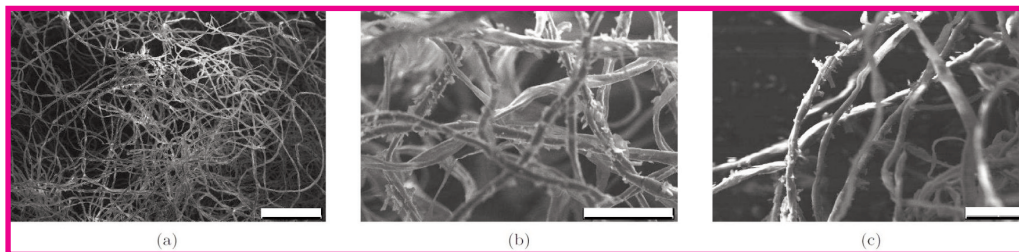
Detalle de la superficie del cometa 67P, donde se observa un chorro de polvo y hielo, tomada por la cámara Osiris a bordo de la misión Rosetta en julio de 2017.

incluso, el polvo en ciertos entornos puede revelarnos la historia de la formación de los cuerpos rocosos”.

Y, en el Sistema Solar, los objetos que constituyen la clave para desentrañar esa historia son los cometas. Los núcleos cometarios se describen como bolas de polvo heladas y, desde su formación en los orígenes del Sistema Solar, han permanecido alejados de la radiación del Sol y a muy bajas temperaturas, de modo que el material que los compone apenas ha cambiado. De hecho, este carácter pristino de los cometas se confirmó gracias a la misión Rosetta (ESA), que acompañó al cometa 67P en su órbita alrededor del Sol y pudo estudiarlo in situ.

“Los datos de 67P incidieron en un problema ya conocido sobre los rasgos de las partículas de polvo en el universo. Teníamos, por un lado, los datos de las

ción sobre la estructura y evolución de los objetos donde se encuentra. E,



Imágenes tomadas con microscopio electrónico de una bola de algodón sucia, el modelo de partícula que reproduce tanto la señal de las observaciones desde tierra del cometa 67P como las de los instrumentos a bordo de la misión Rosetta. Las barras blancas denotan 500 micras (a) y 100 micras (b) y (c), respectivamente. Las pequeñas partículas que cubren las fibras de algodón corresponden a las inclusiones de carbón. Fuente: IAA.

observaciones de 67P desde tierra que apuntaban a que se trata de partículas del tamaño de la micra (una milésima de milímetro), y que coinciden con los de la misión Giotto sobre el cometa Halley. Y, por otro, contábamos con los datos de los instrumentos que analizaban el polvo de 67P in situ y que indicaban que las partículas dominantes median, aproximadamente, desde una décima de milímetro hasta varios milímetros, una conclusión que coincide a

su vez con los datos del polvo observado en los discos de formación de planetas en torno a estrellas jóvenes", señala Fernando Moreno, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía que participa en el trabajo.

Para resolver el problema, el equipo de Muñoz y colaboradores empleó el Laboratorio de Polvo Cósmico (CODULAB) del Instituto de Astrofísica de Andalucía, que trabaja con análogos de polvo cósmico y

cuyos resultados anteriores ya demostraron que la práctica, muy habitual, de asumir que los granos de polvo son esféricos puede dar lugar a grandes errores en la interpretación de las observaciones.

Hasta la fecha, los estudios experimentales sobre polvo cósmico trabajaban con partículas diminutas (desde menos de una micra hasta unas cien micras) y, para contrastar medidas, el CODULAB se modificó en 2017 para

estudiar partículas de hasta varios milímetros. El equipo probó con motas de polvo de distintos tamaños y características y encontró las idóneas, aquellas que conseguían reproducir tanto la señal de las observaciones desde tierra del cometa 67P como las de los instrumentos a bordo de Rosetta: partículas grandes, porosas, con forma achatada y con inclusiones de pocas micras.

"Los resultados han sido espectaculares, porque solucionan el problema y aportan una panorámica nueva. Si ya en su momento abandonamos la idea de que los granos de polvo eran esféricos, ahora tenemos un nuevo modelo que apunta a que las semillas de los cuerpos rocosos pueden medir varios milímetros y presentan estructuras porosas unidas por pequeñas partículas orgánicas: algo parecido a pequeñas bolitas de algodón sucias", concluye Olga Muñoz (IAA-CSIC).

La película completa de cómo un agujero negro expulsa materia e interactúa con el medio

EL AGUJERO NEGRO, QUE FORMA UN SISTEMA BINARIO CON UNA ESTRELLA DE TIPO SOLAR, EXPERIMENTÓ UNA EYECCIÓN DE MATERIA QUE TRANSPORTÓ GAS A ENORMES DISTANCIAS

Los agujeros negros estelares se forman tras el colapso de una estrella muy masiva, y sabemos que presentan un campo gravitatorio tan intenso que ni la luz puede escapar de ellos. Sin embargo, existen mecanismos a través de los que estos objetos realimentan el medio interestelar, al expulsar, a través de chorros o estallidos,

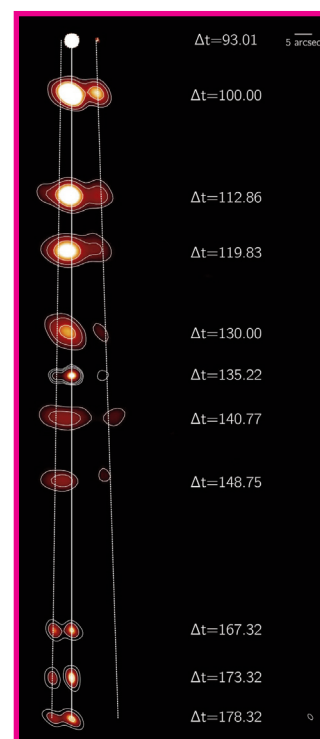
parte del material que queda atrapado en su disco de acrecimiento. Ahora, un grupo internacional de astrónomos ha observado, a lo largo de seis meses, la evolución del material expulsado por un agujero negro. Los resultados se publican en *Nature Astronomy*.

Conocido como MAXI J1820+070, o J1820, el agujero negro forma parte de un sistema binario, en el que él y una estrella compañera parecida al Sol giran alrededor de un centro de masas común. En estos sistemas es habitual que el agujero negro absorba material de su estrella compañera, que cae hacia el agujero negro a través de un disco que lo rodea: en su caída, el material se calienta y el disco emite rayos X. Se trata de objetos muy variables, cuyo brillo depende de cuánto gas pueda absorber el agujero negro, y en ocasiones se desarrolla

también un chorro bipolar que expulsa parte del material y que es visible en ondas de radio, como ocurre en J1820.

"Generalmente, este tipo de sistema astrofísico acumula una cantidad muy pequeña de material, por lo que no puede ser visto. Sin embargo, ocasionalmente entran en erupción y solo entonces son observables: tuvimos la suerte de detectar el estallido en J1820 poco después de que se produjera en verano de 2018", señala Joe Bright investigador del Departamento de Física de la Universidad de Oxford que encabeza el estudio.

Evolución del chorro bipolar desde 93 hasta 178 días después de la erupción. La línea central muestra la posición estática del agujero negro, mientras que los dos chorros muestran una trayectoria balística según se van separando del agujero negro.



“Una rápida coordinación para realizar observaciones en radio de alta resolución unos días después del inicio del evento fue fundamental para interpretar los cambios morfológicos de la fuente en los seis meses siguientes”, apunta Javier Moldón, investigador del IAA-CSIC que participa en el trabajo.

Así, se desplegó una extensa campaña de observación que incluyó telescopios en Reino Unido, como e-MERLIN, y Estados Unidos, así como el telescopio MeerKAT, recientemente

operativo en Sudáfrica. “Con estas instalaciones fuimos capaces de rastrear la conexión entre el crecimiento de material y los flujos. Y, más emocionante aún, pudimos observar las eyecciones de material, y rastrearlas en un amplio rango de separaciones del agujero negro”, indica Bright (U. Oxford).

Las velocidades registradas se hallan entre las más altas jamás observadas en un objeto fuera del Sistema Solar, tanto que el material parecía moverse más rápido que la luz –aunque no lo

hace, se trata de un fenómeno óptico conocido como movimiento superlumínico aparente–. También se registraron varios altibajos en el brillo del sistema: se produjeron unos descensos rápidos iniciales debido a la evolución del material eyectado, y después un nuevo aumento seguido de un decaimiento más lento debido a la interacción constante del material con el medio interestelar.

Los agujeros negros estelares, como J1820, se consideran versio-

nes en miniatura de los agujeros negros supermasivos que se hallan en los núcleos de las galaxias. Se piensa que la retroalimentación de estos agujeros negros es un componente vital que regula el crecimiento de las galaxias, pero estos sistemas evolucionan en escalas de tiempo muy largas. Sus contrapartes estelares, sin embargo, evolucionan rápidamente y constituyen por lo tanto los sistemas perfectos para estudiar el proceso de retroalimentación y su conexión con el crecimiento.

El instrumento MEGARA se adentra en el corazón de la galaxia activa NGC 7469

UN TRABAJO ENCABEZADO POR EL IAA HA REVELADO LA EXISTENCIA DE DOS DISCOS DE GAS EN ROTACIÓN EN LAS PROXIMIDADES DEL AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO DE LA GALAXIA, ASÍ COMO DE UNA TERCERA COMPONENTE QUE APUNTA A MOVIMIENTOS TURBULENTOS

Los núcleos activos de galaxias se hallan entre los objetos más energéticos del universo, y pueden emitir de forma continua más de cien veces la energía de todas las estrellas de una galaxia como la nuestra. Su brillo se atribuye a la existencia de un agujero negro supermasivo rodeado de un disco de materia que lo alimenta, pero el fenómeno de la actividad nuclear presenta aún numerosos interrogantes. El instrumento MEGARA, diseñado para resolver problemas científicos hasta ahora inabordables, acaba de revelar nuevas estructuras en las regiones próximas al núcleo activo de NGC 7469.

NGC 7469, situada a unos 200 millones de años luz –relativamente pró-

xima a escalas astronómicas–, muestra una alta tasa de formación de estrellas, que se atribuye a una interacción pasada con su galaxia compañera. Se trata de una galaxia seifert, un tipo de galaxia activa que muestra un núcleo muy brillante, producto de la caída de material hacia el agujero negro supermasivo, que en este caso presenta una masa estimada de unos doce millones de soles.

Para que un agujero negro esté activo debe existir material para alimentarlo y un mecanismo eficiente para transportar el material hacia el núcleo.

Entre esos mecanismos se hallan los discos, estructuras aplanadas que giran en torno al agujero negro y cuyo material cae en espiral hacia el centro, las barras, estructuras alargadas que se extienden a ambos lados del núcleo y que canalizan el gas desde los brazos de las galaxias espirales hacia el núcleo, o los vientos, flujos muy veloces de gas y polvo capaces de desplazar grandes masas de material.

“Gracias a MEGARA hemos podido estudiar la región central de NGC7469 con una resolución sin pre-

cedentes. Encontramos que el gas ionizado traza tres componentes, dos correspondientes a discos que rotan acompasadamente en el mismo plano, uno más fino que el otro, y otra que no muestra rotación y que probablemente esté asociada a la presencia de vientos”, señala Sara Cazzoli, investigadora del IAA-CSIC que encabeza el trabajo.

“Uno de los grandes interrogantes con respecto a las galaxias activas reside en el propio origen de la actividad. Sabemos que casi todas las galaxias con masas parecidas a la de la Vía Láctea o mayores albergan agujeros negros supermasivos en su núcleo, pero algunos se hallan en estado de letargo, como SgrA*, el agujero negro central de nuestra galaxia –señala Isabel Márquez, investigadora el IAA-CSIC que participa en el resultado–. Estudios con tan alta resolución cinemática son necesarios para comprender los fenómenos relacionados con la alimentación y la retroalimentación de las galaxias activas, así como el papel que juegan las diferentes componentes”.

Conocer qué ocurre en las regiones centrales de las galaxias activas, o cómo se mueve el gas en las distintas componentes, requiere de una capacidad tecnológica de última generación. El instrumento MEGARA, dise-



La galaxia NGC 7469 (arriba) y su compañera, observadas con el Telescopio Espacial Hubble. Crédito: NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration, and A. Evans.

ñado por un consorcio encabezado por la Universidad Complutense de Madrid, en el que participó el Instituto de Astrofísica de Andalucía, emplea la tecnología IFS –acrónimo en inglés de “espectroscopia de campo integral”–, que permite tomar unos mil espectros por galaxia y obtener una

panorámica completa en 3D de las mismas.

“Debido al brillo de las regiones nucleares de las galaxias activas, normalmente se usaban telescopios más pequeños para su estudio –apunta Armando Gil de Paz, investigador de la Universidad

Complutense de Madrid que participa en el trabajo–. Sin embargo, gran parte de la información se encuentra en nubes de gas que se diferencian del resto: se mueven a grandes velocidades y, por dichos movimientos, tienen su débil emisión localizada a frecuencias distintas de

la que produce la mayor parte del gas en galaxias. Es lo que se conocen como las alas. Observar estas alas requiere del uso de grandes telescopios e instrumentos de gran eficiencia como el Gran Telescopio Canarias y MEGARA, respectivamente”.

Se observa la metamorfosis de una estrella en las fases finales de su vida

EL RADIOTELESCOPIO ALMA HA FOTOGRAFIADO UNA ESTRELLA EN SU EVOLUCIÓN HACIA NEBULOSA PLANETARIA

Todas las estrellas con una masa inferior a ocho veces la del Sol terminarán su vida como nebulosas planetarias, formadas por una estrella enana blanca –el núcleo “pelado” de la estrella tras la expulsión de sus capas exteriores– rodeada de una envoltura fluorescente. Estas nebulosas pueden presentar formas esféricas, bipolares o complejas, pero aún se desconoce por qué se desarrolla una forma u otra. Ahora, un grupo internacional de astrónomos ha observado una estrella vieja, la gigante roja W43A, en pleno proceso de metamorfosis hacia nebulosa planetaria, un momento clave en la vida de las estrellas de baja masa.

El observatorio ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) ha mostrado que W43A muestra un chorro bipolar de material a alta velocidad –entre 175 y 130 kilómetros por segundo–, que está colisionando con el material circundante y esculpiendo un cascarón bipolar en él. ALMA ha capturado así el momento en el que se pierde la simetría esférica y se desarrolla una morfología compleja.

“El proceso de formación de una nebulosa bipolar o multipolar es, a día de hoy, un problema candente en los estudios de evolución estelar –apunta José Francisco Gómez, investigador del

Instituto de Astrofísica de Andalucía que participa en el trabajo–. Cada vez estamos más convencidos de que, en el origen de estas formas, se hallan las cavidades que los chorros generan en el material de la envoltura expulsado por la estrella en etapas anteriores, más denso y lento que el de los chorros”.

Se estima que tanto los chorros como el cascarón tienen unos sesenta años, de modo que se crearon simultáneamente y en un breve espacio de tiempo. “Considerando la juventud de los chorros en relación con la duración de la vida de una estrella, podemos decir que estamos siendo testigos del ‘momento exacto’ en el que los chorros han empezado a esculpir el gas circundante –explica Daniel Tafoya, investigador de la Universidad de Chalmers (Suecia) que encabeza el estudio–. Además, y a diferencia de lo que vemos habitualmente en los fenó-

menos astrofísicos, estamos ante un proceso que un ser humano puede seguir a lo largo de su vida”.

De hecho, la imagen de ALMA traza claramente la distribución de las nubes de gas y polvo arrastradas por los chorros. El equipo asume que este arrastre es clave para la formación de una nebulosa planetaria bipolar, y propone el siguiente escenario: la estrella envejecida expulsa, en una primera fase, el gas de sus capas externas esféricamente, de modo que el núcleo queda desnudo. Si la estrella tiene una compañera, el gas de la compañera se vierte sobre el núcleo de la estrella moribunda, y un porcentaje de este nuevo material forma los chorros, que alterarán la morfología del material alrededor de la estrella.

QUINCE ENTRE CIENTO MIL MILLONES

Así, el hecho de que la estrella tenga o

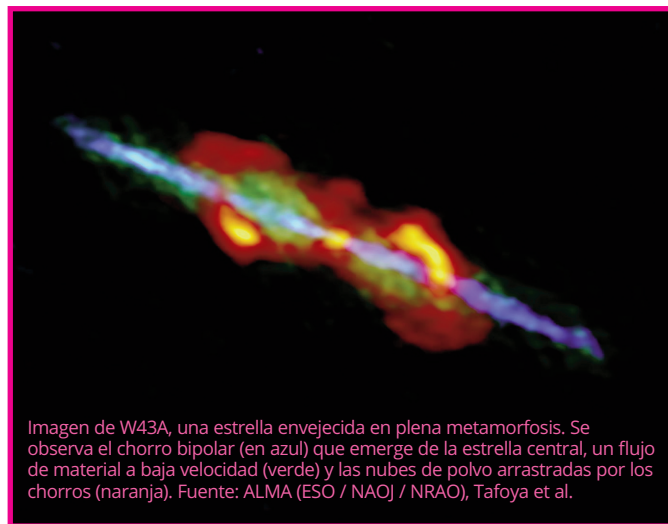


Imagen de W43A, una estrella envejecida en plena metamorfosis. Se observa el chorro bipolar (en azul) que emerge de la estrella central, un flujo de material a baja velocidad (verde) y las nubes de polvo arrastradas por los chorros (naranja). Fuente: ALMA (ESO / NAOJ / NRAO), Tafoya et al.

no una compañera constituye un factor clave para determinar la estructura de la nebulosa planetaria resultante. Se trata de un escenario propuesto con anterioridad para explicar la ruptura de la simetría esférica en las planetarias, algo que debe producirse en las fases inmediatamente anteriores a su formación.

Sin embargo, ese comienzo es breve, y se halla oscurecido por el gas y polvo expulsado al liberarse el material de la envoltura de la estrella, de modo que su observación resulta muy complicada.

“W43A es un objeto peculiar clasificado como ‘fuente de agua’, una estrella envejecida que muestra la emisión en radio característica de las moléculas de vapor de agua. Esa señal en radio nos revela la región en la que los chorros interactúan con el material circundante” señala Hiroshi Imai, investigador de la Universidad de Kagoshima (Japón) que participa en el trabajo. El chorro muestra grumos, o regiones más densas, y eso apunta a la existencia de una estrella compañera con una órbita excéntrica: cuando las estrellas se acercan la compañera pierde más material y el chorro cambia de intensidad.

“Entre los cien mil millones de estrellas de la Vía Láctea, hasta la fecha solo hemos identificado quince fuentes de agua. Esto se debe probablemente a que el tiempo de vida de los chorros es bastante corto, de modo que somos muy afortunados de ver objetos tan raros”, concluye José Francisco Gómez (IAA-CSIC).

Tecnología para confinados

Durante esta pandemia hemos visto cielos más azules que nunca, y jabalíes paseando por las calles de Berlín, y delfines en Venecia, y tiburones de ocho metros en la costa granadina... y hemos imaginado que, cuando acabe todo esto, la humanidad va a replantear su relación con la naturaleza. Mentira. Los jabalíes están bien en los cómics de Astérix, pero no queremos tenerlos cerca cuando nos estemos tomando una cerveza en la terraza del bar de abajo. A pesar de ese espíritu ecológico que nos ha invadido a todos en algún momento (tres meses de confinamiento son como una vida en miniatura) lo que en realidad queremos es tecnología, esa que nos ha ayudado a pasar la cuarentena a través de mañanas de teletrabajo, tardes de cervezas virtuales y noches de Netflix.

Para mucha gente, uno de los ejes centrales de este confinamiento tecnológico han sido las redes sociales, que empezaron simpatiquisimas cuando todavía creíamos que esto era una gripe, mostrando el increíble ingenio que atesoramos en nuestro país cuando queremos. Luego, a medida que el tiempo de confinamiento avanzaba y nos íbamos dando cuenta de la gravedad de la situación, los comentarios fueron progresivamente agriándose y mostrando ese otro lado ruin del que también somos capaces, con opiniones sesgadas, enfrentadas y polarizadas que llevaban a enfrentamientos políticos y sociales de niveles vergonzosos. El viejo consuelo patrio, el "Menos mal que nos queda Portugal" se ha hecho añicos, ante el ejemplo de gestión de la pandemia que nos han dado nuestros vecinos. "Señor primer ministro, cuente con nuestra colaboración. Todo lo que nosotros podamos, ayudaremos. Le deseo

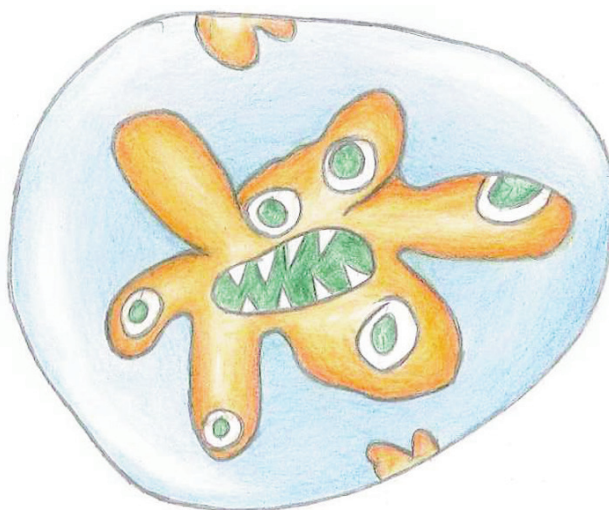
coraje, nervios de acero y mucha suerte. Porque su suerte es nuestra suerte", le soltó el líder de la oposición portuguesa al Primer Ministro luso al principio de la crisis. Ahí queda eso. Y como daño colateral de las redes sociales, también hemos descubierto el poder y el peligro de las *fake news* (una de ellas, la de los delfines en

él contestó, con una tranquilidad de espíritu que le permitiría pasar el polígrafo de Tele 5 sin pestañear: "No, simplemente lo estamos haciendo en común". Mi amigo, entonces, ató cabos y entendió esa noticia según la cual el nivel académico de los alumnos había subido con el confinamiento. Noticia que, por otra parte, con-

estudiante realiza movimientos bruscos, que podrían responder a la búsqueda de una chuleta o un libro fuera del campo visual de la cámara. Antes del examen, además, hay que hacer una pasada con la cámara por toda la habitación, para garantizar que no hay nadie debajo de la mesa dispuesto a soplarle las preguntas apretándole el dedo gordo del pie en código morse (es la única forma que se me ocurre, dado que el programa también vigila el movimiento de los ojos del alumno o el sonido ambiental, para evitar chivatazos susurrados).

Lo que está claro es que, por muchas redes sociales o videoconferencias que hagamos, el contacto humano es difícil de sustituir. No obstante, algunas empresas lo han intentado, creando dispositivos como la pulsera Hey, que transmite caricias a través de internet. Otro diseño similar implementa sensores de presión y actuadores en un dispositivo parecido a un ratón ergonómico, que sirven para enviar caricias y apretones de manos a través de videoconferencia. Aunque probablemente el invento más retorcido sea el simulador de besos, que utiliza un dispositivo con forma de boca, que registra los movimientos de los labios y lengua y los transmite para que otro dispositivo idéntico los reproduzca en el otro extremo de la línea de comunicación, normalmente situado en casa de tu churri. En realidad, la idea no es nueva: ya apareció en un episodio de *The Big Bang Theory*, con resultados bastante asquerosos.

Sorprendentemente, ninguno de estos inventos ha tenido éxito, lo cual confirma lo que ya sospechábamos: en tres meses volveremos a abrazarnos, a viajar, a tomar vinos en las terrazas y a ser lo que somos y como somos. Ningún jabalí va a cambiar eso.



Miguelito lo predijo. En el número 38, hace casi ocho años, publicamos esta visión premonitoria del coronavirus dibujada por el hijo del autor. Allí lo presentábamos como un organismo extraterrestre, pero es bien sabido que las visiones proféticas suelen ser difusas hasta que suceden y todo cobra sentido, como demuestran cada cierto tiempo Nostradamus, Baba Vanga o los Simpsons.

Venecia, siento ser yo el que os lo diga). El poder de aburrir y el peligro de que dejemos de informarnos por puro hastío.

Pero si hay algo que ha tomado protagonismo en este confinamiento tecnológico han sido las videoconferencias, tanto para el ocio (¿quién no ha asistido al menos a un par de vermús virtuales durante la cuarentena?) como para el trabajo y el estudio. Un amigo me contaba que hace unos días vio a su hijo de quince años hablando con varios amigos a la vez durante un examen virtual. Le preguntó si se estaban copiando y

trasta con otras acerca de que la brecha educativa entre clases sociales se ha visto agravada con las clases virtuales. Es lo bueno que tiene internet, que buscando un poco puedes encontrar exactamente lo que te apetece leer.

Para evitar este descontrol, las universidades suelen utilizar herramientas más complejas que las simples conexiones de vídeo. Es el caso de Respondus, una plataforma que no solo graba la sesión de examen de cada alumno, sino que realiza una vigilancia exhaustiva, disparando diversas alarmas si detecta, por ejemplo, que el

AGENDA



■ ■ ■ CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA CICLO LUCAS LARA

Sesiones de divulgación que se celebran, cada último jueves de mes, en el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Pueden seguirse por streaming a través de: www.youtube.com/iaaudc
Todas las sesiones están disponibles en la web del IAA.

http://www.iaa.es/lucas_lara



DESTACADOS



■ ■ ■ LA INVEROSÍMIL Y TRÁGICA HISTORIA DE JOCELYN BELL

Jocelyn Bell (Belfast 1943) es una astrónoma con una carrera brillante. Y una vida fascinante. Con tan solo 24 años, en el curso de su tesis doctoral, participó decisivamente en el descubrimiento de los púlsares. Dicho descubrimiento fue galardonado con el premio Nobel, aunque ella no recibió el premio... El 15 de mayo de 2020, con motivo de la festividad de San Isidro, queremos homenajearla de la manera que mejor sabemos. Cantando. Por ello, estrenamos este #Astrochotis. Pasen, pasen y escuchen la inverosímil y trágica historia de Jocelyn Bell, una historia llena de ondas de radio, Premios Nobel y Hombrecillos verdes.

<https://bit.ly/2YMq3PN>



■ ■ ■ LAS QUE CUENTAN LA PANDEMIA

La Unidad de Cultura Científica de la Universidad de Córdoba organizó, en pleno estado de confinamiento, una excelente serie de conferencias de divulgación con la pandemia como centro temático, pero desde diferentes áreas y disciplinas científicas.

#lasquecuentanlaciencia son ahora
#LASQUECUENTANLAPANDEMIA
Presentado por Natalia Ruiz Zelmanovitch

<https://bit.ly/3fCcrNB>

■ ■ ■ EL RADIOSCOPIO

El Radioscopio es un programa de divulgación científica realizado y producido desde Canal Sur Radio en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Presentado y dirigido por Susana Escudero (RTVA) y Emilio J. García (IAA), este programa aborda la divulgación de la ciencia con humor y desde una perspectiva original y rigurosa.

radioscopio.iaa.es

■ CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

El IAA organiza charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden rellenar la solicitud en http://divulgacion.iaa.es/visitas_iaa