

# IAA

# 74

DICIEMBRE DE 2024  
[revista.iaa.es](http://revista.iaa.es)

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

## El segundo proyecto Severo Ochoa del IAA



INSTITUTO DE  
ASTROFÍSICA DE  
ANDALUCÍA



EXCELENCIA  
SEVERO  
OCHOA



CSIC

**Comité de redacción:** Emilio J. García, Celia Navas, Amanda López, Sebastiano de Franciscis, Sara Cazzoli, Gabriella Gilli, Rainer Schödel y Roberto Varas. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle y Celia Navas. **Contacto:** ucc@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

NIPO: 155-24-017-5  
e-NIPO: 155-24-018-0  
Depósito legal: GR-605/2000  
ISSN: 1576-5598

# SUMARIO

El segundo proyecto Severo Ochoa del IAA ...	3
Estrellas jóvenes danzando en las tinieblas ...	10
Una taza de té calentada por un agujero negro ...	13
CARMENES: Abriendo nuevos horizontes en la búsqueda de otros mundos ...	16
Actualidad ...	18
Fast Radio Bursts (FRBs) ...	24
Evolución biológica y evolución cultural del género <i>Homo</i> ...	26
¿Cómo sabemos la distancia a los confines del Universo? ...	28
Juico a Plutón ...	30
Destacados y recomendados ...	31

## Completada con éxito la revisión del diseño óptico preliminar del Telescopio Solar Europeo

A principios de septiembre, el equipo de ingeniería del EST presentó la documentación detallada para la evaluación del diseño óptico del telescopio, incluida la óptica adaptativa de conjugación simple. Esto dio inicio a un exhaustivo proceso de revisión que culminó en un encuentro presencial celebrado en La Laguna los días 10 y 11 de octubre de 2024.

Durante la reunión, el equipo de ingeniería mantuvo intensos debates con un panel internacional de expertos en el desarrollo de grandes telescopios y en la instrumentación para observaciones solares. Estos procesos de evaluación se consideran fundamentales en los grandes proyectos científicos, ya que proporcionan un análisis objetivo sobre la calidad y viabilidad del proyecto.

Tras la revisión, el panel de expertos entregó un informe final positivo, elogiando el avance del proyecto y respaldando el diseño propuesto. El comité destacó la competencia del equipo y subrayó que el diseño óptico es sólido y que la óptica adaptativa está suficientemente madura. Como es habitual en estos procesos, el panel también identificó áreas en las que se necesita seguir trabajando, como el análisis térmico o la necesidad de abordar las vibraciones de la estructura mecánica mediante estudios más detallados.

Esta exitosa revisión marca un hito significativo en el desarrollo del telescopio, acercando a Europa a su objetivo de construir un telescopio solar de vanguardia capaz de revelar detalles sin precedentes del Sol.



Recreaciones digitales del futuro Telescopio Solar Europeo. Créditos: IDOM

## El segundo proyecto Severo Ochoa del IAA



En verano de 2023 presentábamos nuestra entonces flamante segunda acreditación como centro de excelencia Severo Ochoa, que cubre el periodo 2023-2026. Y esbozábamos las líneas maestras y las acciones iniciales llevadas a cabo durante los primeros seis meses de la nueva acreditación.

Desde entonces, y hasta hoy, seguimos implementando nuestro plan estratégico, donde destacan la incorporación de talento pre y postdoctoral, varios programas de formación, las visitas y coloquios y el plan transversal de género. Quisiera destacar especialmente, entre las actividades formativas, la celebración de las escuelas avanzadas “IAA-CSIC Severo Ochoa SKA Open Science School” e “IAA-CSIC Severo Ochoa Advanced School on Star Formation”.

En octubre de 2023 lideramos la organización de la séptima edición del evento de comunicación de la Alianza SOMMa (Alianza de Centros Severo Ochoa y Unidades de Excelencia Maria de Maeztu), el 100xciencia.7, “Siete preguntas para cambiar el mundo; el estado del arte de la ciencia del futuro”. El contenido de dicho evento se articuló alrededor de siete preguntas: ¿cómo de habitable será la Tierra?, ¿cuánto tiempo viviremos?, ¿cómo alimentamos a 10.000 millones de personas?, ¿qué tecnologías marcarán nuestra sociedad del futuro?, ¿cómo evolucionará nuestra sociedad?, ¿cuáles serán las fuentes de energía del futuro?, ¿qué nos deparará el Cosmos? Siendo la línea vertebradora la ciencia que tendremos en una o dos décadas, el “state of the art” de la ciencia del futuro. La parte de “art” fue importante, ya que el evento estuvo salpicado con actuaciones musicales: un pianista clásico, un trío de música tradicional china y un grupo de pop acústico nos recordaron que hay otras formas de conocimiento más allá de la ciencia.

Al comienzo del primer año de nuestra segunda acreditación hemos incorporado a cuatro investigadores postdoctorales y un ingeniero, cuyas contribuciones son fundamentales para fortalecer las dos líneas científicas y la línea transversal tecnológico-instrumental de nuestro proyecto estratégico. Sus trabajos abarcan los cuerpos menores del sistema solar, los signos de vida en exoatmósferas (desde las de los sub-Neptunos a las de los mundos similares a la Tierra), la población de galaxias del cartografiado J-PAS y sus poblaciones estelares, la evolución de galaxias en entornos extremos con MeerKAT (precursor de SKA), y la contribución instrumental del IAA al instrumento de segunda generación para el ELT, MOSAIC.

El objetivo último del programa de Excelencia Severo Ochoa es atraer y alimentar el talento científico y promover una investigación excelente internacionalmente. El nuevo proyecto Severo Ochoa del IAA-CSIC es, sin duda, una herramienta fundamental para atraer y retener a estas personas de talento joven e internacional e integrarlas en todas las facetas de nuestra investigación.



**Isabel Márquez Pérez**  
Directora Científica del Severo Ochoa-IAA

# Álvaro Álvarez Candal

## CUERPOS MENORES DEL SISTEMA SOLAR



Segundo Severo Ochoa del IAA y ahora estoy buscando nuevas palabras para lo que ya he contado, mientras pienso que las segundas partes sí que son buenas, y a veces incluso mejores que las primeras. Esta vez parto con la base de lo que realicé durante mi etapa en el primer programa SO y ahora podré llegar aún más allá (aunque sea un pelín).

En esta segunda parte mi proyecto me lleva a seguir en la línea del estudio de los cuerpos menores del sistema solar, pero esta vez pensando en ellos como trazadores de su evolución, del sistema solar, se entiende, e incluso ir un pasito más allá e intentar ver cómo lo que aprenderemos aquí puede sernos útil para entender otros sistemas planetarios, por ejemplo, los que podrían ser descubiertos por la misión PLATO de la ESA alrededor de estrellas similares al Sol.

Quizás lo más complicado del asunto es hacerse a la idea de que unos trozos de rocas e hielos de no más de unos dos mil y pico kilómetros (vamos, la distancia desde Granada hasta Berlín) contienen información sobre lo que pasó durante la formación del sistema solar, pero ¡ahí está la clave de todo esto! Al ser tan pequeños, el calor que reunieron durante su formación se disipa muy rápido, evitando un grado de modificación del que no pudieron escapar los planetas. Por eso, si queda algo de material más o menos parecido al original del que se formó nuestro sistema planetario, estará escondido bajo las superficies de los pequeños cuerpos. Además, estos estuvieron presentes durante todas las etapas de evolución dinámica, siguiendo la música que el Sol y los planetas les marcaban: un corte y una quebrada al ritmo del 2x4 de las perturbaciones planetarias.

Pero dejando el tango primordial y volviendo a la ciencia: el proyecto que llevo adelante involucra en gran parte la búsqueda de datos, lo que no es complejo ya que estos son, en buena medida, públicos, proviniendo de grandes cartografiados del cielo. Sin embargo, el trabajo, en muchos casos, parece de hormiguita: la minería de los datos lleva bastante tiempo, especialmente por la falta de homogeneidad en las bases de datos, que dificulta el cruce entre ellas. Aún así, una vez completada esta parte, es muy satisfactorio saber que poseemos un conjunto de datos de lo más completo que se puede encontrar, con observaciones de pequeños cuerpos en múltiples longitudes de onda (desde el visible hasta el infrarrojo próximo) de las que hacer uso.

Entre los resultados que he obtenido, quizás el que destacaría es haber encontrado que los espectros fotométricos de los pequeños cuerpos se comportan de manera menos predecible de lo que pensábamos. Se pensaba que los espectros tendían a enrojecerse con el incremento del ángulo de fase (que es la distancia angular entre el Sol y la Tierra vista desde el pequeño cuerpo, un asteroide, por ejemplo). El espectro al que me refiero no es un espectro similar al de una estrella o una galaxia. En el rango espectral del visible e infrarrojo próximo los pequeños cuerpos principalmente reflejan la luz del

Sol, pero la interacción a nivel de la superficie de los objetos hace que parte de la luz sea refractada por las partículas que componen la superficie antes de que esta luz sea dispersada en dirección a la Tierra. Por eso trabajamos con espectros de reflexión.

**Si queda algo de material más o menos parecido al original del que se formó nuestro sistema planetario, estará escondido bajo las superficies de los pequeños cuerpos**

El resultado que obtuve muestra que tanto puede haber enrojecimiento como un desplazamiento al azul y, para más inri, que pueden aparecer ambos comportamientos para intervalos de ángulo de fase diferentes. Esto hace que tengamos que repensar un poco la distribución de propiedades espectroscópicas en el sistema solar antes de arriesgarnos a pensar en cómo evolucionó este. Es en esta etapa en la que me encuentro ahora.

Quizás en una tercera entrega ya pueda contarles lo que le pasó al sistema solar... ¡Espero que lleguemos ahí!



*Ilustración artística del cinturón de asteroides, la región situada entre las órbitas de Marte y Júpiter donde más cuerpos menores se concentran. Créditos: NASA / JPL-Caltech*

# Alejandro Sánchez López

## DESCIFRANDO LAS ATMÓSFERAS DE EXOPLANETAS: DE LOS SUB-NEPTUNOS A LA BÚSQUEDA DE VIDA

Desde pequeño, me fascina la idea de otros mundos orbitando estrellas lejanas. La posibilidad de que, en algún lugar, a años luz de distancia, existan otros planetas con mares, montañas e incluso formas de vida siempre ha encendido mi imaginación. Lo que nunca lograba imaginar es que algún día me dedicaría de verdad a buscarlos profesionalmente y, más aún, a intentar desvelar los secretos de sus atmósferas. Actualmente, mi investigación se centra en planetas fuera del Sistema Solar, los llamados exoplanetas.

Llevábamos décadas pensando (por un buen motivo) que el sistema solar era un prototipo de sistema planetario. Que otros sistemas solares se parecerían a él. Nuestra galaxia, no obstante, nos ha enseñado todo lo contrario, que las estrellas hospedan sistemas planetarios extremadamente diversos: desde júpiteres calientes (gigantes gaseosos que orbitan tan cerca de sus estrellas que sus atmósferas se expanden y escapan al espacio) hasta planetas rocosos algo más grandes que la Tierra, las llamadas súper-Tierras.

### Los sub-Neptunos son verdaderamente desconocidos para nosotros

De todos los descubrimientos, hay uno que me parece especialmente interesante: el tipo de exoplaneta más común en nuestra galaxia es un planeta intermedio entre la Tierra y Neptuno. Los llamamos sub-Neptunos y, en un giro inesperado, resulta que nuestro sistema solar no tiene ni un solo representante de esta categoría. Es decir, nuestro

hogar cósmico no solo no es típico, sino que ni siquiera contiene ejemplos de los planetas más abundantes de la Vía Láctea. Casi nada.

Los sub-Neptunos son verdaderamente desconocidos para nosotros: no sabemos si son mundos completamente cubiertos de océanos bajo densas atmósferas de hidrógeno o si son mini-gigantes gaseosos, valga la paradoja. Esta incertidumbre los convierte en uno de los objetivos más fascinantes de la astronomía moderna, porque cualquier hallazgo que hagamos podría revolucionar lo que entendemos sobre la formación de planetas... y sobre la posibilidad de que estos sean habitables (aunque quizá no para la especie humana).

Afortunadamente, podemos investigar de qué están hechas las atmósferas de esos exoplanetas y esto nos da pistas sobre su historia, desde las condiciones de formación hasta cómo ha sido su evolución. Y aquí es donde viene la parte más fascinante: la vida interactúa con la atmósfera de maneras no triviales. La vida es, al fin y al cabo, la causante de que haya cerca de un 21% de oxígeno en la atmósfera terrestre. Estudiar atmósferas de exoplanetas potencialmente habitables nos puede dar evidencia de la existencia de vida extraterrestre.

A mi llegada al Instituto de Astrofísica de Andalucía en 2015, comencé a desarrollar nuevas técnicas para estudiar las atmósferas de exoplanetas. Con el espectrógrafo CARMENES, uno de los instrumentos más avanzados del mundo para este tipo de investigaciones, logramos realizar las primeras detecciones de vapor de agua en exoplanetas a alta resolución. Este fue un hito importante: por primera vez, podíamos analizar la composición de estos mundos con una claridad nunca antes vista.



Pero mi trabajo, desde Granada hasta Leiden (Países Bajos), no se ha limitado solo a la observación. En este campo, cuando observamos desde observatorios terrestres, buscamos débiles señales atmosféricas de exoplanetas... ¡teniendo nuestra propia atmósfera sobre nuestras cabezas! El ruido generado por la atmósfera terrestre es dominante en nuestros datos, por lo que he dedicado años a perfeccionar los métodos que usamos para desentrañar lo que hay enterrado. A través del contrato Severo Ochoa, tengo la apasionante oportunidad de estudiar los entresijos de las técnicas que la comunidad emplea, para entender lo mejor posible cómo distinguir una señal real del ruido terrestre. Es, en cierto modo, como aprender a escuchar el pájaro pando en medio de una tormenta: las técnicas correctas nos permiten separar el canto del exoplaneta dentro del estruendo de nuestra atmósfera.

### Estamos al borde de una revolución en el estudio de atmósferas de exoplanetas

En definitiva, estamos al borde de una revolución en el estudio de atmósferas de exoplanetas. Por primera vez en la historia tenemos la tecnología y el conocimiento necesario para estudiar planetas exóticos que pueden albergar vida. La respuesta a la pregunta que nos acompaña desde hace siglos, "¿estamos solos?", está a la vuelta de la esquina.

Desde el IAA les invitamos a mirar al cielo y compartir con nosotros esa ilusión. Los mundos que estamos descubriendo no solo nos enseñan más sobre el universo, sino también sobre nuestro lugar en él.



Ilustración del posible aspecto del exoplaneta TOI-421 b, un sub-Neptuno caliente que orbita alrededor de una estrella similar al Sol situada a unos 244 años luz de la Tierra. Se cree que TOI-421 b posee una atmósfera clara, sin brumas ni nubes. Créditos: NASA, ESA, CSA y D. Player (STScI)

# Luis Alberto Díaz García

## EXPLORANDO EL CONTENIDO ESTELAR DE LAS GALAXIAS A TRAVÉS DE J-PAS



Desde que somos muy pequeños todos nos hemos visto atraídos alguna vez por esos puntos brillantes del cielo. La mayor parte de ellos son estrellas de nuestra galaxia, la Vía Láctea, pero si observamos un poco más allá con un pequeño telescopio veríamos que existe una inmensidad de objetos brillantes denominados galaxias como en la que residimos. Picado por la curiosidad desde pequeño, me adentré en la aventura de desentrañar estos objetos celestes y para ello comencé por estudiar una licenciatura en Física en mi Salamanca natal y que, sin yo saberlo, me llevaría por los sitios más variados que podría yo imaginarme.

**Con el SO y J-PAS seremos capaces de desenmascarar el contenido estelar de una muestra inmensa de galaxias desde épocas muy tempranas en el universo**

Mis primeros pasos en la astronomía comenzaron, como muchos otros, en las islas Canarias, que es donde me mudé para estudiar el máster que me abrió las puertas para comenzar mi doctorado en el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA, Teruel). Durante el desarrollo de mi tesis doctoral empecé a formar parte de la colaboración de J-PAS (Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey), que es un cartografiado del cielo que se realiza con un sistema fotométrico único compuesto de 56 filtros de banda estrecha

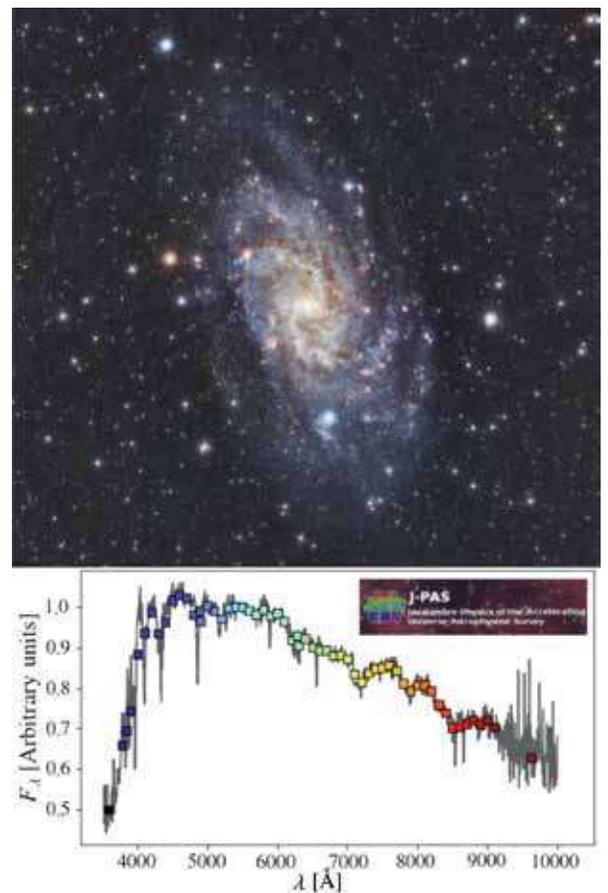
en el óptico con el que esperamos observar más de 8000 grados cuadrados del cielo.

Entre los muchos temas a estudiar dentro de J-PAS, uno de ellos se ocupa del estudio de las galaxias, es decir, de esos objetos brillantes que tanto nos atraían. La luz procedente de las galaxias es debida en su mayoría a sus estrellas y el análisis de esta luz es lo que nos permite determinar los diversos tipos y familias de estrellas que las componen, lo que solemos llamar poblaciones estelares. Durante una gran parte de mi carrera científica me he dedicado a desentrañar y estudiar las poblaciones estelares de galaxias con datos fotométricos como los de J-PAS. Esto nos sirve en primera instancia para determinar cómo varían los tipos de estrellas en función de los parámetros o características de cada galaxia (por ejemplo, en función de su tamaño, masa, morfología, etc.); y por otro lado, para sentar las bases de cómo se ha producido la formación y evolución de las galaxias con el paso del tiempo y cómo han llegado a ser tal y como las observamos hoy en día.

Gracias al proyecto Severo Ochoa (SO) pude retornar a España tras una estancia postdoctoral en Taiwán para continuar con mis investigaciones en el estudio de las poblaciones estelares de galaxias desde un centro de investigación de vanguardia como lo es el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

Con la financiación del SO y J-PAS seremos capaces de desenmascarar el contenido estelar de una muestra inmensa de galaxias desde épocas muy tempranas en el universo. Entre otras muchas cosas, nos permitirá determinar cómo las galaxias se van ensamblando o construyendo y cómo evoluciona la formación estelar dentro de estas mismas. Gracias a esta valiosa información, esperamos aportar pistas de cuáles son los mecanismos responsables para el cese de formación estelar, porque sí, ¡existe un mecanismo que impide que las galaxias puedan seguir

formando estrellas! Así mismo, y gracias a las características de J-PAS, otro de nuestros objetivos consiste en determinar cómo las interacciones entre galaxias afectan a su evolución, de forma directa por medio de fusiones (el llamado “canibalismo galáctico”) o de forma más indirecta por las interacciones gravitatorias entre los “vecinos galácticos” más próximos en cúmulos de galaxias, es decir, en zonas del espacio donde existe un gran número de galaxias agrupadas.



*Galaxia del triángulo (M33), junto con su espectro y fotometría integrada para el sistema fotométrico de J-PAS. Créditos: CEFCA y Spectral library of galaxies, clusters, and stars (Santos, 2002)*

Trataremos de abordar todos estos temas por medio del estudio de sus poblaciones estelares, los cuáles a su vez servirán de punto de apoyo para otros grupos en la colaboración de J-PAS como los grupos de cosmología, cúmulos de galaxias, validación y calibración de datos, evolución de galaxias, etc. que por tanto se verán también beneficiados de forma indirecta por el proyecto SO.

# Amidou Sorgho

## EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE GALAXIAS EN ENTORNOS EXTREMOS

Mi afición por la Astronomía comenzó durante mis estudios universitarios, cuando tuve una asignatura sobre astronomía extragaláctica en mi universidad, en el país africano occidental de Burkina Faso. Tras obtener un máster en Física Aplicada con una tesis sobre Astronomía, me aceptaron en el prestigioso programa NASSP de la Universidad de Ciudad del Cabo (Sudáfrica), donde cursé un máster en Astrofísica.

Durante estos estudios, investigué la distribución y la cinemática del gas atómico neutro en las galaxias del cúmulo de Virgo. Posteriormente comencé un programa de doctorado, en el que utilicé datos de HI (hidrógeno neutro) de alta sensibilidad para cartografiar el HI débil en galaxias cercanas de tipo tardío del cercano grupo M81. Estas observaciones permitieron, por primera vez, cartografiar con suficiente resolución toda la extensión de un brazo de HI que conecta el grupo M81 con una galaxia enana, y resolver las nubes de HI adyacentes al brazo. Este estudio estuvo motivado en parte por la llegada del proyecto Square Kilometre Array (SKA) y pretendía contribuir a la preparación científica de este. Tras mi doctorado, pasé un año en la Oficina de Astronomía para el Desarrollo de la UAI como *research fellow*, donde investigué cómo las instalaciones astronómicas pueden utilizarse de forma óptima para incidir en el desarrollo socioeconómico de las zonas rurales. Esta enriquecedora experiencia me permitió contemplar la astronomía desde una óptica diferente, centrada en aprovechar el aspecto cautivador de la ciencia para abordar los retos del desarrollo.

Tras completar mi proyecto en la oficina de la IAU, me trasladé a Granada con un contrato postdoctoral en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). Dentro del IAA, me uní al grupo de investigación AMIGA, que lidera las actividades del SKA en España, realiza estudios únicos de gases atómicos como parte del proyecto AMIGA, y está fuertemente comprometido con la ciencia abierta y la inclusión.

Mi línea de investigación en el IAA abarca diversos temas relacionados con galaxias, desde las extremadamente aisladas hasta las que residen en grupos densamente poblados. Las galaxias que “viven solas” suelen tener una cantidad importante de gas atómico, el “combustible” a partir del cual forman estrellas. Sin embargo, cuando se unen a sus homólogas en entornos densos, se ven despojadas de él, dejan progresivamente de formar estrellas y cambian paulatinamente de aspecto y color. Varios mecanismos son

responsables de esta transformación, todos ellos relacionados con la densidad del entorno.

Parte de mi investigación consiste en comprender las diferencias intrínsecas en la cinemática de las galaxias en regiones aisladas frente a las que conviven con vecinas. Por ejemplo, mediante una cuidadosa selección de galaxias en distintos entornos y un meticuloso estudio cinemático, hemos descubierto que las aisladas poseen una mayor cantidad de momento angular que sus homólogas no aisladas. Esto implica que cuando las galaxias entran en interacción con su vecina o con su entorno, tienden a perder su capacidad de girar y, por tanto, es probable que roten más despacio.

Un tipo de entorno extremo se encuentra

**Parte de mi investigación consiste en comprender las diferencias intrínsecas en la cinemática de las galaxias en regiones aisladas frente a las que conviven con vecinas**

en los Grupos Compactos de Hickson (HCG), una colección de cuatro a diez galaxias en una configuración compacta que exhibe densidades tan altas como en los centros de los cúmulos de galaxias. A lo largo de su evolución, las galaxias miembros de estos grupos expulsan parte de su gas atómico al medio intragrupo, formando una gran envoltura y/o una colección de puentes y



colas. Además, en una escala de tiempo relativamente corta, el grueso del gas se disipa, transformando el grupo en una colección de galaxias (en su mayoría) viejas carentes de gas. Aún no está claro cómo se produce esta transformación ni qué mecanismos son responsables del consumo/pérdida de gas.

Gracias al telescopio sudafricano MeerKAT, precursor del telescopio SKA, hemos obtenido datos profundos y de alta resolución de la línea de hidrógeno neutro (HI) de una muestra de seis HCG que cubren las fases intermedia y tardía de su secuencia evolutiva. Con miembros del equipo de AMIGA, dirijo una investigación para desvelar la imagen completa de los efectos de la rápida transformación de las HCG en el contenido de gas de las galaxias en sus entornos a gran escala. Una vez completado, el estudio nos permitirá comprender mejor qué ocurre con el gas atómico cuando los HCG evolucionan hacia la última etapa de su vida. Y, más allá de estos resultados, este estudio representa una oportunidad para que el IAA contribuya a la preparación científica del proyecto global SKA.

*Imagen nocturna compuesta del SKAO que combina todos los radiointerferómetros en Sudáfrica y Australia. Crédito: SKAO, ICRAR, SARAO*



# Sergio Rodríguez Venzal

## INSTRUMENTACIÓN TERRESTRE EN EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA



Hace algo más de cuatro años comencé mi andadura como graduado en ingeniería electrónica en el Instituto de Astrofísica de Andalucía gracias a los fondos provenientes del programa de excelencia Severo Ochoa. Unos meses después escribí un artículo en esta misma revista explicando el proyecto para el cual se me contrataba (MOSAIC) y mi motivación personal al enfrentarme a esta etapa. A día de hoy, continúa mi participación en el proyecto MOSAIC con la misma ilusión que al principio y, además, puedo presumir de estar trabajando en TARSIS y PACOO, dos proyectos más dentro de la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT) del IAA.

El proyecto MOSAIC consiste en un espectrógrafo multiobjeto que trabaja tanto en el espectro visible como en el infrarrojo cercano y que hará uso de varios modos distintos de observación para proporcionar una herramienta potente y diversa a los científicos. Este espectrógrafo se instalará en el Extremely Large Telescope (ELT) que será, una vez terminado, el mayor telescopio óptico e infrarrojo construido. La combinación de ambos (MOSAIC y ELT) junto con las teorías y el ingenio de los científicos promete dar como resultados grandes avances en múltiples campos de la astrofísica, tales como el estudio de las primeras galaxias, el estudio de la composición de las galaxias más lejanas o estudios en arqueología de galaxias, entre otros.

En estos cuatro últimos años, desde el IAA hemos estado trabajando en distintos prototipos del sistema de control de motores en criogenia de MOSAIC. Hemos desarrollado un total de cinco prototipos que simulan distintas casuísticas de movimientos de motores, tanto a temperatura ambiente como en criogenia. Los primeros prototipos (a temperatura ambiente) estaban pensados para familiarizarnos con los sistemas de control

usados y con algunas de las peculiaridades de los motores que vamos a utilizar, mientras que los últimos prototipos han consistido en diseñar y construir mecanismos motorizados básicos que han sido instalados dentro de nuestro criostato. Estos prototipos han sido sometidos a una serie de campañas de pruebas que nos han servido para entender mejor el funcionamiento de los motores en ambientes extremos y cómo podemos afectar a dicho funcionamiento a través de nuestros aparatos de control.

Desde hace algo menos de dos años trabajo también en los proyectos de TARSIS y PACOO. El primero consiste en un espectrógrafo de cuatro brazos (tres trabajando en el azul y uno en el rojo) que pretende obtener un gran campo de visión fruto de la suma del campo de cada brazo, a la vez que busca cubrir un amplio espectro de luz (desde el ultravioleta hasta el rojo). El principal objetivo de TARSIS, que será instalado en el telescopio de 3.5m del observatorio de Calar Alto, es hacer un estudio de 16 cúmulos de galaxias preseleccionados que proporcione espectros completos de todas las galaxias detectables de cada cúmulo.

Por su parte, PACOO es un proyecto interno de la UDIT, a través del cual nos hemos propuesto implementar un sistema de control de temperatura para nuestro criostato. En la actualidad, el criostato instalado en la sala limpia de la UDIT trabaja únicamente a la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido (unos 77K o -195.8°C). Gracias al uso de calentadores y un sistema de control

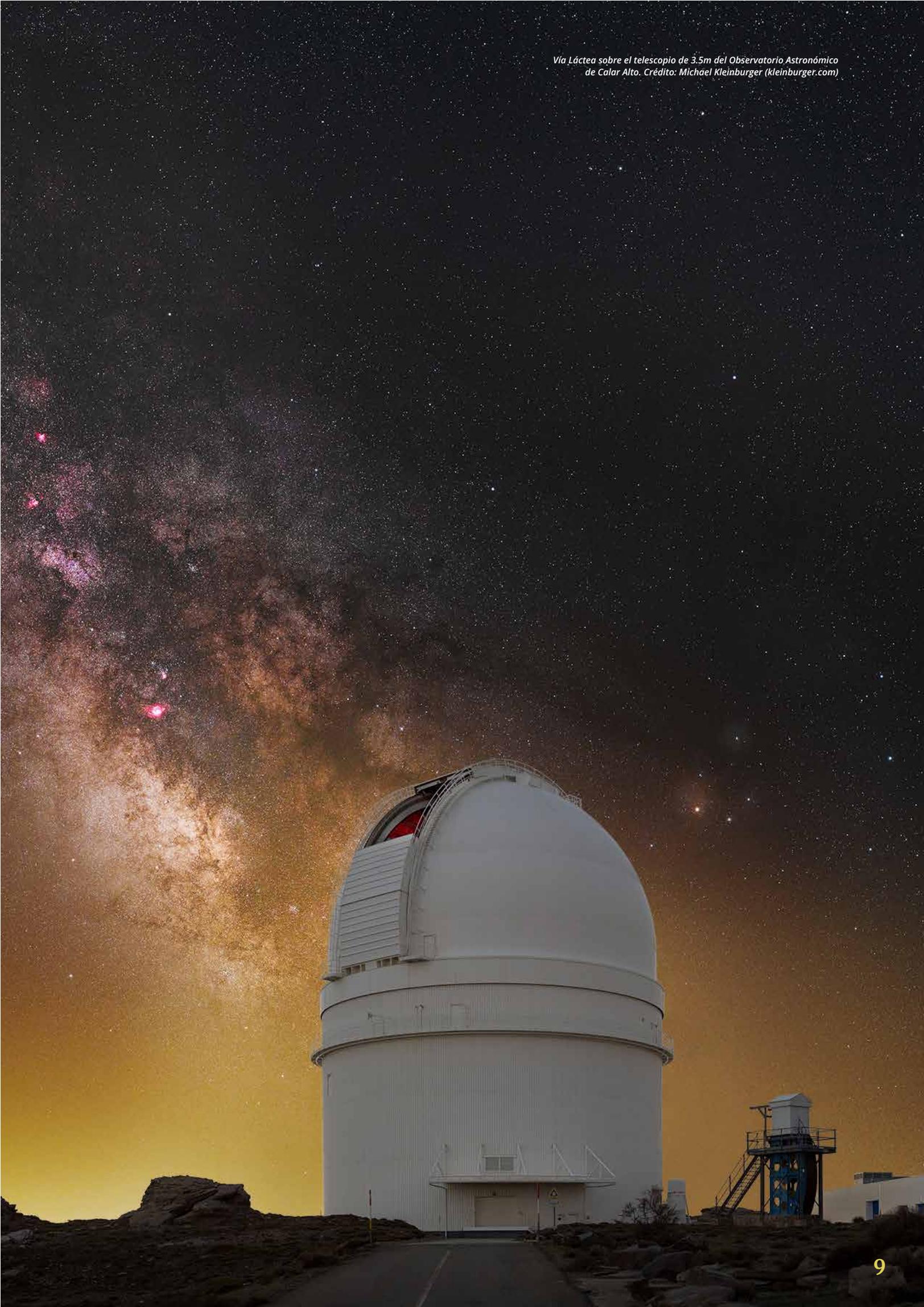
que estamos diseñando, planeamos poder hacer pruebas a diversas temperaturas por encima de este valor, lo que nos permitirá adaptarnos mejor a las necesidades de cada proyecto. PACOO también nos permitirá calentar de manera activa el criostato una vez terminado el trabajo que se esté realizando en su interior. De esta forma, podremos reducir en varios días el tiempo que se tarda en sacar un prototipo del criostato, agilizando sustancialmente el proceso de prueba y rediseño de los mismos.

**Continúa mi participación en el proyecto MOSAIC con la misma ilusión que al principio y, además, puedo presumir de estar trabajando en TARSIS y PACOO**

Estos últimos años han supuesto para mí un gran enriquecimiento tanto personal como profesional, aumentando mi conocimiento en varios campos de trabajo e iniciándome en otros nuevos. El futuro promete ser intenso, ya que los proyectos en los que participo avanzan cada vez más rápido según se acercan sus fechas de entrega, pero espero poder disfrutar de los próximos años de mi contrato Severo Ochoa tanto como de los anteriores.



Representación artística del Extremely Large Telescope en funcionamiento en Cerro Armazones, en el norte de Chile. El telescopio utiliza rayos láser para crear estrellas artificiales en la atmósfera. Crédito: ESO/L. Calçada



# REPORTAJE

## Estrellas jóvenes danzando en las tinieblas

**EL CENTRO DE NUESTRA GALAXIA, LA VÍA LÁCTEA, ESCONDE PROFUNDOS MISTERIOS. ES ALLÍ DONDE SE OCULTA SAGITARIO A\* (SGR A\*), UN AGUJERO NEGRO CON MÁS DE 4 MILLONES DE VECES LA MASA DE NUESTRO SOL. ADEMÁS, SE HAN DESCUBIERTO EN SU ENTORNO ESTRELLAS JÓVENES QUE LO ORBITAN EN UNA FRENÉTICA DANZA, DESAFIANDO NUESTRAS TEORÍAS SOBRE LA FORMACIÓN ESTELAR. LA PRESENCIA DE ESTAS ESTRELLAS EN UNA REGIÓN TAN EXTREMA NOS PLANTEA PREGUNTAS AÚN SIN RESOLVER SOBRE CÓMO PUEDEN FORMARSE EN LA VECINDAD DE UN AGUJERO NEGRO TAN MASIVO.**

Por Laly Gallego Cano (IAA-CSIC)

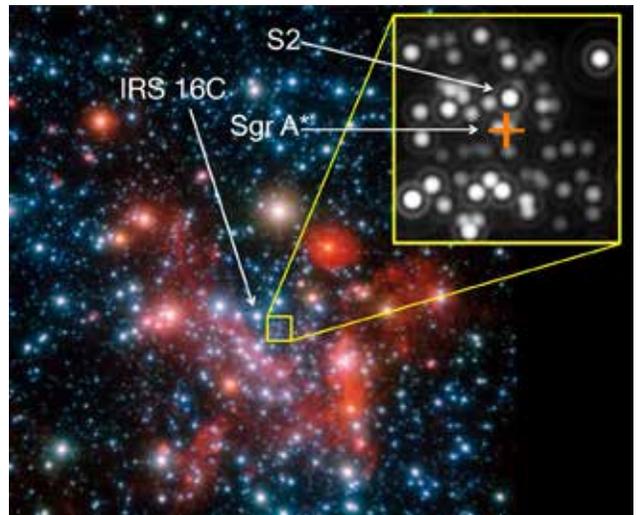


Imagen infrarroja del centro galáctico. Para las observaciones interferométricas con GRAVITY se utilizó la estrella IRS 16C como estrella de referencia, aunque el objetivo real era la estrella S2. La posición del centro, que alberga el agujero negro (invisible) conocido como Sgr A\* está marcada por la cruz naranja. ESO/MPE/S. Gillessen et al.

Sgr A\* no es el único agujero negro supermasivo encontrado en el universo. La mayoría de las galaxias que conocemos tienen uno en su centro, e incluso con más masa y actividad. Además, las propiedades de estos oscuros gigantes están íntimamente conectadas con las características de las galaxias que los albergan, lo que sugiere que la evolución de una galaxia podría estar vinculada al crecimiento y desarrollo de su agujero negro central. Esta conexión plantea la intrigante posibilidad de que estos enigmáticos objetos jueguen un papel fundamental en la historia misma del universo.

El problema que tenemos para estudiarlos es su gran distancia. Sgr A\*, situado a 26.000 años luz, es el agujero negro supermasivo más cercano a la Tierra. El siguiente que encontramos está en la galaxia de Andrómeda, 100 veces más alejado de nuestro planeta. Por "cercanía", podemos estudiar con gran detalle y precisión Sgr A\* y su entorno tan extremo, donde se están produciendo importantes procesos físicos. Tenemos un laboratorio único en el centro de nuestra galaxia.

### Tenemos un laboratorio único en el centro de nuestra galaxia

Sin embargo, también es único en desafíos de observación. La Tierra se halla en el plano galáctico, y, si queremos observar el

centro de la galaxia, tenemos que atravesar una densa capa de gas y polvo interestelar. Esto convierte a la región que rodea Sgr A\* en una zona prácticamente opaca a la luz visible. Además, se trata de una región donde la densidad de estrellas es extremadamente alta, con lo que se requiere gran resolución angular — gran capacidad para poder separar objetos que estén muy juntos — para estudiarlo. Por todo ello, los secretos del corazón de nuestra galaxia han estado ocultos durante mucho tiempo.

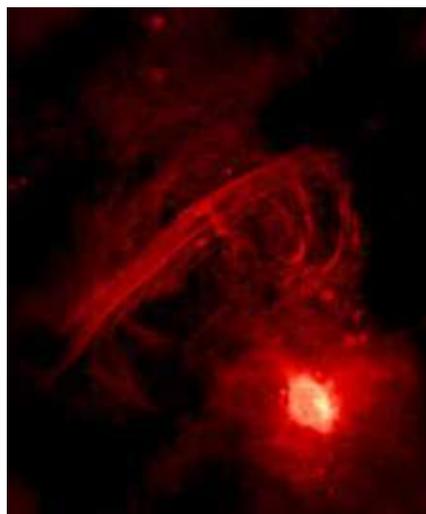


Imagen de Radio del Centro Galáctico donde se puede apreciar la enorme complejidad de este entorno. Crédito: Farhad Yusef-Zadeh et al. (Northwestern), VLA, NRAO

### EL OSCURO GIGANTE DE NUESTRA GALAXIA

En 1933, Karl Jansky fue el primero en descubrir que allí había algo escondido. Con el objetivo inicial de estudiar cómo las tormentas afectaban a las comunicaciones de larga distancia, construyó el primer radiotelescopio de la historia, y detectó una señal de radio: un débil silbido proveniente del núcleo de la galaxia. Décadas después, en 1974, Robert L. Brown y Bruce Balick, utilizando la joven técnica de la interferometría, que consiste en combinar señales de diferentes antenas de radio para obtener una imagen de mayor resolución, lograron separar los distintos componentes de la fuente de radio. Así, descubrieron un objeto puntual: Sgr A\*, y se preguntaron si éste sería la manifestación de un agujero negro supermasivo escondido en la Vía Láctea.

La respuesta llegó en la década de 1990 con la construcción de grandes telescopios en el desierto de Atacama, en el norte de Chile, y en el volcán Mauna Kea, en Hawái. Además, fue crucial el desarrollo de instrumentos infrarrojos para observar a través de las densas nubes de polvo, así como la implementación de la óptica adaptativa, que ajusta en tiempo real los espejos de los telescopios para contrarrestar la distorsión atmosférica. Gracias a estos avances finalmente pudimos asomarnos a los secretos ocultos en esta esquiva región y observar, con la resolución necesaria, las estrellas cercanas a Sgr A\*.

## LAS ESTRELLAS QUE ORBITAN SGR A\*

El estudio de las estrellas que orbitan Sgr A\* puede darnos información clave sobre el propio agujero negro e inferir algunas de sus propiedades. Debido a que la gravedad en estos objetos es tan intensa que ni siquiera la luz puede escapar, resulta muy difícil estudiarlos de forma directa. Como ya predijo John Michell en 1783, el primero en hablar de estrellas negras: "...no podríamos obtener ninguna información a partir de la luz; si hubiera otros cuerpos luminosos girando a su alrededor, aún podríamos, tal vez, inferir la existencia de los cuerpos centrales a partir de los movimientos de estos cuerpos en órbita, con algún grado de probabilidad". Así, las estrellas que orbitan Sgr A\* son una herramienta eficaz para estudiar indirectamente el agujero negro.

Entre las estrellas observadas destaca S2 (o S02), que ha sido clave en el estudio del agujero negro central. Nuestra protagonista es una estrella con una masa mayor que 15 veces la masa del Sol, y que tarda solamente 16 años en completar una órbita alrededor del agujero negro. Esta estrella viaja a más de 7.500 kilómetros por segundo es su punto más cercano al mismo. Gracias al estudio detallado de su órbita, se logró medir con precisión la masa de Sgr A\*, proporcionando pruebas irrefutables de la existencia del agujero negro. Por estas investigaciones pioneras, Andrea Ghez y Reinhard Genzel fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 2020.

Además, en 2019, la estrella se acercó a su

punto más cercano al agujero negro. Para entonces, ya se llevaban más de 20 años estudiando su órbita, y se pudo observar que el movimiento de esta estrella no podía ser explicado por las leyes de Newton. Fue necesario recurrir a la relatividad, lo que demostró que la teoría de Einstein se cumplía más de 100 años después de que él la formulara, en un régimen que él nunca había imaginado, en una región nunca antes estudiada, donde la gravedad es extrema: las inmediateces de un agujero negro supermasivo.

### **El estudio de las estrellas que orbitan Sgr A\* puede darnos información clave sobre el propio agujero negro e inferir algunas de sus propiedades**

Pero no era el único misterio que albergaba el centro de nuestra galaxia. S02 era una estrella joven, con solo 6.6 millones de años de edad, y no estaba sola. Había otras jóvenes compañeras danzando con ella en ese entorno oscuro y turbulento a velocidades de miles de kilómetros por segundo. ¿Cómo pueden nacer estas estrellas en un ambiente tan extremo, donde los campos electromagnéticos son tan intensos y las fuerzas de marea tan destructivas que pueden destrozarse estrellas

y nubes de gas en tiempo récord? El entorno de un agujero negro no parece un útero cósmico adecuado para cobijar el nacimiento de estrellas...

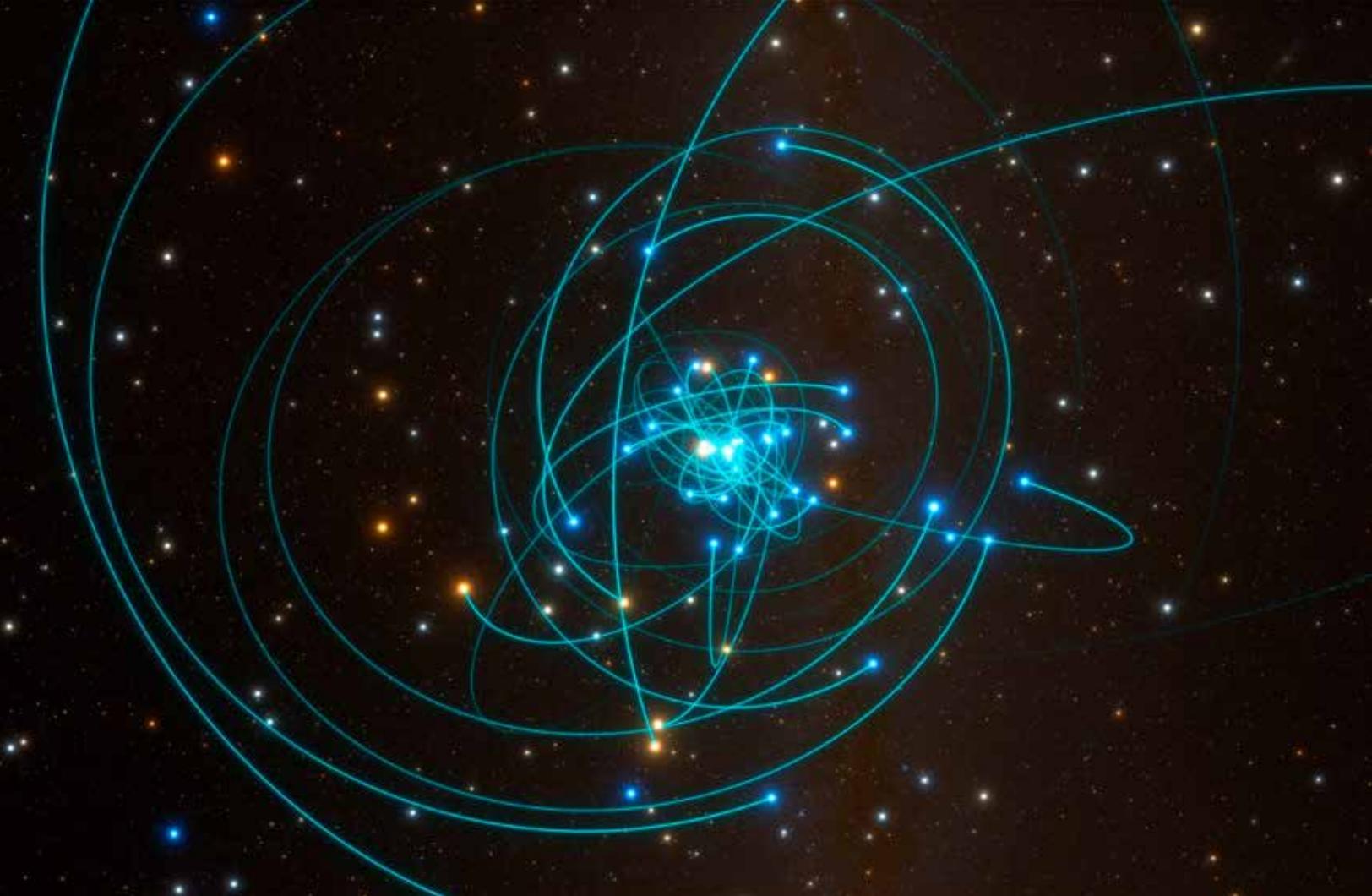
## LA "PARADOJA DE LA JUVENTUD"

El enigma, conocido como la "paradoja de la juventud", no tiene aún explicación. Hay teorías que sugieren que estas estrellas se formaron en un disco de gas alrededor del agujero negro, y aunque se han encontrado estrellas distribuidas en dos discos, hay otras que no. Otras teorías apuntan que se formaron en cúmulos lejanos y migraron hacia el centro debido a la fricción dinámica, aunque no se detectaron rayos X de estos cúmulos compactos, y su juventud hace difícil que hayan migrado desde tan lejos. Ninguna de estas teorías explica completamente cómo siguen formándose estrellas en esta región.

Para intentar resolver este misterio, debemos observar más estrellas cercanas al agujero negro, incluyendo algunas mucho más débiles que nunca se han detectado antes. Para estudiar la edad y el tipo de estas estrellas, se utiliza la espectroscopía, que nos proporciona la "huella dactilar" de cada estrella. Esta técnica nos permite identificar qué elementos están presentes en ella, su temperatura, su velocidad, y otras características importantes. El problema es que aplicar espectroscopía en el centro de la galaxia no es fácil; solo se pueden estudiar zonas pequeñas y estrellas brillantes, lo que limita las observaciones.

*El centro de nuestra Vía Láctea está oculto a las miradas indiscretas de los telescopios ópticos por nubes de polvo y gas. Pero en esta impresionante vista, las cámaras infrarrojas del telescopio espacial Spitzer de la NASA penetran gran parte del polvo, revelando las estrellas de la concurrida región del centro galáctico. Créditos: NASA, JPL-Caltech, Susan Stolovy (SSC/Caltech) et al.*





Simulación que muestra las órbitas de las estrellas muy cerca del agujero negro supermasivo en el centro de la Vía Láctea. Es un laboratorio perfecto para probar la física de la gravedad y, específicamente, la teoría de la relatividad general de Einstein. Crédito: ESO/L. Calçada/spaceengine.org

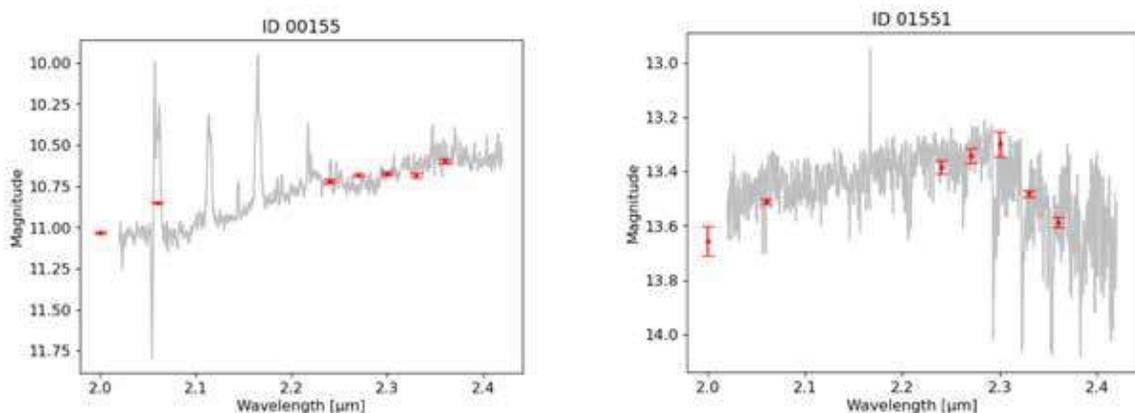
## EL GRUPO DEL CENTRO GALÁCTICO DEL IAA-CSIC

En nuestro grupo hemos buscado una solución usando fotometría, el brillo de las estrellas. Con esta técnica podemos detectar estrellas mucho más débiles en zonas más extensas alrededor del agujero negro. Además, al usar diferentes filtros podemos obtener espectros de baja resolución que aún nos proporcionan información valiosa sobre la edad de las estrellas. Gracias a la aplicación de técnicas avanzadas de machine learning y a un trabajo intenso para mejorar la calidad de las imágenes, hemos logrado descubrir más estrellas jóvenes cerca del agujero negro. También hemos podido estudiar la función

de masas inicial de las estrellas, que describe cómo se distribuyen las masas de las estrellas que nacen. Hemos encontrado, corroborando otros estudios en estas regiones, que esta distribución difiere de la observada en otras partes de la galaxia, lo que es sorprendente, ya que se pensaba que era universal. ¿Las estrellas nacidas en ese entorno extremo no se rigen por las mismas reglas que las de otras partes de la galaxia?

El centro de la galaxia es, por lo tanto, un lugar único en el cosmos, lleno de misterios que siguen desafiando nuestra comprensión

y planteando nuevas preguntas sin respuesta. Con la llegada de la nueva generación de telescopios, como el Telescopio Extremadamente Grande (ELT) que se está construyendo en el desierto de Atacama, Chile, con un diámetro de casi 40 metros, se abrirá una ventana sin precedentes para explorar esta región tan extrema. Tal vez así podamos desvelar el enigma de cómo las estrellas pueden nacer tan cerca de un agujero negro. Mientras tanto, seguiremos estudiando y acompañando a nuestras jóvenes bailarinas en su frenética danza entre las tinieblas.



Espectros reales de estrellas, una joven y otra vieja, comparados con espectros de baja resolución obtenidos con fotometría de banda intermedia. Crédito: Gallego-Cano, E., et al.: A&A, 689, A190 (2024)

## Una taza de té calentada por un agujero negro

Por Enrique Pérez Montero (IAA-CSIC)

Los agujeros negros constituyen uno de los principales focos de atención mediática en la investigación astrofísica actual. Mucha gente se siente fascinada por esa mezcla de curiosidad, pavor y exotismo que estos objetos despiertan y cualquier nuevo estudio sobre ellos tiene garantizada una atención especial, eclipsando otras noticias relacionadas con planetas, estrellas, cúmulos o nebulosas.

Uno de los aspectos que más interés suscita en el contexto de los agujeros negros es todo lo relacionado con lo que se cuece en su interior, un ámbito del todo inaccesible y misterioso para la ciencia. La astrofísica observacional, aquella encargada de recopilar datos sobre los astros del universo, incluyendo los objetos más distantes y curiosos, no puede recoger información luminosa de lo que acaece en el interior del horizonte de sucesos, el límite espacial calculado por Karl Schwarzschild, y que está definido como el radio que no puede ser atravesado por nada ni siquiera los rayos de luz, que no tienen masa, pueden atravesarlo, pues la distorsión frena también el curso del tiempo casi hasta su completa congelación. Esa característica de estos objetos ha dado lugar a múltiples conjeturas y especulaciones, más o menos compatibles con otras ramas de la ciencia más teóricas y que han sido salpimentadas por muchos relatos de ciencia-ficción, que van desde puertas a universos paralelos hasta agujeros de gusano capaces de transportarnos a otros lugares y tiempos. La verdad es que este es un terreno actualmente ajeno a lo que podemos estudiar mediante las observaciones, así que digamos que todo lo que hay más allá de este horizonte permanece velado para nosotros, aunque la parte teórica no deja de sugerir escenarios posibles.

De lo que sí se encarga la astrofísica es de estudiar los efectos que los agujeros negros tienen en su espacio circundante y en los otros astros que caen bajo su influencia gravitatoria. Son estos efectos los que han permitido progresar de la mera especulación de su existencia, dudada por el propio Einstein, hasta tener evidencias innegables e incluso imágenes directas de su existencia. Una de estas evidencias se produjo en la década de 1960 con el descubrimiento de los cuásares. Estos objetos son fuentes aparentemente



Impresión artística de un superviento generado por un agujero negro supermasivo. Crédito: ESO/M. Kornmesser

puntuales de emisión electromagnética que se distribuyen por todo el cielo, lo que fue originalmente interpretado como la emisión de cierto tipo de estrellas, y de ahí su nombre: cuásares o fuentes cuasi-estelares.

**La astrofísica se encarga de estudiar los efectos que los agujeros negros tienen en su espacio circundante y en los otros astros que caen bajo su influencia gravitatoria**

Sin embargo, cuando se descubrió la manera de derivar la distancia a la que se encontraban, que es de miles de millones de años-luz, se llegó a la conclusión de que las fuentes de energía capaces de producir dicha emisión para que fuera detectada desde nuestro planeta debía de ser una de las más poderosas de nuestro universo.

Finalmente, ese mecanismo se relacionó con la presencia de agujeros negros supermasivos, con masas equivalentes a miles

de millones de veces la de nuestro Sol, concentrados en el centro de algunas galaxias, y produciendo la aglomeración de una gran cantidad de masa cayendo a su interior bajo la forma de un disco rotante de materia. En este disco la materia es calentada a una temperatura tan enorme que acaba radiando parte de su masa bajo la forma de energía muy brillante, antes de atravesar el horizonte de sucesos, como un último lamento de súplica antes de dejar nuestro universo.

Hoy en día, los cuásares han dejado de ser considerados los paradigmas del Universo más lejano, pues gracias a observatorios como HST (telescopio espacial Hubble) o JWST (telescopio espacial James Webb), hemos ampliado nuestra mirada a etapas del universo donde se estaban formando las primeras galaxias, pero los cuásares no han sido destronados aún como la categoría de galaxias capaces de emitir la mayor cantidad de energía producida en la historia del universo.

Lo que sí que estamos en disposición de hacer en la época actual es estudiar con mucho más detalle lo que ocurre alrededor de estos agujeros, incluyendo el resto de la galaxia y el gas que tiene alrededor y los efectos que sobre estos producen, ayudando a contestar preguntas como cuál es el efecto



La galaxia Taza de Té vista por el telescopio espacial Hubble.  
Crédito: NASA, ESA, W. Keel (University of Alabama), and the Galaxy Zoo Team

de un agujero negro supermasivo activo en la evolución de una galaxia. Es posible incluso, que nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, pasara por una de estas fases en su pasado más remoto.

Entre los cuásares más notables que pueden en la actualidad ser estudiados en detalle está el que los voluntarios del Zoo de Galaxias - un proyecto de ciencia ciudadana que tiene como fin encontrar objetos astronómicos singulares en el Muestreo Digital Sloan - descubrieron en 2007 y que está en la galaxia SDSSJ1430+1339, a 1.100 millones de años-luz de nosotros. Esta galaxia se caracteriza por tener un núcleo activo a causa de la presencia de un cuásar, que está rodeado de una burbuja gigante compuesta de gas caliente e ionizado que muestra arcos y filamentos, asemejándose a una taza de té. Por ese motivo, ha recibido el nombre de Taza de Té. Desde su descubrimiento, ha sido estudiada por observatorios más precisos, como el telescopio espacial Hubble o el observatorio de rayos X Chandra de la NASA, que han confirmado que la burbuja tiene un diámetro de más de 30.000 años-luz y que está compuesta de gas arrastrado por los supervientos generados por la presión que viene del disco de materia alrededor del agujero negro y por la potente radiación emitida por este.

Esta es una galaxia muy peculiar porque es

**La galaxia Taza de Té es muy peculiar porque es uno de los escasos ejemplos donde se puede estudiar con detalle la interacción entre la radiación y la materia que viene de una galaxia con el gas que estas tienen a su alrededor**

uno de los escasos ejemplos donde se puede estudiar con detalle la interacción entre la radiación y la materia que viene de una galaxia con el gas que estas tienen a su alrededor y que reciben el nombre de gas circumgaláctico,

muy difícil de estudiar porque no emite casi radiación y tiene una densidad de partículas muy inferior a la que está en el disco de la galaxia. La Taza de Té constituye, por tanto, una prueba de cómo las galaxias son capaces de expulsar a veces material fuera de sí mismas a distancias muy grandes, contaminando el medio circundante y regulando a su vez la manera en que las estrellas se forman en las inmediaciones del centro y en el resto del disco. Los agujeros negros supermasivos son en cierta forma un mecanismo de regulación de la formación estelar.

Recientemente, la galaxia Taza de Té ha sido estudiada usando una técnica denominada Espectroscopía de Campo Integral, algo que permite descomponer la luz en función de su longitud de onda, pero de forma que es capaz también de analizar su posición. Como la espectroscopía de las líneas emitidas por el gas ionizado o absorbidas por las poblaciones estelares es lo que permite analizar su velocidad relativa y su composición química, esta técnica puede ser utilizada para hacer mapas de estas características. En concreto, el estudio se ha realizado a partir de datos tomados con el instrumento MUSE, que está montado en uno de los telescopios VLT, en el observatorio de Cerro Paranal, en Chile.

El análisis, realizado por un equipo liderado por Montserrat Villar, del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), y que ha contado con diversos miembros del Instituto de Astrofísica de Andalucía, entre los cuales me cuento, ha permitido extraer conclusiones interesantes y novedosas sobre cómo el cuásar se relaciona con el gas que se encuentra en el medio circumgaláctico (*noticia completa en página 15*).

Entre las conclusiones alcanzadas por este estudio está el que el gas del medio circumgaláctico, cuyo brillo puede ser medido en la fase ionizada en la Taza de Té gracias a la acción del cuásar, muestra un patrón de rotación muy parecido al que siguen las estrellas en el disco de la galaxia. Este patrón no es idéntico, porque el gas está también sometido a múltiples turbulencias e interacciones ocasionadas por los supervientos, pero la correlación es bastante clara. Esta relación entre la manera en que se mueven las estrellas

en la galaxia y el gas del medio circumgaláctico apunta en la dirección de que la galaxia se formó a partir de ese mismo gas circundante, con el que comparte todavía características dinámicas, aunque todo ese halo de gas no forme parte de la galaxia en sí.

En cuanto al contenido químico, su estudio es relevante porque la abundancia relativa de ciertos elementos como el oxígeno ofrece una pista sobre la evolución estelar previa del gas, pues este elemento solo ha podido ser creado a partir de generaciones previas de estrellas que lo han fusionado y posteriormente lanzado al medio interestelar mediante vientos estelares o explosiones de supernova.

Según el nuevo estudio de los datos de MUSE, el enriquecimiento químico del gas en la Taza de Té, sobre todo en los bordes de la burbuja, es similar al que se encuentra en el núcleo de la galaxia, lo cual es indicativo de que una porción considerable de esos elementos han sido arrastrados por los vientos generados en el núcleo hasta distancias considerables por encima del plano de la galaxia. De hecho, la abundancia de oxígeno en el núcleo es ligeramente inferior a la que le correspondería, lo cual confirma que parte de esa composición química se ha transportado. La pista fundamental sobre el contenido químico que el núcleo hubiera tenido si parte de los elementos en el gas del núcleo no hubiera sido llevado fuera, nos la da la abundancia relativa de nitrógeno sobre la de oxígeno, pues este valor permanece inalterado aunque parte del gas sea arrastrado. A la vez, la cantidad relativa de nitrógeno sobre oxígeno es un trazador muy eficiente de la historia de la evolución estelar, ya que el oxígeno es producido principalmente por estrellas jóvenes, de vida corta, mientras que el nitrógeno se mezcla con el medio interestelar tras la muerte de estrellas de masa intermedia, que viven más tiempo. Es decir, que un valor alto de la abundancia de nitrógeno respecto a oxígeno es sinónimo de un gas muy antiguo y procesado, aunque parte de los metales hayan sido arrastrados a otro sitio, como es el caso de la burbuja enorme y lejana que se ha formado por efecto de la radiación del núcleo activo.

El nuevo estudio establece por tanto una conexión firme y evidente entre las propiedades del gas y las estrellas en el núcleo de la galaxia con el gas del medio circumgaláctico y lo hace gracias a la acción del agujero negro, capaz de emitir una radiación tal que ioniza el gas, ahora brillante y visible, y también formando vientos que trasladan energía y elementos antiguos y nuevos que enriquecen partes del universo que no pertenecen a la galaxia, quizá formando estrellas que jamás pertenecerán a ninguna.

Estos procesos fueron seguramente mucho más frecuentes en el universo más antiguo, en que los agujeros negros eran más activos y había mayor formación de estrellas, pero que podemos conocer ahora más en detalle gracias a esa Taza de Té calentada por un agujero negro, cuyo interior seguirá siendo un misterio, pero cuya gravedad se convierte en uno de los mecanismos de producción de energía más eficientes del universo.

## ACTUALIDAD

# LOS AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS ALTERAN LA EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LAS GALAXIAS

**EL IAA-CSIC PARTICIPA EN ESTE ESTUDIO QUE MUESTRA CÓMO LA ACTIVIDAD DE UN AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO ESCONDIDO EN EL CORAZÓN DE UN CUÁSAR HA TRANSFORMADO LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GAS EXISTENTE EN LA GALAXIA**

Los cuásares son uno de los tipos de objetos más luminosos que podemos observar en el universo. Al igual que otras galaxias activas, presentan en su centro un agujero negro supermasivo, con masas que varían desde millones hasta miles de millones de veces la masa del Sol, rodeado de un disco de gas que lo alimenta. La intensa gravedad del agujero negro genera temperaturas y presiones extremas en el disco de acreción, lo que provoca la emisión de radiación intensa y la aparición de fenómenos extremos como los chorros de partículas relativistas, que viajan a velocidades cercanas a la de la luz, o los vientos cósmicos, flujos de gas y partículas expulsados a miles de kilómetros por segundo desde las regiones internas. Estos vientos son capaces de inyectar grandes cantidades de energía en el resto de la galaxia.

Una investigación liderada por el Centro de Astrobiología (CAB), INTA-CSIC, con la participación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), el Instituto de Astronomía y Astrofísica de la Academia Sínica (Taiwán) y GRANTECAN, sugiere que estos fenómenos extremos generados por la actividad de los agujeros negros supermasivos podrían ser responsables de alterar la evolución química de toda la galaxia.

### UNA "TAZA DE TÉ" MOLDEADA POR SUPERVIENTOS

El equipo responsable de este estudio realizó un mapa bidimensional de las abundancias relativas de oxígeno y nitrógeno en el gas de la galaxia activa SDSS 1430+1339, descubierta por voluntarios del proyecto de ciencia ciudadana "Galaxy Zoo" y situada a más de mil millones de años luz de la Tierra.

Este cuásar, denominado coloquialmente "Teacup" debido a su peculiar forma que recuerda a una taza de té, se caracteriza por la presencia de una burbuja de gas caliente e ionizado con un diámetro de más de treinta mil años luz que rodea su núcleo activo. Esta

burbuja esta asociada con la presencia de un enorme flujo de energía y partículas de alta velocidad causado por la actividad de su agujero negro supermasivo.

Los datos obtenidos demuestran que este flujo, denominado "superviento", actúa como un potente mecanismo de inyección de energía en toda la galaxia, llegando incluso a afectar a la composición química del gas que contiene.

"Nuestro estudio muestra que la acción de este superviento afecta a la composición química del gas a su paso por la galaxia y que su impacto alcanza distancias enormes", afirma Montserrat Villar, investigadora del CSIC en el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) y autora principal del trabajo. "Si un fenómeno similar ocurriera en el corazón de nuestra galaxia, el superviento resultante podría contaminar con elementos pesados el gas en un volumen enorme que incluiría el Sistema Solar", matiza la investigadora del CAB.

### EL AGUJERO NEGRO MOTOR DE EVOLUCIÓN QUÍMICA

La variación en las abundancias relativas de oxígeno y nitrógeno observadas a lo largo de la galaxia puede ser compatible con varios escenarios. En todos ellos, la actividad nuclear asociada al agujero negro supermasivo actúa como el mecanismo responsable final del enriquecimiento químico del gas, incluso a grandes distancias.

"No sabemos si el cambio en las abundancias químicas en las regiones externas ha sido causado por el desplazamiento de elementos pesados desde la región central de la galaxia o por otros mecanismos que este superviento haya inducido la formación de estrellas en zonas muy alejadas del núcleo galáctico, y que estas hayan enriquecido el medio circundante a través de explosiones de supernova. En cualquier caso, este cuásar proporciona evidencia observacio-

nal clara de cómo la actividad nuclear puede enriquecer el gas a grandes escalas, es posible que incluso más allá de la propia galaxia", señala Villar.

Sara Cazzoli, investigadora del Instituto de Astrofísica de Andalucía y coautora del estudio, añade: "Entender cómo los agujeros negros supermasivos regulan la evolución de las galaxias es uno de los temas más candentes en la astrofísica actual. El interés de nuestro estudio radica en que proporciona evidencia directa de su impacto en la evolución química de la galaxia."

### DESDE EL DESIERTO DE ATACAMA

El equipo autor del estudio utilizó datos de espectroscopía de campo integral obtenidos con el instrumento MUSE del Very Large Telescope (VLT), un conjunto de cuatro telescopios de 8.2 metros de diámetro situados en las instalaciones del European Southern Observatory (ESO) en el desierto chileno de Atacama.

La calidad del cielo en esa ubicación y la sensibilidad del instrumento hacen de VLT-MUSE una infraestructura tecnológica excelente, que ha permitido detectar y estudiar con gran detalle el tenue gas ionizado que envuelve galaxias activas tan distantes como Teacup.

El análisis de la abundancia relativa y la distribución de elementos pesados en el gas de las galaxias ayuda a reconstruir la historia de su evolución química, un aspecto crucial en la formación estelar y planetaria.

"Este estudio es solo el principio, ya que puede extenderse a muchas otras galaxias. Contamos con las herramientas teóricas y los datos necesarios para investigar si fenómenos similares han ocurrido en diferentes épocas de la historia cósmica", concluye Montserrat Villar.

# CARMENES: ABRIENDO NUEVOS HORIZONTES EN LA BÚSQUEDA DE OTROS MUNDOS

En enero de 2016 CARMENES vio su primera luz desde Calar Alto, Almería. Desde entonces, ha descubierto casi 80 nuevos mundos alrededor de las estrellas más pequeñas, frías y abundantes de nuestra galaxia, muchos de estos en la zona de habitabilidad y similares a la Tierra, pero ¿qué más nos depara el futuro con CARMENES?

## EL OBSERVATORIO DE CALAR ALTO

El Observatorio de Calar Alto, situado en Almería, es uno de los centros de investigación astronómica más importantes de Europa. Este observatorio, fruto de la colaboración histórica entre Alemania y España, es gestionado desde 2018 por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Junta de Andalucía, reflejando el crecimiento de la ciencia local en el liderazgo de proyectos internacionales. En Calar Alto se encuentra el telescopio más grande de Europa continental, de 3.5 metros de diámetro, que, junto con otros instrumentos avanzados, permite estudiar una amplia variedad de fenómenos astronómicos.



El Observatorio Astronómico de Calar Alto, en Almería. Crédito: CAHA



El instrumento CARMENES, ubicado en el telescopio de 3.5m de Calar Alto. Crédito: IAA-CSIC

## EL INSTRUMENTO CARMENES

En el mundo de la astrofísica, es común que los instrumentos y proyectos reciban nombres ingeniosos o representen juegos de palabras. CARMENES es uno de esos casos. Su nombre proviene del inglés: "Calar Alto high-Resolution search for M dwarfs with Exoearths with Near-infrared and optical Échelle Spectrograph", lo que describe su misión principal y el tipo de estrellas que observa.

CARMENES es un espectrógrafo de alta precisión diseñado para buscar planetas templados similares a la Tierra alrededor de estrellas enanas rojas, utilizando dos bandas del espectro electromagnético: el visible y el infrarrojo cercano.

### ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Existen otras longitudes de onda, como el infrarrojo, que CARMENES explora para detectar exoplanetas alrededor de enanas rojas. El infrarrojo es particularmente útil para observar estas estrellas frías y poco luminosas, que emiten más radiación en esa parte del espectro.

### ENANAS ROJAS

Las enanas rojas son estrellas pequeñas y frías en comparación con el Sol, con temperaturas superficiales de entre 2.500 y 4.000 grados Kelvin, y masas que rondan de un 10% a un 60% de la masa solar. Representan la clase de estrella más abundante en nuestra galaxia y

tienen vidas extremadamente largas, lo que las convierte en objetivos ideales para estudiar la formación de sistemas planetarios y la posible habitabilidad a largo plazo.

### EXOPLANETAS

Son planetas que orbitan otras estrellas. CARMENES se especializa en la búsqueda de planetas similares a la Tierra en términos de tamaño y masa, especialmente aquellos que orbitan en la zona habitable alrededor de enanas rojas, donde podrían darse condiciones favorables para la existencia de agua líquida.

### ESPECTROSCOPÍA

CARMENES utiliza espectroscopía de alta precisión para detectar exoplanetas a través del método Doppler. Este método permite detectar el movimiento minúsculo de una estrella causado por la presencia de un planeta en órbita, revelando su existencia de forma indirecta al observar cambios en la longitud de onda de la luz de la estrella.

Este instrumento fue concebido en 2009 y comenzó sus operaciones en enero de 2016, cuando realizó sus primeras observaciones astronómicas. Y más allá de ser un instrumento, CARMENES es el nombre del consorcio que reunió a cerca de 300 personas, científicas e ingenieras, de once instituciones de España y Alemania, quienes trabajaron en su construcción y aún hacen ciencia con los datos que genera.

# DECONSTRUCCIÓN

Por Roberto Varas y Pedro Amado (IAA-CSIC)

Crédito de la imagen de fondo: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (IPAC)

## HITOS CIENTÍFICOS

Desde su primera observación en 2016, CARMENES ha cumplido ya ocho años de operación, en los que ha observado casi 400 estrellas y contribuido al descubrimiento de más de 80 exoplanetas. Aunque su misión científica original estaba planificada para solo cuatro años, los extraordinarios resultados obtenidos llevaron a prolongar su vida científica, permitiendo así más descubrimientos.

Uno de los logros más destacados de CARMENES fue la detección de un sistema planetario en torno a Teegarden, la vigésimo quinta estrella más cercana al Sol. Este sistema incluye tres planetas con masas similares a la de la Tierra, uno de los cuales se encuentra en la zona habitable, donde podrían darse condiciones para la existencia de agua líquida. Este descubrimiento, logrado solo con los datos de CARMENES, demostró las capacidades del instrumento para detectar planetas pequeños alrededor de estrellas frías y tenues, objetivo para el que fue específicamente diseñado.

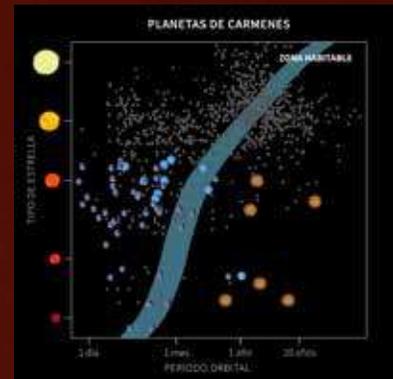
Otro descubrimiento que ha revolucionado nuestra comprensión de los sistemas planetarios es el de dos sistemas en torno a las enanas rojas G 264-012 y Gl 393. Estos albergan tres planetas clasificados como 'tierras' y 'supertierras' calientes, desafiando las ideas previas sobre la distribución típica de planetas en estrellas pequeñas. Al igual que el sorprendente gigante gaseoso GJ 3512 b, estos hallazgos destacan la diversidad de configuraciones planetarias y el papel crucial de CARMENES para detectar mundos que amplían los límites de las teorías actuales sobre la formación y evolución de los planetas.

Gracias al canal infrarrojo de CARMENES, se logró detectar por primera vez helio escapando de la atmósfera de un exoplaneta desde un telescopio terrestre, algo que antes solo se conseguía con el telescopio espacial Hubble. Este descubrimiento de CARMENES demostró que se pueden analizar atmósferas de exoplanetas con un nivel de detalle comparable al de instrumentos espaciales, abriendo nuevas posibilidades para estudiar estos mundos desde la Tierra.

Finalmente, al observar una gran cantidad de enanas rojas, CARMENES ha permitido comprender mejor las propiedades de estas estrellas, incluyendo sus temperaturas, composición, edades y su actividad magnética (la que produce las manchas solares y las fulguraciones en nuestro Sol). Incluso en los casos donde no se detectaron planetas, los datos recogidos han aportado información valiosa, contribuyendo al conocimiento general de este tipo de estrellas tan comunes en nuestra galaxia.



Ilustración de los planetas que componen el sistema TRAPPIST-1. Crédito: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt, T. Pyle (IPAC)



En el período 2016-2020, CARMENES descubrió y confirmó 6 planetas 'tipo Júpiter', 10 'Neptunos' y 43 Tierras y supertierras. Crédito: Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC)

## UN FUTURO PROMETEDOR

El camino hacia nuevos descubrimientos en exoplanetas se extiende mucho más allá de los logros ya alcanzados.

### UN LEGADO CIENTÍFICO QUE PERDURA

Los datos acumulados por CARMENES no solo impulsan descubrimientos actuales, sino que también crean un archivo valioso para futuras generaciones de científicos, permitiendo analizar patrones y propiedades de estos mundos lejanos en contextos aún más amplios.

### COLABORACIONES QUE EXPANDEN HORIZONTES

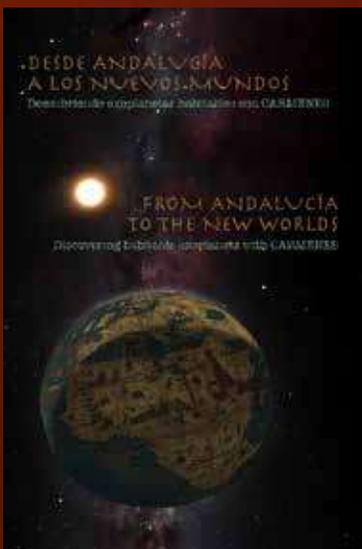
La colaboración entre CARMENES y observatorios como el telescopio espacial James Webb (JWST) abre nuevas posibilidades para el análisis detallado de atmósferas exoplanetarias y la búsqueda de compuestos que puedan indicar habitabilidad. Estas sinergias permiten combinar observaciones terrestres y espaciales para obtener un conocimiento más profundo sobre la diversidad y composición de los sistemas planetarios.

### UN FUTURO LLENO DE SORPRESAS

Más allá de la detección de exoplanetas, el legado de CARMENES abre la puerta a explorar la asombrosa diversidad de sistemas planetarios y las condiciones que podrían sustentar la vida.

Proyectos innovadores como MARCOT ("Multi Array of Combined Telescopes"), un sistema modular de telescopios que emplea tecnologías fotónicas para simular una gran apertura combinando múltiples unidades más pequeñas, ampliarán esta ciencia. Con estos podrán llevarse a cabo investigaciones más profundas de mundos alrededor de enanas ultrafías y enanas marrones, las estrellas más pequeñas del cosmos.

¿Cómo se forman y evolucionan estos mundos extremos? Con cada nueva observación, CARMENES y sus sucesores contribuyen no sólo a responder esta pregunta, sino también a afrontar el enigma más profundo de la humanidad: ¿estamos realmente solos en el universo?



# ACTUALIDAD

## J-PAS revela los primeros datos de su cartografiado del universo

**EL PROYECTO, COLIDERADO POR EL IAA-CSIC, PONE A DISPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA LOS PRIMEROS DOCE GRADOS CUADRADOS DEL MAPA TRIDIMENSIONAL DEL UNIVERSO QUE SE ESTÁ LLEVANDO A CABO DESDE EL OBSERVATORIO ASTROFÍSICO DE JAVALAMBRE (OAJ)**

**EL ÁREA ESTUDIADA CONTIENE 550.000 OBJETOS ASTRONÓMICOS Y ES SÓLO UNA PEQUEÑA MUESTRA DE LOS DATOS DEL CARTOGRAFIADO, QUE OBSERVARÁ MILES DE GRADOS CUADRADOS EN LA PRÓXIMA DÉCADA**

En otoño de 2023, el Observatorio Astrofísico de Javalambre (OAJ) tomaba los primeros datos del proyecto J-PAS (Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey), diseñado para mapear una gran porción del cielo y estudiar con detalle la naturaleza del universo en expansión. "Se trata de una iniciativa muy ambiciosa, no solo por la magnitud de sus objetivos sino también por las innovaciones tecnológicas y científicas que incorpora, así como por el impacto que tendrá en el estudio del cosmos", destaca José Manuel Vílchez, profesor de investigación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y miembro del Consejo de Dirección Internacional de la colaboración.

Un año después, se han publicado las primeras imágenes y catálogos de este proyecto internacional, que ya están disponibles en su página web. Estos datos revelan la posición tridimensional de unas 450.000 galaxias, ofreciendo la primera muestra científica del potencial de la combinación del telescopio de gran campo JST250 y su cámara panorámica JPCam.

### UN MAPA SIN PRECEDENTES

El cartografiado de J-PAS combina de manera única la observación de un vasto volumen del universo con un número sin precedentes de bandas fotométricas. Su cámara, JPCam, está equipada con 56 filtros ópticos de banda estrecha, únicos en el ámbito internacional y diseñados específicamente para esta misión. En la práctica, esto supone obtener información multicolor homogénea de todos los objetos observados, lo que facilita la determinación de propiedades astrofísicas clave, como la temperatura y composición de las estrellas, la edad o distancia de las galaxias, entre otras.

J-PAS está llamado a convertirse en el cartografiado fotométrico más completo del universo, así como en una referencia internacional para multitud de aplicaciones científicas. Observará miles de grados cuadrados del cielo con cientos de millones de galaxias y estrellas. "Cualquier estudio futuro de estos objetos se podrá beneficiar de la información que proporciona J-PAS. Como proyecto de legado,

creemos que se convertirá en una de las principales referencias internacionales de la astrofísica de la próxima década", sostiene el Dr. Carlos López San Juan, subdirector científico del Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA), institución que lidera el proyecto junto al IAA-CSIC, el Observatorio Nacional de Río de Janeiro y la Universidad de Sao Paulo.

### INFORMACIÓN EN TODOS LOS PÍXELES

Desde hoy, J-PAS pone a disposición del público los datos correspondientes a doce grados cuadrados del cielo, observados con sus 56 filtros exclusivos. Este conjunto incluye 25.000 imágenes capturadas a lo largo del último año. Una característica distintiva de las imágenes de J-PAS es que no solo contienen información para todos los filtros, sino también para cada píxel del cielo mapeado, proporcionando un nivel de detalle sin precedentes. Las propias imágenes están calibradas, lo que significa que se puede medir la intensidad de la luz en cualquier punto del cartografiado, en sus 56 filtros.

El profesor Vílchez (IAA-CSIC) asegura que "se trata de un hito científico de gran magnitud que marca el inicio de avances significativos en astrofísica, los cuales llevarán a nuevos y fascinantes descubrimientos en los próximos años".

Desde el Observatorio Astrofísico de Javalambre (OAJ) se toman cada noche cientos de imágenes que exigen un centro de datos específico para su almacenamiento, gestión y calibración. El desarrollo de herramientas para el procesamiento de imágenes es otro de los hitos del proyecto J-PAS.

### UNA DE LAS CÁMARAS MÁS GRANDES DEL MUNDO

Hace aproximadamente un año comenzaron las primeras observaciones científicas del proyecto J-PAS, el principal programa desarrollado con el telescopio JST250, un gran angular de 2.5 metros de espejo principal, ubicado en el OAJ. Su instrumento principal es JPCam, una cámara panorámi-

ca de última generación con más de 1.200 millones de píxeles, posicionada entre las más grandes del mundo de la astronomía. La combinación de JPCam y el JST250 conforma una herramienta excepcional para cartografiar el universo y medir distancias extragalácticas con gran precisión.

### J-PAS: UNA COLABORACIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL

Liderado por el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA) y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), en España, y por el Observatorio Nacional de Río de Janeiro y la Universidad de Sao Paulo, en Brasil, J-PAS cuenta con más de 250 investigadores de 18 países para su desarrollo y explotación científica.

Se trata de un proyecto de legado para la comunidad científica internacional que ofrecerá una visión única del universo, tanto por el tipo como por la cantidad de información que proporcionará sobre los cientos de millones de objetos astronómicos que observará de manera sistemática.

"La liberación de estos datos supone un gran avance para toda la comunidad científica, ya que son 100% públicos y únicos por su amplio cubrimiento espectral y por abarcar una gran área del cielo. Esto no sólo impulsará la ciencia asociada a J-PAS, sino que también proporcionará un valioso soporte para otras investigaciones en curso en todo el mundo que podrán beneficiarse de esta contribución", concluye José Manuel Vílchez (IAA-CSIC).

El OAJ y el proyecto J-PAS están financiados por el CEFCA y por los Gobiernos de Aragón y España, a través de la Unión Europea, dentro del marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (NextGenerationEU), el Fondo de Inversiones de Teruel y los Fondos Europeos de Desarrollo Regional. Las agencias brasileñas FINEP, FAPESP, FAPERJ y el Observatorio Nacional de Brasil han contribuido a la financiación de JPCam. Además, el Observatorio Tartu de Estonia y el Consorcio Astronómico Chino J-PAS han aportado financiación adicional para el proyecto.



Mosaico generado a partir de los primeros datos del cartografiado J-PAS. Crédito: David Muniesa/CEFCA

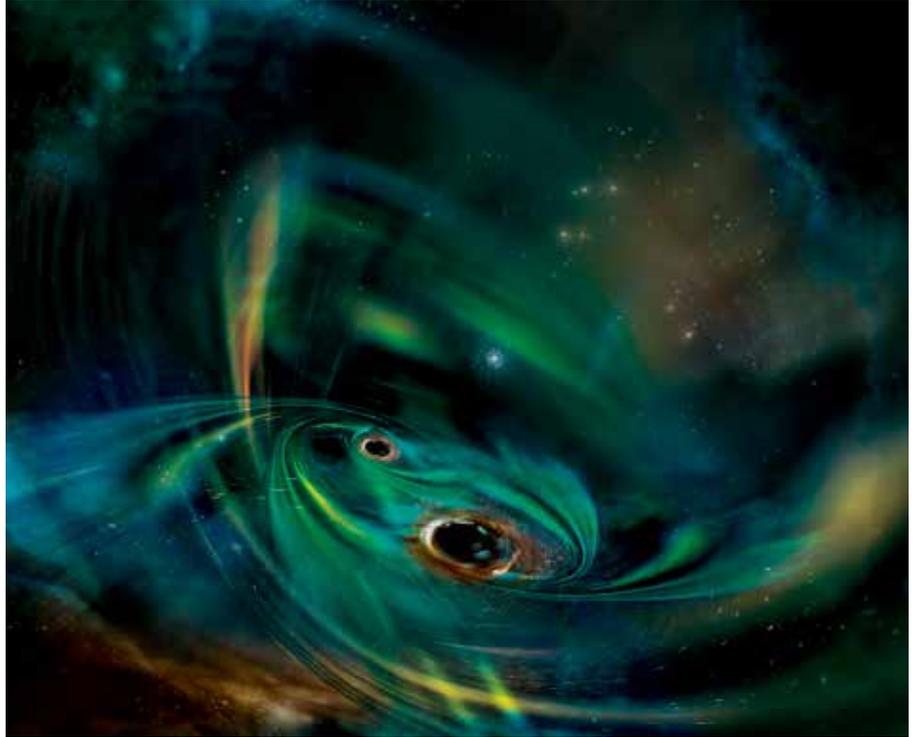
## Captan por primera vez la señal de un sistema binario de agujeros negros masivos interactuando con una nube de gas

**EL IAA-CSIC PARTICIPA EN ESTE ESTUDIO APORTANDO DATOS CLAVE OBTENIDOS CON SU ESPECTRÓGRAFO ALFOSC, INSTALADO EN EL TELESCOPIO ÓPTICO NÓRDICO (NOT) EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS, EN LA PALMA. ESTA INFORMACIÓN COMPLEMENTA LA PROPORCIONADA POR EL OBSERVATORIO SWIFT DE LA NASA Y EL PROYECTO ZTF**

En los últimos años, el número de instalaciones capaces de monitorizar todo el cielo y medir la variación de brillo de las estrellas y otros objetos astronómicos ha aumentado considerablemente. Esto ha permitido detectar más casos de objetos cuyo comportamiento no sigue los patrones habituales, dando lugar a fenómenos inusuales conocidos como eventos transitorios nucleares exóticos. El IAA-CSIC colabora en un trabajo, publicado en la revista *Astronomy & Astrophysics*, que arroja luz sobre la naturaleza de uno de estos peculiares eventos, llamado AT 2021hdr, y cuyo comportamiento puede explicarse como un sistema binario de agujeros negros supermasivos acreta una nube de gas.

AT 2021hdr solía mostrar una luminosidad constante, hasta que a mediados de 2021 comenzó a revelar algo extraño: de repente, su brillo aumentaba de forma repentina, produciendo picos que variaban con el tiempo, como si “oscilara”. Estas fluctuaciones fueron detectadas por el proyecto astronómico ZTF (Zwicky Transient Facility) y el Observatorio Swift de la NASA. “Creemos que una nube de gas envolvió a los agujeros negros. A medida que orbitan entre sí, los agujeros negros interactúan con la nube, perturbando y consumiendo su gas, lo que produce un patrón oscilante en la luz del sistema” sostiene Lorena Hernández-García, investigadora del Instituto Milenio de Astrofísica (MAS) y el Núcleo Milenio de Investigación y Tecnología Transversal para Explorar Agujeros Negros Supermasivos (TITANS), que lidera el trabajo.

La contribución del IAA-CSIC en la espectroscopia óptica –técnica que permite analizar la luz que emiten los objetos celestes– ha sido clave en este estudio. “Gracias a los datos tomados con el instrumento ALFOSC del IAA, se ha podido confirmar que esta fuente se encuentra en una galaxia de tipo Seyfert 1, conocidas por su núcleo muy activo y brillante”, apunta Josefa Masegosa, investigadora del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que forma parte del estudio. “Aunque el brillo de esta galaxia varía mucho con el tiempo, las líneas espectrales –“huellas” de diferentes



*Un par de agujeros negros supermasivos se arremolinan en una nube de gas en este concepto artístico de AT 2021hdr, un estallido recurrente estudiado por el Observatorio Neil Gehrels Swift de la NASA y la Instalación de Transitorios ZTF del Observatorio Palomar en California. Créditos: NASA/Aurore Simonnet (Universidad Estatal de Sonoma)*

elementos químicos en su luz– se mantienen estables”, añade. Esta estabilidad permite descartar que se trate de una galaxia “changing-look”, que es aquella que cambia drásticamente su apariencia y comportamiento en períodos de tiempo relativamente cortos.

### CUANDO LA ASTROFÍSICA Y LA IA SE DAN LA MANO

El fenómeno AT 2021hdr fue detectado por primera vez en marzo de 2021 por ZTF, un proyecto de búsqueda sistemática de fenómenos astronómicos transitorios. Se identificó como una fuente de posible interés por ALerCE (Automatic Learning for the Rapid Classification of Events), un sistema de software que emplea herramientas de inteligencia artificial para informar a la comunidad astronómica de los acontecimientos que se producen en el cielo nocturno, utilizando el flujo masivo de datos recogidos por programas de sondeo como el ZTF.

Hernández-García y su equipo han estado monitorizando la fuente AT 2021hdr a través del observatorio espacial Neil Gehrels Swift de la NASA desde noviembre de 2022. Así, pudieron determinar que el sistema binario produce oscilaciones en luz ultravioleta y rayos X en los mismos intervalos de tiempo en los que ZTF las observa en el rango visible.

“Aunque en un principio se pensó que esta ex-

plosión era una supernova, los estallidos de 2022 nos llevaron a explorar otras explicaciones”, señala la coautora del trabajo, Alejandra Muñoz-Arancibia, miembro del equipo ALerCE y astrofísica del MAS y el Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile. “Cada evento posterior nos ha ayudado a refinar nuestro modelo sobre lo que ocurre en el sistema”.

Después de considerar varias hipótesis, el grupo de investigación determinó que las variaciones de luz registradas por Swift y ZTF responden a la interacción entre el sistema binario y una nube de gas: debido a las intensas fuerzas de marea generadas por los agujeros negros, la nube comenzó a disolverse, lo que dio lugar a un fuerte calentamiento del gas, provocando que una parte de él fuera absorbida mientras que otra era expulsada en cada órbita.

Con la intención de comprender mejor el sistema y optimizar sus modelos, Hernández-García y su equipo planean continuar las observaciones de AT 2021hdr, al tiempo que estudian la galaxia donde se encuentra.

“Continuar estudiando cómo varían estos objetos en las diferentes longitudes de onda es clave para determinar qué modelos físicos son los más apropiados para explicar estas variaciones”, concluye Isabel Márquez, vicedirectora del IAA-CSIC y directora científica del proyecto Severo Ochoa, que también forma parte de este estudio.

# ACTUALIDAD

## Descubren varios planetas similares a Neptuno en una región teóricamente despoblada

**EL ESTUDIO, CENTRADO EN LA NATURALEZA PLANETARIA DE TRECE OBJETOS DE INTERÉS DE LA MISIÓN TESS, CONFIRMA LA EXISTENCIA DE CINCO NUEVOS PLANETAS ALREDEDOR DE ESTRELLAS ENANAS ROJAS O DE TIPO M, MÁS PEQUEÑAS Y FRÍAS QUE NUESTRO SOL**

**LOS PLANETAS SE HALLAN DENTRO O MUY PRÓXIMOS AL “DESIERTO DE LOS NEPTUNOS”, REGIÓN DONDE SE HA DETECTADO UNA CARENCIA DE PLANETAS CON PROPIEDADES COMPARABLES A LAS DE NEPTUNO**

La distribución de los planetas en los más de cinco mil sistemas solares lejanos descubiertos constituye un complejo rompecabezas. Existe una región en el gráfico de órbitas planetarias, conocida como el “desierto de los Neptunos”, en la que hasta la fecha se han registrado muy pocos planetas similares a Neptuno con órbitas de entre dos y cuatro días de periodo alrededor de su estrella. Ahora, un equipo científico coliderado por el IAA-CSIC y el IAC ha validado, mediante una novedosa técnica, nuevos planetas en torno a estrellas enanas rojas situados, precisamente, en ese desierto. El hallazgo se publica en la revista *Astronomy & Astrophysics*.

El trabajo buscaba clarificar la naturaleza planetaria de trece Objetos de Interés de TESS (TOIs, por sus siglas en inglés), una misión de la NASA de búsqueda de planetas extrasolares. “Estos objetos podían resultar tanto planetas como otros cuerpos que los imitan fotométricamente, como las enanas marrones –consideradas el eslabón entre las estrellas de baja masa y los grandes planetas gaseosos– o los sistemas estelares binarios”, señala Alberto Peláez Torres, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) que encabeza el trabajo.

### UNA METODOLOGÍA PARTICULARMENTE INNOVADORA

A la hora de escoger el método más adecuado para identificar la naturaleza de estos objetos planetarios sin clasificar, la estrella anfitriona –alrededor de la cual orbitan– desempeña un papel clave. En algunos casos, hay planetas que orbitan estrellas cuya debilidad impide llevar a cabo estudios con las técnicas más tradicionales. Esto es precisamente lo que ocurre con las enanas rojas, las estrellas

anfitrionas en las que se centra esta investigación.

“Las estrellas de tipo M son ideales para descubrir posibles planetas pequeños que orbitan a su alrededor, debido a su baja temperatura y a su pequeño tamaño, que reduce el contraste entre los radios de la estrella y el planeta”, explica Alberto Peláez (IAA-CSIC)

Así, el grupo investigador ha optado por una metodología innovadora basada en fotometría de tránsitos multicolor, es decir, observar el brillo de una estrella a través de diferentes filtros de colores. Para ello han utilizado instrumentos terrestres como MuSCAT2, MuSCAT3 y LCO-SINISTRO, junto con observaciones de alta resolución espacial y las curvas de luz de TESS. Como resultado, han validado cinco de los candidatos a exoplanetas de TESS: TOI-1883b, TOI-2274b, TOI-2768b, TOI-4438b y TOI-5319b.

“Este estudio contribuye a consolidar la fotometría multicolor de tránsito como una técnica válida y eficiente en el campo de exoplanetas para confirmar o descartar la naturaleza planetaria de los candidatos propuestos por la misión TESS”, subraya Emma Esparza, investigadora del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y segunda autora del trabajo.

A este hallazgo se le suma un valor adicional, ya que varios de los cinco planetas validados, principalmente TOI-2768b, se ubican directamente en el desierto de los Neptunos. Esta región se caracteriza por la escasez de planetas del tamaño de Neptuno –cuatro veces el radio terrestre– lo que hace que el descubrimiento sea especialmente inusual. Diversos estudios señalan que en esta área ocurren fenómenos físicos que la “vacían” de planetas de estas características, como la pérdida de masa atmosférica debido a la irradiación de alta energía

de su estrella, proceso conocido como fotoevaporación.

“El descubrimiento de planetas en el desierto de los Neptunos es crucial para el avance en el estudio de exoplanetas, pues investigar el estado de sus atmósferas podría arrojar luz sobre los fenómenos que afectan a estos planetas y explicar su escasez en dicha región”, apunta Peláez.

### NUEVA DEFINICIÓN EMPÍRICA DE SUS LÍMITES

A lo largo de los años, los hallazgos planetarios han evidenciado que el desierto de los Neptunos, un concepto propuesto en 2016 que incluía planetas con periodos orbitales de entre uno y cuatro días y radios de entre dos y seis veces el de la Tierra, no coincide con la distribución actual de exoplanetas.

Con esta premisa, el estudio ahora publicado propone una nueva definición del desierto de los Neptunos, que abarca únicamente planetas de entre dos y diez veces el tamaño de la Tierra, y que, además, deben orbitar muy cerca de su estrella: si tienen un tamaño pequeño dentro de este rango, completan una órbita en un solo día; si son más grandes, les toma alrededor de tres días.

Este trabajo no cuenta con una muestra lo suficientemente representativa de planetas validados –cerca o dentro del desierto de los Neptunos– como para ofrecer datos estadísticos concluyentes. “Aun así, los planetas descubiertos abren la puerta a futuros estudios sobre su masa, densidad y caracterización atmosférica, lo que podría proporcionar información clave para entender la naturaleza física de esta región del espacio”, concluye Alberto Peláez.

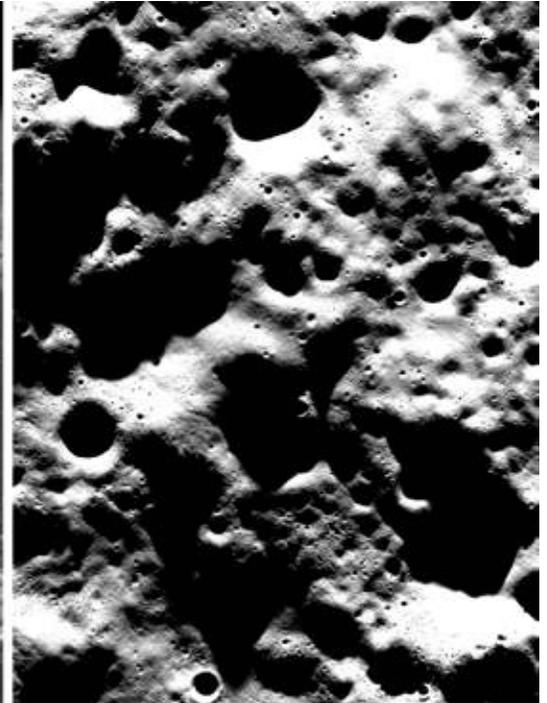
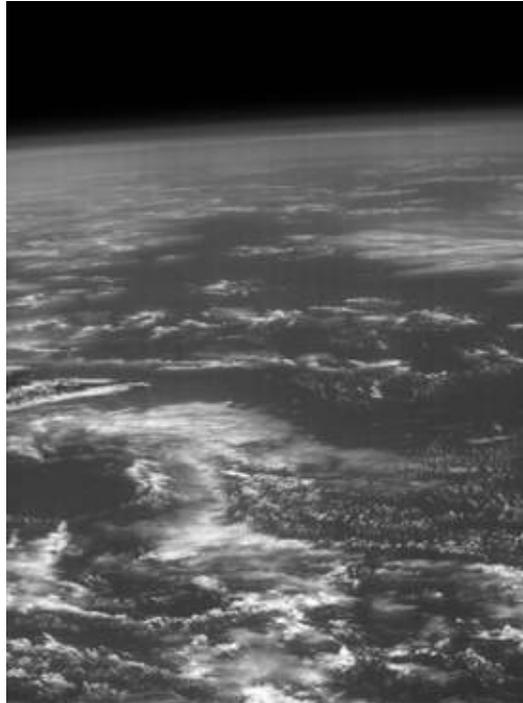


## JANUS, la cámara óptica de la sonda JUICE de la ESA, captura impresionantes imágenes durante su primer sobrevuelo lunar y terrestre

**GRACIAS AL SOBREVUELO SE HA PODIDO EVALUAR EL RENDIMIENTO Y LA FUNCIONALIDAD DEL INSTRUMENTO, EN CUYO DISEÑO HA PARTICIPADO EL IAA-CSIC**

JANUS, la cámara óptica de la sonda JUICE de la ESA, capturó impresionantes imágenes de la Tierra y la Luna durante su primer sobrevuelo lunar y terrestre. Esta maniobra de alto riesgo, completada con éxito entre el 19 y 20 de agosto, permitió a JUICE alterar su velocidad y dirección para un sobrevuelo cercano a Venus en agosto de 2025.

Este paso crítico es parte del viaje de JUICE a través del Sistema Solar interior hacia su destino final: las lunas de Júpiter.



*La Tierra y la Luna captadas por la cámara óptica JANUS a bordo de JUICE. Crédito: equipo JANUS (INAF, ASI, DLR, IAA-CSIC, Open University, CISAS-Universidad de Padua, y otros socios internacionales)*

### PONIENDO A PUNTO LA CÁMARA JANUS

La cámara JANUS (*Jovis, Amorum ac Natorum Undique Scrutator*) está diseñada para estudiar la morfología de las lunas heladas de Júpiter, sus procesos globales, regionales y locales, así como cartografiar la superficie de las nubes del gigante gaseoso.

El instrumento fue desarrollado por un consorcio industrial liderado por Leonardo SpA, bajo la supervisión de la Agencia Espacial Italiana (ASI) y en colaboración con el Instituto Nacional de Astrofísica (INAF), que tiene la responsabilidad científica del instrumento, el Centro Aeroespacial Alemán (DLR), la CEI-Open University en Milton Keynes (Reino Unido), y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

El propósito principal de los datos recopilados por JANUS durante el doble sobrevuelo fue evaluar el rendimiento y la funcionalidad del instrumento, no realizar mediciones científicas.

JANUS adquirió imágenes en diferentes intervalos de tiempo, con varios filtros, numerosos factores de compresión y tiempos de integración. Como parte de estas pruebas, se deterioraron intencionadamente la calidad de los datos utilizando tiempos de integración largos, obteniendo imágenes "borrosas" y así probar la fortaleza de los algoritmos de recuperación de resolución. En otros casos, se saturaron parcialmente las imágenes para estudiar los efectos inducidos en las áreas no saturadas.

### PREPARADA PARA OBSERVAR LA ATMÓSFERA DE JÚPITER

Al igual que en el caso de la Luna, observar las superficies de las lunas heladas de Júpiter no se ve obstaculizado por una atmósfera. Por el contrario, Júpiter sí presenta una atmósfera masiva, dinámica y turbulenta. Las imágenes de la Tierra tomadas por JANUS, a través de diferentes filtros, sirven de test para las futuras observaciones de la atmósfera joviana.

Simplemente cambiando el filtro, se podrán observar varias capas y componentes de la atmósfera de Júpiter. Esta capacidad permitirá estudiar la compleja dinámica atmosférica del planeta de una manera que no es posible con imágenes de una sola banda.

### TRECE FILTROS

El instrumento cuenta con 13 filtros distribuidos en el rango espectral desde visible hasta el infrarrojo cercano (0.34 - 1.08 micrones). Tener imágenes de la misma área en diferentes filtros permite obtener mucho más que simples imágenes "a color": las cámaras cotidianas adquieren imágenes con tres filtros diferentes (rojo, verde y azul o RGB) dispuestos en un patrón de tablero de ajedrez en el mismo sensor, mientras que JANUS posiciona 13 filtros frente al detector, cubriendo un rango más amplio de lo que es perceptible por el ojo humano.

JANUS permitirá capturar imágenes multiespectrales de las lunas heladas de Júpiter con una resolución y cobertura 50 veces mayor que las cámaras anteriores enviadas al sistema de Júpiter. La cámara está equipada con una computadora a bordo que gestiona todas las funciones del instrumento, procesa comandos y envía telemetría y datos de vuelta a la Tierra a través de la gran antena parabólica de JUICE. Esta avanzada capacidad mejorará significativamente la comprensión de estos cuerpos celestes distantes.



*La cámara JANUS, que fue desarrollada por un equipo internacional compuesto por institutos e investigadores de Italia, Alemania, España, Gran Bretaña, Francia, EE.UU., Japón e Israel, demostrando el poder de la colaboración global en el avance de la exploración espacial. Crédito: Leonardo, DLR, IAA*

# ACTUALIDAD

## Desvelado el origen de la emisión persistente en las enigmáticas Ráfagas Rápidas de Radio

UN NUEVO ESTUDIO INTERNACIONAL EN EL QUE PARTICIPA EL IAA-CSIC IDENTIFICA UNA BURBUJA DE PLASMA COMO EL ORIGEN DE LA EMISIÓN PERSISTENTE OBSERVADA EN ALGUNAS RÁFAGAS RÁPIDAS DE RADIO (FRBs)



Representación artística de un magnetar rodeado por la nebulosa responsable de la emisión radio asociada a algunas ráfagas rápidas de radio (FRB). Crédito: US NSF/AUI/NSF NRAO S. Dagnello

Las ráfagas rápidas de radio (FRBs, por sus siglas en inglés) son uno de los eventos cósmicos más poderosos y enigmáticos del universo. Descubiertas hace poco más de una década, estas ráfagas liberan en milisegundos una cantidad inmensa de energía, lo que las convierte en uno de los tipos de fenómenos más energéticos observados hasta la fecha. Sin embargo, los procesos físicos que las originan aún son desconocidos y representan una de las preguntas abiertas más fascinantes actualmente en la astrofísica moderna. En algunos casos, el breve destello de una FRB se acompaña de una emisión persistente de radio más débil. Un equipo internacional, liderado por el Instituto Nacional de Astrofísica de Italia (INAF) y con la participación del IAA-CSIC, ha demostrado que esta radiación persistente se origina en una burbuja de plasma, proporcionando nueva información sobre la naturaleza de estos misteriosos fenómenos cósmicos. Los resultados de este estudio se han publicado en la revista *Nature*.

Este nuevo estudio, en el que también ha participado un equipo internacional de institutos de investigación y universidades de Italia, China, Estados Unidos, España y Alemania, ha registrado la emisión de radio persistente más débil detectada hasta ahora para una FRB. Se trata de FRB20201124A, una ráfaga rápida de radio cuya fuente está ubicada en una galaxia a unos 1.300 millones de años luz de distancia de la Tierra.

Las observaciones se realizaron con uno de los radiotelescopios más sensibles del mundo, el Very Large Array (VLA) en los Estados Unidos. Los datos permitieron a los científicos verificar la predicción teórica de que una burbuja de plasma está en el origen de la emisión de radio persistente de las ráfagas rápidas de radio. “Fuimos capaces de demostrar a través de observaciones que la emisión persistente observada en algunas ráfagas rápidas de radio se comporta como se espera del modelo de emisión nebular, es decir, una ‘burbuja’ de gas ionizado que rodea el motor central que genera el FRB”, explica Gabriele Bruni, investigador del INAF en Roma y autor principal del nuevo artículo. “En particular, a través de observaciones de radio de FRB20201124A, una de las ráfagas que se ha producido más cerca de la Tierra, pudimos medir la débil emisión persistente proveniente del mismo lugar que la FRB, ampliando el rango de flujo de radio explorado hasta ahora para estos objetos en dos órdenes de magnitud”.

### UNA RÁFAGA RECURRENTE

Se da la peculiaridad que FRB 20201124A es un evento recurrente, algo poco común, ya que solo alrededor del 10% de las aproximadamente 800 FRBs conocidas repiten. Fue detectado por primera vez el 24 de noviembre de 2020, y en marzo de 2021 se registraron nuevamente ráfagas rápidas de radio provenientes de la misma región del cielo.

“Gracias a este hecho y empleando interferometría de línea de muy larga base, ha sido posible determinar su posición dentro de la galaxia anfitriona con una incertidumbre de unos pocos milisegundos de arco”, explica Ángela Gardini, investigadora del IAA-CSIC y una de las coautoras del trabajo. “Su localización precisa y su cercanía, relativamente pequeña con respecto a otros FRB, lo convirtieron en un objetivo ideal para estudiar las condiciones físicas de su entorno”.

### OBSERVACIONES CON EL INSTRUMENTO MEGARA

En un trabajo previo, los investigadores habían identificado la emisión persistente en la galaxia anfitriona de esta FRB, pero no habían podido medir la posición de la ráfaga con la precisión suficiente para asociar ambos fenómenos. “En este nuevo trabajo, llevamos a cabo una campaña a una resolución espacial que sí ha sido crucial para separar la fuente compacta de la débil emisión difusa”, explica Luigi Piro, investigador del INAF y miembro del equipo autor del artículo.

La campaña se complementó con observaciones en diferentes bandas con el interferómetro NOEMA y el instrumento MEGARA, situado en el Gran Telescopio Canarias (GRANTECAN), que resultaron determinantes. “Las observaciones obtenidas gracias al instrumento MEGARA alcanzaron una resolución comparable a la resolución radio del VLA, lo que permitió observar el entorno del FRB con un detalle nunca conseguido anteriormente y descubrir la presencia de una fuente de radio compacta – la burbuja de plasma de la FRB – se halla inmersa en una región de formación estelar”.

“El hecho de haber podido cartografiar la emisión de hidrógeno ionizado (trazador de formación estelar) con MEGARA hasta un nivel de gran detalle nos permitió calcular la tasa de formación estelar alrededor del FRB”, indica Angela Gardini. “El valor que obtuvimos resultó ser demasiado bajo para justificar la emisión de radio persistente observada que, por tanto, debía haber sido generada por una fuente compacta asociada al FRB y no por la formación estelar”, matiza.

### EL MOTOR DE LA RÁFAGA

Esta investigación también ayuda a precisar la naturaleza del motor que alimenta estas misteriosas ráfagas. Según los nuevos datos, el fenómeno se basa en un magnetar (una estrella de neutrones fuertemente magnetizada) o en un sistema binario de rayos X de alta acreción, es decir, un sistema binario que consiste en una estrella de neutrones o un agujero negro que acreta material de una estrella compañera a tasas muy intensas. De hecho, los vientos producidos por el magnetar o el sistema binario de rayos X serían capaces de “soplar” la burbuja de plasma, dando lugar a la emisión de radio persistente. Por lo tanto, existe una relación física directa entre el motor de las FRBs y dicha burbuja, que se encontraría en su proximidad inmediata.

“Entender la naturaleza de la emisión persistente asociada a FRB20201124A permite añadir una pieza al rompecabezas sobre la naturaleza de estas misteriosas fuentes cósmicas”, concluye el primer autor del trabajo.

# ACTUALIDAD

## La misión DART de la NASA capta con alta resolución el sistema binario de asteroides Dídimo

**EL ESTUDIO, QUE ANALIZA LA GEOLOGÍA Y ORIGEN DE ESTE SISTEMA BINARIO DE ASTEROIDES CERCAÑO A LA TIERRA, CONCLUYE QUE LA SUPERFICIE DE DÍDIMO ES ENTRE 40 Y 130 VECES MÁS ANTIGUA QUE SU SATÉLITE DIMORFO**

Imagen del sistema binario Dídimo obtenida por la cámara DRACO a bordo de la sonda DART: Dídimo, a la izquierda, y Dimorfo, a la derecha. Créditos: NASA

Un equipo internacional de astrónomos, en el que participan el Instituto de Ciencias del Espacio (ICE-CSIC) y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ambos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y el Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña (IEEC), presenta las primeras imágenes con alta resolución de Dídimo, un sistema binario de asteroides cercano a la Tierra. Las imágenes obtenidas con las sondas DART y LICIACube han permitido a los astrónomos inferir información clave sobre la geología y la evolución del sistema de asteroides. El estudio con participación del CSIC, organismo dependiente del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU), se ha publicado en cinco artículos en un número dedicado a este tema en *Nature Communications*.

Las observaciones de asteroides cercanos a la Tierra (NEA, por sus siglas en inglés) han demostrado que gran parte de ellos existen como sistemas binarios. Los astrónomos y astrónomas han planteado la teoría de que estos sistemas binarios se forman cuando aumenta la velocidad de rotación de un único asteroide tipo rubble pile o pila de escombros. Este expulsa restos, que a su vez acaban formando un nuevo compañero. Dicho proceso depende de las propiedades geofísicas del asteroide. Por tanto, estudiar la forma y la morfología de la superficie de los asteroides es clave para interpretar su evolución.

Gracias a las observaciones de proximidad del sistema Dídimo -recogidas por la misión DART de la NASA cuando colisionó con el sistema de asteroides el 27 de septiembre de 2022, así como las imágenes recogidas por el LICIACube Unit Key Explorer (LUKE) de la Agencia Espacial Italiana (ASI) justo después del impacto-, el equipo ha tenido una oportunidad única de observar de cerca a nivel geológico un sistema binario NEA a partir del cual podemos inferir sus propiedades geofísicas y ampliar nuestra comprensión sobre su formación.

“A través de este análisis, hemos podido inferir sus propiedades geofísicas y ampliar nuestra comprensión sobre la naturaleza física de estos asteroides”, explica Juan Luis Rizos, investigador del IAA-CSIC y miembro del Proximity Imaging Working Group de la misión DART, cuyo papel principal ha sido el análisis y modelado fotométrico de las imágenes capturadas por la cámara DRACO de la sonda.

Por su parte, el investigador del ICE-CSIC y del IEEC, Josep M. Trigo-Rodríguez ha participado en el análisis de las imágenes de mayor resolución obtenidas por la cámara DRACO a bordo de la nave DART. La especialización del equipo del ICE-CSIC en meteoritos condriticos que forman estos asteroides ha permitido mejorar la interpretación de los procesos que ocurrieron en ellos.

### ESTUDIO DEL ORIGEN GEOLÓGICO Y EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DÍDIMO

Estas imágenes revelan que Dídimo es aplanado y presenta indicios de ondulación a lo largo de su perímetro ecuatorial. Sus regiones polares son rugosas y contienen grandes rocas y cráteres, mientras que cerca de su ecuador la superficie de Dídimo es lisa, con pocas rocas grandes y cráteres. Dimorfo, por su parte, tiene una superficie cubierta de rocas, grietas y algunos cráteres. Las superficies de ambos asteroides incluyen grandes bloques que sugieren que ambos son de tipo pila de escombros.

El astrofísico Josep M. Trigo afirma: “Estudiando las imágenes de alta resolución proporcionadas por la cámara de DART identificamos la complejidad de la superficie de Dimorfo. Su superficie está cubierta por una infinidad de rocas puntiagudas y fragmentadas por su exposición al espacio, también sujeta a largas grietas y lineamientos que indican la deformación impuesta por la acción gravitatoria de su masivo compañero. Estos procesos están enterrando cráteres de impacto y están cambiando la estructura de Dimorfo”.

El estudio revela también que estos asteroides potencialmente peligrosos comparten una naturaleza “sorprendentemente frágil”, exhibiendo cohesiones superficiales de menos de 1 pascal y una cohesión interior de alrededor de 10 pascales. “Es un resultado sorprendente y desafiante, que ejemplifica la complejidad de explorar estos cuerpos”, señala el investigador del ICE-CSIC. “Podemos ejemplificar tales valores pensando en los esperados para una pila gigante de rocas afiladas recogidas en los Pirineos. Llevarlas todas al espacio en una gran caja, y luego quitarla. Exacto: obtendrás una pila de piedras enorme y desmenuzable. No muy diferente a un castillo volador de arena mojada”, añade.

Observar los cráteres de la superficie de un asteroide puede revelar su edad y su historia. A medida que viajan por el espacio, los asteroides chocan con otros asteroides. Las colisiones pequeñas producen cráteres en la superficie, mientras que una colisión más grande puede romperlo en pedazos. Cuando un asteroide se rompe, queda al descubierto una superficie nueva.

Las observaciones identificaron 16 y 22 cráteres plausibles en Dídimo y Dimorfo, respectivamente. En el caso de Dídimo, la mayoría de los cráteres se encuentran en latitudes más altas y los más grandes tienen más de 160 metros de diámetro y se asemejan a amplias depresiones circulares que se encuentran en otros asteroides. Dídimo y Dimorfo son cuerpos esculpidos por grandes impactos, muy fracturados.

Los análisis de la resistencia de la superficie y del número de cráteres permitieron al equipo concluir que la superficie de Dídimo es entre 40 y 130 veces más antigua que su satélite Dimorfo, con edades superficiales absolutas probables de alrededor de 12,5 millones de años para Dídimo y 300.000 años para Dimorfo.

“Pensamos que Dimorfo se originó a partir de Dídimo debido a un aumento en su rotación causado por la interacción con la radiación solar”, explica Rizos. “La baja cohesión de los materiales permitió que el objeto se deformara a medida que su rotación se aceleraba, hasta que, al alcanzar cierta velocidad, parte del material del cuerpo progenitor se desgajó y formó la luna Dimorfo. Este fenómeno se conoce como fisión rotacional”, concluye el investigador.

Una implicación interesante del estudio es que la edad superficial estimada inferida para Dídimo es sustancialmente más joven que la edad determinada para su familia de asteroides más plausible, la familia de asteroides Baptistina, que tiene un rango de edad estimado diez veces mayor y una cohesión superficial mucho mayor. Más bien, Dídimo puede representar la última de múltiples generaciones de asteroides que se derivan del progenitor original.

Según Josep M. Trigo, “a pesar de ser asteroides que atraviesan la región cercana a la Tierra, sus superficies fueron esculpidas por impactos colosales. De hecho, nuestros modelos indican que el ritmo de formación de cráteres que experimentaron ambos objetos es el esperado para cuerpos que pasan la mayor parte de su vida en el cinturón principal de asteroides situado entre Marte y Júpiter”.

### MIRANDO HACIA EL FUTURO

Estas observaciones son cruciales para comprender la naturaleza de los asteroides potencialmente peligrosos. La misión DART ha demostrado la capacidad de desviar asteroides, y el hecho de que la mayoría de ellos estén muy fracturados es, según señalan los investigadores, una excelente noticia para la defensa planetaria y permite que las misiones de impacto cinético sean realmente eficientes a la hora de desviarlos.

Además, la próxima misión Hera de la ESA, en la que también participa el CSIC a través del ICE-CSIC y el IAA-CSIC, que se lanzó el 7 de octubre de 2024, realizará una exploración de seis meses del sistema binario Dídimo y Dimorfo en 2026. La mayor duración de la misión en comparación con DART proporcionará datos para una mejor comprensión del origen y la evolución del fascinante sistema Dídimo.

# Fast Radio Bursts (FRBs)

## PILARES

Los Fast Radio Bursts (FRBs) son ráfagas (*bursts*) de radiación de radio (*radio*) rápidas (*fast*) de una duración entre nano y mili-segundos. Típicamente se encuentran a distancias cosmológicas (en otras galaxias lejanas) y pueden repetirse o no en el tiempo, algunas veces con periodicidad. Todavía seguimos sin saber quienes son sus progenitores, aunque hace pocos años existían más posibles explicaciones que el propio número de FRBs conocidos. De hecho, si se pudiera observar todo el cielo, se podrían detectar unos 1.000 FRBs cada día.

Pero bueno, vamos por pasos...

La búsqueda de los FRBs empezó en el 2007, ni siquiera hace 20 años. Por aquel entonces, se estaba revisando un catálogo de observaciones de púlsares realizadas con el radiotelescopio de Parkes, ya que se habían identificado algunas fuentes con características inusuales. Y como suele ocurrir en ciencia... ¡BUM! Detectaron una señal completamente inesperada.

Así fue, simplemente mirando la gráfica del *burst* (fig. 1), Lorimer y sus colaboradores se dieron cuenta de inmediato de algunas características que hacían esa señal algo muy especial:

- 1) El pulso de radio era muy potente, unas diez mil veces mayor que lo esperado para un púlsar.
- 2) El retraso temporal en la llegada de la señal a las frecuencias más bajas respecto a las más altas era mucho más grande de lo que se esperaba para una fuente galáctica con las mismas coordenadas. Todo apuntaba a que la fuente era extragaláctica.
- 3) No se encontró ninguna repetición de ese pulso en el catálogo.

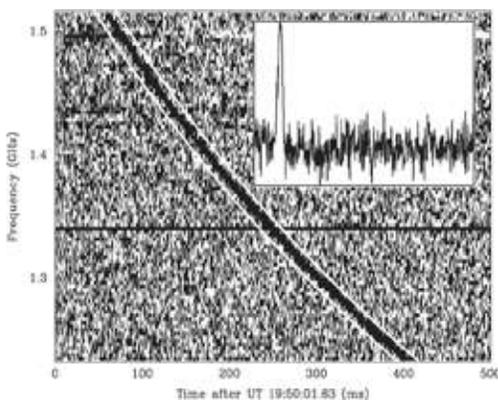


Figura 1. Gráfica del Lorimer Burst

Crédito: Lorimer et al., Science, 2007

Hay que aclarar que dadas dos frecuencias, el retraso temporal en la llegada de la señal a la frecuencia más baja respecto a la más alta es proporcional a un valor que se identifica como medida de dispersión (es decir, la densidad de columna integrada de electrones libres entre la fuente y el telescopio). Esto nos dice que, en general, cuanto más alta es la medida de dispersión, más recorrido ha tenido que hacer el *burst* antes de llegar al telescopio.

Llegados a ese punto, Lorimer y sus colaboradores, por una parte muy felices y emocionados por posiblemente haber encontrado la señal de una

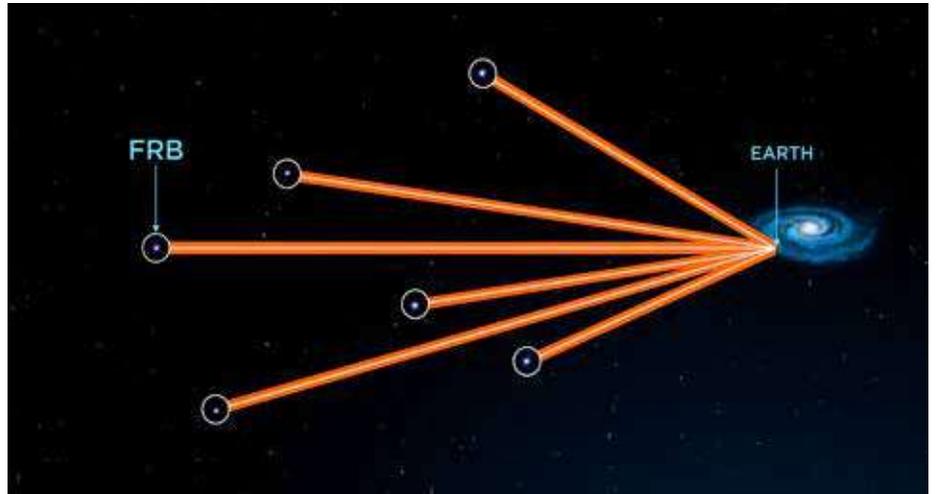


Figura 2. Como señaló el periodista, Joe Palca: "del mismo modo que utilizamos varillas para medir el contenido de aceite de nuestros coches, los astrónomos pueden utilizar los FRBs como «varillas intergalácticas» para medir los electrones del universo". Crédito: International Centre for Radio Astronomy Research (ICRAR)

fuente desconocida y, por otra parte, con las dudas que acompañan cuando encuentras algo inesperado, empezaron a preguntarse ¿es una señal celestial de verdad o es una interferencia terrestre? ¿podemos encontrar más de estos tipos de pulsos en otros catálogos de Parkes o en los catálogos de otros radio telescopios? y ¿qué fuente podría haber generado este burst? o ¿emite solo en radio o también en otras longitudes de ondas?

Los nueve años posteriores sirvieron para contestar a algunas de estas preguntas, como, por ejemplo...

### ¿QUÉ FUENTE PODRÍA HABER GENERADO ESTO?

La verdad es que... ¡depende!

Si los progenitores generan un único *burst*, como parecía ser el caso, entonces podemos decir que estos son fuentes que han sufrido un evento catastrófico, como, por ejemplo, puede ser la fusión de dos estrellas de neutrones con la sucesiva emisión de radiación.

¿Y si generan más *bursts*? En ese caso, el progenitor podría haber sido un magnetar, es decir, una estrella de neutrones joven extremadamente densa y con un campo magnético muy fuerte pero a la vez muy inestable. Esta inestabilidad hace que, de vez en cuando, se generen "estrellamotos" (terremotos estelares) que provocan la ruptura de la superficie de la estrella, causando *bursts* gigantes y muy potentes que emiten prevalentemente en rayos X y gamma. De hecho, los magnetares no suelen emitir *bursts* muy intensos en radio.

### PERO... ¿REPITEN O NO REPITEN?

El *burst* de Lorimer y los siguientes FRBs que se descubrieron hasta el 2016 fueron monitoreados durante mucho tiempo tanto con el radiotelescopio de Parkes como con otros, esperando observar algunas repeticiones. Pero, aparentemente, no se detectó ninguna repetición hasta que el radiotelescopio de Arecibo descubrió en sus catálogos su primer FRB y durante un año consiguió detectar hasta diez repeticiones.

De esta manera no solo se pudo confirmar la existencia de los FRBs con un telescopio distinto al de Parkes, también se descubrió el primer FRB que repite. Durante un par de años este FRB fue el único *burst* recurrente, hasta que, en el 2018, entró en funcionamiento el radiotelescopio canadiense CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment*). Un año después, en 2019, se publicó el primer catálogo de ráfagas rápidas de radio detectadas por CHIME, que confirmó la existencia tanto de eventos aparentemente no repetitivos como de fuentes repetidoras.

## ¿PERO, PORQUÉ NOS INTERESAN TANTO LOS FRBs?

Uno de los aspectos asombrosos de los FRBs es que pueden actuar como sondas de la materia bariónica en el universo. Todo lo que necesitamos es una muestra de FRBs, con su medida de dispersión y su desplazamiento al rojo bien determinado. A partir de ahí, es posible contar el número de electrones a lo largo de diferentes líneas de visión en el universo y, finalmente, medir la densidad de electrones de forma directa (fig. 2).

Este ejercicio, aunque conceptualmente sencillo, resulta ser bastante complejo. El primer equipo que lo llevó a cabo estuvo dirigido por J.P. Macquart, empleando para ello una muestra de FRBs obtenida con sumo cuidado con el radiotelescopio ASKAP (*Australian Square Kilometer Array Pathfinder*) (Macquart et al. 2020). Este proyecto requirió coordinación para obtener tanto las medidas de dispersión en radio como los desplazamientos al rojo de las galaxias anfitrionas en el rango óptico. El resultado, que se muestra en la figura 3, se conoce como la relación de Macquart. Además, la dispersión en torno a la relación de Macquart contiene información sobre la turbulencia del gas interestelar alrededor de los cúmulos de galaxias. En los próximos años se prevé un aumento significativo de la muestra de FRBs que tengan medidos los desplazamientos al rojo, habiendo conseguido hasta el día de hoy (noviembre de 2024), asociar alrededor de 100 FRBs con sus galaxias anfitrionas.

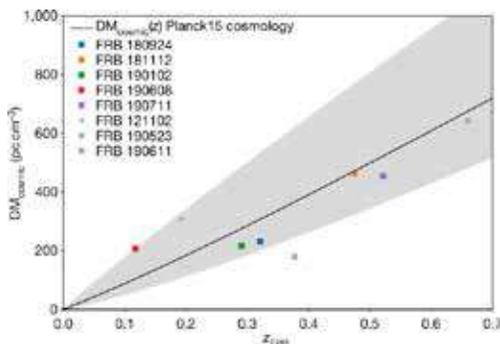


Figura 3. Relación de Macquart  
Crédito: Macquart et al., Nature, 2020.

Además parece que, estadísticamente, no hay diferencias significativas entre las galaxias anfitrionas que albergan los FRBs que repiten y las que albergan FRBs que no repiten. En general, los FRBs se encuentran en galaxias donde por lo menos hay cantidades moderadas de formación estelar, mientras que no suelen encontrarse en galaxias donde la formación estelar ha cesado (Bhandari et al. 2022).

## ¿PUEDE SER QUE FINALMENTE TODOS REPITAN?

Uno de los grandes debates actuales en la comunidad que estudia los FRBs es si todos los FRBs son repetidores. Para contestar a esta pregunta, gracias a la publicación del primer catálogo de más de 500 FRBs detectados por CHIME, se ha podido hacer un estudio estadístico del aspecto morfológico de los FRBs que aparentemente no repiten frente a los que repiten, y las gráficas parecen ser bastante diferentes, como se puede ver en la figura 4.

Los que no repiten tienden a ocupar toda la banda observable y a emitir pulsos temporalmente más estrechos en comparación a los que repiten, que suelen ocupar solo una fracción de la banda observable, y, en promedio, sus pulsos son temporalmente más anchos con una

emisión del tipo “sonido de un trombón triste ua-ua-ua” (Pleunis et al. 2021). A día de hoy los esfuerzos por unificar esta dicotomía siguen suponiendo un reto.

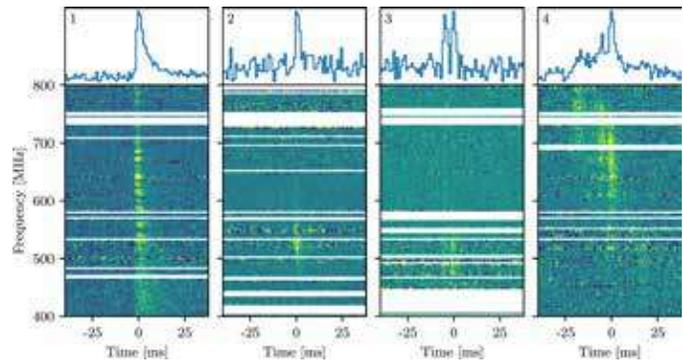


Figura 4. Cuatro arquetipos observados de morfología de las ráfagas (1. banda ancha simple, 2. banda estrecha simple, 3. temporalmente compleja y 4. deriva descendente). Crédito: Pleunis et al., Astrophys, 2021

## ¿Y ESTOS BURSTS RÁPIDOS SE HAN DETECTADO SOLO EN LONGITUDES DE ONDAS DE RADIO? ¿O TAMBIÉN EN OTRAS LONGITUDES DE ONDA? ¿TENEMOS BURSTS RÁPIDOS TAMBIÉN EN RAYOS X O EN ÓPTICO?

Hay que destacar que el 28 de abril de 2020 hubo una detección simultánea de un pulso radio increíblemente brillante de tipo FRB con un estallido en X procedente de un magnetar galáctico. Este pulso radio fue detectado por el radiotelescopio CHIME (CHIME/FRB Collaboration et al. 2020b) y también por el experimento STARE2 (Bochenek et al. 2020), y rápidamente localizado por el satélite de rayos gamma INTEGRAL (Mereghetti et al. 2020) como el magnetar SGR 1935+2154, que se sabía que se encontraba en ese momento en un período de mayor actividad.

Otra manera para posiblemente detectar emisión a otras frecuencias que no sean de radio es monitorear entre los FRBs que repiten los repetidores muy activos o también los pocos que tienen repeticiones periódicas. Normalmente, para este tipo de FRBs se suelen organizar campañas observacionales multifrecuencia usando simultáneamente radiotelescopios, radio-interferómetros, instrumentos ópticos que puedan hacer fotometría rápida - o sea, con muy alta cadencia de adquisición - y satélites que miden en banda X y gamma. De hecho, estamos buscando posibles contrapartidas ópticas o en banda X y gamma asociadas a pulsos rápidos en radio. Encontrar pulsos rápidos también a otras frecuencias nos ayudaría a entender mejor los mecanismos de emisiones de las fuentes que generan los *bursts*.

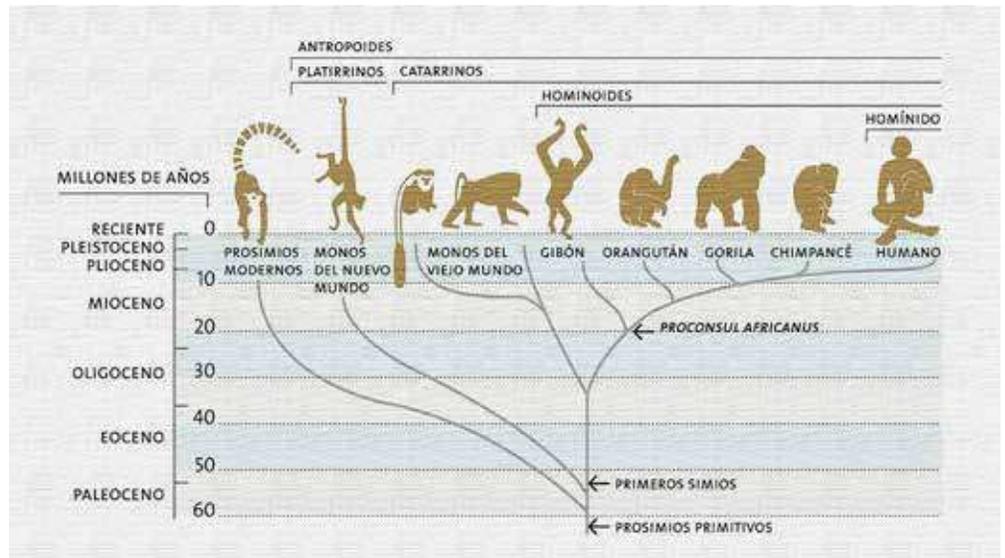
Y, por último, quiero terminar con la localización del repetidor FRB 20200120E en un ambiente totalmente inesperado: el cúmulo globular asociado a la galaxia cercana M81 (Bhardwaj et al. 2021; Kirsten et al. 2022). De hecho, los cúmulos globulares se encuentran entre las poblaciones estelares más antiguas y son regiones en las que no se esperan estrellas de neutrones jóvenes, como, por ejemplo, los magnetares, debido a la falta de una actividad reciente de formación estelar. ¿Y ahora qué? Según Kremer y colaboradores (2023), estas fuentes se podrían haber formado en estos entornos a través de la fusión de un sistema binario de enanas blancas. Este descubrimiento podría explicar también por qué el sistema de cúmulos globulares de nuestra propia galaxia alberga unas cuantas estrellas de neutrones jóvenes que, de hecho, son muy difíciles de conciliar con poblaciones más antiguas como la de los púlsares de mili-segundos que normalmente se observan en los cúmulos globulares. De cara al futuro ya se han organizado nuevas observaciones para buscar FRBs en los cúmulos globulares, por ejemplo, en galaxias alrededor de la nuestra.

## Evolución biológica y evolución cultural del género *Homo*

POR SEBASTIANO DE FRANCISCIS (IAA-CSIC)

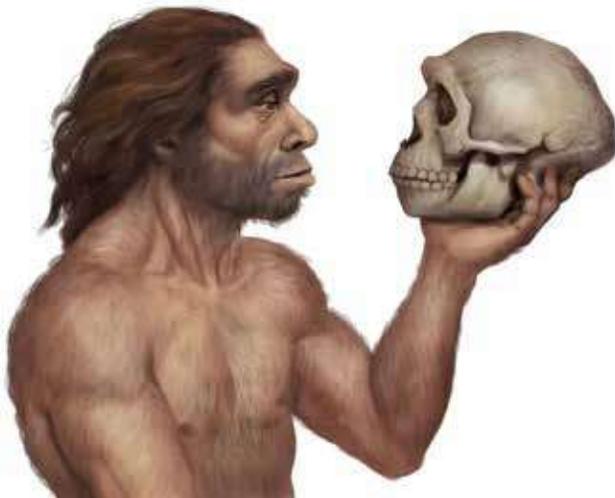
El camino de nuestra evolución es un entramado de biología y cultura, en el cual ambas dimensiones se moldean mutuamente. En el género *Homo*, la cultura, definida como la elaboración y transmisión de conceptos, técnicas y creencias, ha interactuado de múltiples maneras con su esencia biológica. Más recientemente, estas dinámicas entre evolución biológica y evolución cultural se han estudiado cómo procesos de coevolución, evolución integrada o procesos convergentes.

La más importante modificación biológica de la especie *Homo* es el crecimiento del encéfalo y, en lo que respecta a las culturales, podemos mencionar, en orden de aparición, la tecnología lítica de tallo de piedras, el fuego, el lenguaje, el uso de los símbolos y los rituales de enterrar a los muertos. Definitivamente, estamos desarrollando una cultura de las más únicas y peculiares en el reino animal.



¿Pero cómo llegamos a tener un encéfalo tan grande y este gran nivel de sofisticación cultural? En este artículo exploramos cómo la coevolución biológica y cultural ha desarrollado tres características fundamentales del *Homo*: la cultura acumulativa, el pulgar oponible y el lenguaje.

### LA CULTURA ACUMULATIVA Y EL PODER DE LA IMITACIÓN



Mediante la cultura acumulativa, los individuos copian y aprenden comportamientos cada vez más complejos los unos de los otros, debido a la acumulación de modificaciones e innovaciones intencionadas (o no, por error). Para copiar y aprender de los otros utilizamos habilidades como la imitación o la enseñanza oral en la infancia. Estas capacidades son extremadamente raras en otras especies de primates, y es probable que sean un requisito previo para la aparición de la cultura acumulativa.

Para explorar los orígenes de esta, los primatólogos han realizado estudios con grandes simios, como modelos conductuales y cognitivos de los primeros humanos. Algunos experimentos mostraron que los orangutanes podían aprender, individualmente y sin imitar demostraciones, varios pasos para fabricar y usar herramientas de piedra. Estos resultados sugieren que los antepasados comunes de los orangutanes y los humanos, que vivieron hace aproximadamente 12 millones de años, eran capaces de desarrollar estos comportamientos de forma individual. Curiosamente, los chimpancés, cuyo último ancestro común con los humanos vivió hace unos 8 millones de años, no mostraron la capacidad de aprender de manera individual. En última instancia, ninguno de los simios analizados logró fabricar intencionadamente una herramienta de piedra afilada para su uso posterior. Esto proporciona evidencia de que la habilidad cognitiva de la imitación, necesaria para tales comportamientos, probablemente se desarrolló más tarde en el linaje *Homo*, hace unos 6 millones de años, tras la divergencia con el género *Pan*. De hecho, es muy probable que la cultura acumulativa y los mecanismos de la imitación evolucionaran hace menos de 2.6 millones de años, que es la edad de los más antiguos artefactos de piedra conocidos.

Pero, ojo, con solo imitar y aprender de los demás, no habríamos desarrollado tanta tecnología en los últimos dos millones de años, si no fuera por la evolución de un pequeño gran detalle anatómico: el pulgar oponible.

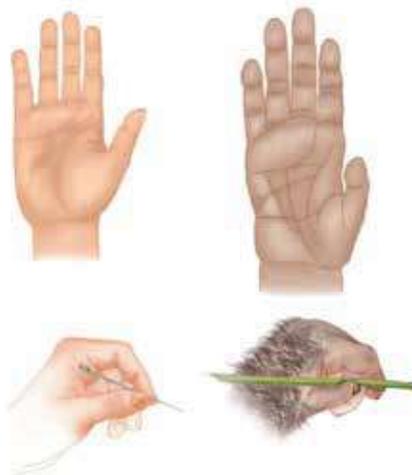
## EL PULGAR OPONIBLE: CADA VEZ MÁS HABILIS

Durante el Paleolítico Inferior, que comenzó hace 2.6 millones de años, la talla de piedra y madera fue una de las características distintivas del *Homo habilis*, uno de los primeros miembros de nuestro género. Este fue el único primate capaz de elaborar herramientas de forma sistemática y en una gran variedad, basándose exclusivamente en un modelo mental. *Homo habilis* empezó a ocupar los ambientes más diversos y acceder a nuevos recursos alimenticios, a vestimentas y a nuevas herramientas cada vez más desarrolladas. En esta época la necesidad de fabricar instrumentos usando técnicas heredadas a nivel comunitario, mediante el desarrollo de la comunicación y de la cultura, trazó el camino para la evolución biológica de un trato anatómico esencial tanto para el *Homo habilis* como para el *Homo sapiens* actual: el pulgar oponible.

En 2021, un grupo de paleoantropólogos de la Universidad de Tübingen realizó un estudio biomecánico para comparar la funcionalidad de los pulgares en restos de individuos del género *Homo* de hace dos millones de años, hallados en Sudáfrica, con los de un amplio abanico de especies pertenecientes a su nivel taxonómico superior: la familia *Hominidae*. Este análisis incluyó desde los *Australopithecus* (de 3.9 hasta 2 millones de años atrás), hasta el *Homo sapiens*, el chimpancé y los humanos modernos, pasando por el *Homo naledi* (300.000 años atrás) y el *Homo neanderthalensis* (100.000 años atrás).

Sus conclusiones indicaron que todas las especies estudiadas del género *Homo* ya tenían dedos pulgares muy similares a los actuales, tanto en anatomía ósea y muscular, como en habilidad, fuerza y agarre. En cambio, en las manos de los *Australopithecus* y de los chimpancés observaron palmas y dedos muy largos, pero unos pulgares definitivamente más cortos y débiles que los nuestros. En alguna etapa evolutiva alrededor de hace dos millones de años, los cuatro dedos se encogieron y también lo hizo la palma, pero el pulgar se hizo muy grande en comparación con el de los chimpancés.

Con pulgar oponible, la mano tiene la fuerza necesaria para sujetar y usar herramientas, y además puede realizar trabajos finos y detallados. Pero luego había que explicárselo al compañero de tribu, y solo con muecas y gruñidos no era nada fácil...



## EL DESARROLLO DEL LENGUAJE: ADAPTACIONES ANATÓMICAS Y GENÉTICAS



Fotografía de la base del Cráneo 5 de la Sima de los Huesos (Miguelón) mostrando la reconstrucción informática de las cavidades de su oído izquierdo. Imagen por cortesía de Carlos Lorenzo Merino y Javier Trueba (Madrid Scientific Films)"

Para que los seres humanos puedan comunicarse verbalmente fueron necesarias varias modificaciones anatómicas, genéticas y neuronales, las cuales llevaron al desarrollo del área cerebral frontoparietal y a cambios en el tracto vocal. Al contrario de lo que se pensaba hace algunas décadas, hay pruebas que sugieren que el lenguaje es una característica común a todo el género *Homo* y no solo de la especie *Homo sapiens*.

Un estudio de 2004, realizado mediante un modelo del oído de cinco fósiles humanos procedentes de la Sima de los Huesos en Atapuerca, Burgos, proporcionó pruebas indirectas de esta hipótesis. A través del análisis de los huesos del oído medio de esos de homínidos que vivieron hace alrededor de 500.000 años, los investigadores concluyeron que estos podían captar sonidos en el rango de frecuencias en banda ancha - de 2 kHz a 5 kHz - de manera parecida a los humanos actuales. Esta banda es precisamente la que actualmente nuestra especie usa para transmitir la información en lengua hablada.

Los habitantes de la cueva de Atapuerca podrían entonces emplear un lenguaje hecho de palabras, más allá del mero lenguaje corporal o de las interjecciones típicas de los simios, los cuales ni pueden escuchar en la misma banda ancha, ni tienen habla. El último antepasado común con los humanos de Atapuerca es el *Homo Antecesor*, que se remonta a hace 1.2 millones de años. Esta podría ser la época del origen del lenguaje.

En el campo de la genética un estudio del 2007 descubrió que el *Homo neanderthalensis* y el *Homo sapiens* comparten el mismo gen FoxP2, llamado también gen del lenguaje o del habla, el cual está íntimamente relacionado con el lenguaje humano. El gen FoxP2 se expresa en diversas áreas cerebrales, tanto corticales como subcorticales, y su mutación está asociada con trastornos del lenguaje que afectan tanto la gramática como la pronunciación a nivel motor. La presencia de la misma versión sapiens de este gen en el *Homo neanderthalensis* de la cueva de El Sidrón, Asturias, indica que esta especie tenía un lenguaje fijado hace ya 400.000 años.

En conclusión, evolución, biología y cultura se fusionaron en el *Homo*: la imitación impulsó nuestra cultura acumulativa, el pulgar facilitó las herramientas y el lenguaje nos dio identidad como género.

# ¿Cómo sabemos la distancia a los confines del Universo?

Estimados lectores y lectoras:

Hoy quisiera contarles la aventura que nos ha llevado a vislumbrar la inmensidad del universo y cómo hemos hecho para medir tan extensas distancias. Como se imaginan, ha sido un trabajo titánico, que se ha conseguido a lo largo de años y gracias al trabajo de numerosos científicos y científicas. En dicha aventura yo tuve un papel importante: realicé el descubrimiento que abrió las puertas de nuestra galaxia y nos permitió darnos cuenta de que esta no era la única.

Esto sucedió a principios del 1900, cuando yo trabajaba en el Observatorio de Harvard, cuyo director era Edward Charles Pickering. Estábamos haciendo el trabajo titánico de analizar miles de estrellas y, para ello, se había contratado a un grupo de mujeres de las cuales yo formaba parte. Si quieren saber más de mi historia, pueden leer mi diario ([henrietta.iaa.es](http://henrietta.iaa.es)). Por cierto, me llamo Henrietta Swan Leavitt, por si no me conocen.

La cuestión crucial es que medir distancias en el Universo es de lo más complicado. El brillo de los astros por sí solo no nos dice nada sobre su distancia. Tengan en cuenta que una estrella muy luminosa puede estar lejos y verse igual de brillante que otra estrella más débil pero que se encuentra más cerca de la Tierra. Hasta principios del 1900 sólo habíamos podido medir distancias a las estrellas del entorno cercano del sistema solar. También habíamos observado objetos nebulosos, que luego nos dimos cuenta de que eran otras galaxias, pero en ese entonces no podíamos saber si eran o no objetos de nuestra galaxia. Es decir, hasta principios del siglo XX, nuestra Vía Láctea era todo el universo existente del cual la humanidad tenía conocimiento.

¡Cuánto ha cambiado todo desde esos tiempos! A día de hoy, ya sabemos que existen miles de millones de galaxias y que somos un puntito diminuto en la inmensidad, pero bueno, no me voy a adelantar, quiero contarles cómo llegamos a semejantes conclusiones.

Como les decía, hasta principios del 1900 se habían medido distancias a estrellas relativamente cercanas, a través del paralaje. Este es un método puramente geométrico y consiste en medir el cambio de posición de una estrella respecto del fondo de objetos al observarla desde diferentes perspectivas. Para que entiendan el método fácilmente, hagan lo siguiente:

Extiendan el brazo con el pulgar hacia arriba a la altura de la cabeza. Ahora cierran un ojo y fíjense en la posición del pulgar respecto de las cosas de su entorno. Cierren el ojo y abran el otro, y observen cómo cambia la posición del pulgar.

Pues, mientras más lejos estén los objetos de fondo, el efecto se ve mejor. Si aplicáramos cálculos geométricos, podríamos calcular la distancia a nuestro pulgar. Este es el efecto que se usa para medir distancias a estrellas cuando la Tierra está en diferentes posiciones de su órbita respecto del Sol.

Si ahora repiten el experimento, pero en vez de mirar el pulgar observan un objeto situado a tres o cuatro metros de distancia, podrán ver que el cambio de posición respecto de los objetos de fondo es mucho menor, y, de hecho, va disminuyendo a medida que se alejan de dicho objeto. Esto también sucede con las estrellas lejanas: el efecto va siendo mucho más difícil de medir y llega un punto en el cual ya no nos sirve para medir distancias, por ejemplo, a estrellas fuera de nuestra galaxia.

Cuando se observó la Pequeña Nube de Magallanes, una galaxia satélite de la Vía Láctea, no se sabía cómo medir la distancia a ella, pues este método no servía y, por lo tanto, no se tenía claro si era un objeto perteneciente a nuestra galaxia o no. Ahí entró en juego el trabajo que estábamos haciendo en el Observatorio de Harvard. Observando tantas estrellas, y haciendo un estudio muy meticuloso, mis compañeras y yo nos dimos cuenta de muchas cosas. De lo que yo me percaté fue de lo siguiente: observando estrellas variables cefeidas - un tipo de estrellas en las que su intensidad varía de forma periódica - descubrí que el período de variación es proporcional a la intensidad intrínseca de la estrella. Esto fue publicado en un trabajo en 1908 con un inocente pero fundamental comentario por mi parte: las variables más luminosas tienen los períodos más largos.

Esta relación les puede parecer poco importante, pero es muy relevante por lo siguiente: si medimos el período de variación de estas estrellas, podemos saber cuánta luz están emitiendo y así saber que tan brillante se debería ver a una determinada distancia. Si la vemos muy débil significa que está más lejos y, por el contrario, si la vemos muy brillante, está más cerca. Así podemos medir con bastante exactitud la distancia hasta estas estrellas.



En astrofísica, a los objetos que nos permiten medir distancias, como son las estrellas variables Cefeidas, se les denomina candelas estándar y yo medí un gran número de estas estrellas en la Pequeña Nube de Magallanes. Esto fue fundamental para que, posteriormente, fuera posible medir la distancia a otras galaxias y así expandir nuestro conocimiento del universo.

Pero, por supuesto, este método tiene un límite: si observamos lugares del universo muy lejanos, no podemos resolver individualmente estrellas Cefeidas, y debemos, entonces, recurrir al análisis de otro tipo de estrellas. Por eso, mucho tiempo después de mi descubrimiento, diferentes grupos de investigación siguieron buscando otras candelas estándar, que fueran más brillantes que las Cefeidas ¡y las encontraron!

Estos objetos resultaron ser las supernovas, y no cualquier supernova, sino unas especiales: las supernovas tipo Ia. Estas supernovas no son una sola estrella, sino un sistema binario formado por dos estrellas, una estrella que todavía está evolucionando (normalmente masiva) y una enana blanca (el "cadáver" de una estrella). En este sistema, la enana blanca atrae gravitacionalmente gas de su compañera, lo cual aumenta la temperatura, la densidad y produce reacciones termonucleares. Este proceso tiene lugar hasta un límite de masa muy bien determinado, el límite de Chandrasekhar - que es igual a 1.4 masas solares - y, al alcanzar este límite, se produce una fusión descontrolada, es decir, una gran explosión que incrementa enormemente la magnitud. Dado que estas explosiones se producen a un determinado límite de masa, todas liberan una cantidad de energía concreta y, por lo tanto, muestran una luminosidad similar. Por eso, se pueden utilizar como candelas estándar.

El inconveniente es que este tipo de supernovas no es demasiado frecuente: es esperable detectar una supernova tipo Ia por galaxia cada 1.000 años. Afortunadamente, existen muchísimas galaxias, por lo cual, si observamos una región del cielo durante mucho tiempo, es posible que detectemos alguna. Con este método se han podido medir distancias de hasta miles de millones de años luz.

En cualquier caso, no deja de ser necesario detectar una supernova de este tipo para poder medir la distancia a una galaxia. Para sortear este obstáculo, en la actualidad se utiliza una medida llamada *redshift* (corrimiento al rojo), que se simboliza con la letra *z*. El *redshift* da cuenta de la velocidad a la cual se aleja una galaxia debido a la expansión del universo.

Como seguro saben, el universo se está expandiendo, lo que implica que el espacio entre las galaxias va aumentando con el tiempo. Esto produce que las galaxias se vayan alejando unas de otras y que, mientras más lejana se encuentra una galaxia de nosotros, más rápido se aleja.

Lo relevante de este asunto es que ese movimiento queda impreso en la luz de las galaxias. Se debe a un efecto análogo a cuando una ambulancia se acerca a nosotros, momento en el cual el sonido se escucha más agudo, en contraste a cuando la ambulancia se aleja, que el sonido se escucha más grave. Esto se debe a que la onda de sonido se ve modificada debido al movimiento de la fuente emisora. En el caso de una galaxia emitiendo luz, esto es similar. Si la galaxia se acerca a nosotros, la emisión de luz se vuelve más azul, mientras que, si la galaxia se aleja, la emisión se ve enrojecida. Debido a la expansión del universo, esto último es lo que sucede con las galaxias lejanas, se están alejando y esto produce que su luz se vea enrojecida. De forma resumida, midiendo cómo de enrojecida está la luz que emite una galaxia, podemos medir cuánto se está alejando debido a la expansión del universo y deducir a qué distancia se encuentra.

Es importante decir que, para deducir la distancia a partir del *redshift*, hay que determinar qué modelo cosmológico se quiere utilizar, es decir, determinar ciertas características y comportamientos de nuestro universo. Por ejemplo, cuánta materia oscura contiene, la geometría del universo y a qué velocidad se expande - factor determinado con la llamada constante de Hubble -.

En la actualidad se tienen ideas bastante aproximadas de estos valores, aunque sigue habiendo incertidumbres y, por lo tanto, se están desarrollando muchos proyectos para ajustar, al máximo posible, estos valores a la realidad. Ahondar en esto ya sería tema para otro artículo, pero, como pueden ver, medir distancias en el universo no es nada trivial, y poder hacerlo es lo que nos ha permitido descubrir mejor el universo en el que vivimos.



Placa original de Harvard de la Gran Nube de Magallanes con las anotaciones de Henrietta.

Firmado: *Henrietta Swan Leavitt*\*

\*Bueno, en realidad, Sol Molina (Azimuth, educación y turismo científico S.L.)

# JÓVENES MIRADAS

POR EMILIO J. GARCÍA

## JUICIO A PLUTÓN

En diciembre de 2023, el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) recibió oficialmente un documento que contenía el siguiente texto:

### RESOLUCIÓN B5 DE LA UAI DEFINICIÓN DE PLANETA

Un planeta es un cuerpo celeste que:

- está en órbita alrededor del Sol
- es lo bastante masivo como para que su gravedad lo haya redondeado. Más concretamente, su propia gravedad debe llevarlo al equilibrio hidrostático
- ha limpiado la vecindad de su órbita

### ACTA DE LA REUNIÓN SOBRE LA NATURALEZA DE PLUTÓN

Siendo las 8:15 horas del día 20 de octubre de 2023, se reúne el alumnado de 1º de ESO B del IES Zaidín Vergeles, con el siguiente punto del día:

1. Debate y clasificación de Plutón como planeta.

Miembros presentes: alumnos y alumnas del curso 1º de la ESO B.

Conclusiones de la reunión al único punto del día. Se argumenta que Plutón es considerado planeta por:

- Que gira en torno al Sol y por eso forma parte de nuestro Sistema Solar al igual que el resto de los planetas: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.
- Plutón se formó al mismo tiempo que los otros planetas, es decir, hace unos 5.000 millones de años a partir de la misma nube de gas y polvo que los otros planetas.
- Al igual que nuestro planeta, Plutón también tiene los movimientos de rotación y traslación. El primero es el giro sobre su propio eje y el segundo, su movimiento alrededor del Sol.

Todos estos argumentos surgieron a raíz del debate realizado en la clase de Biología y Geología con el profesor Antonio Quesada.

Sometido a votación el resultado fue el siguiente:

- 8 votos en contra de que Plutón sea considerado planeta.
- 21 votos a favor de que Plutón sea considerado un planeta y no un planeta enano.

Y sin más asunto que tratar se levanta la sesión a las 9:15 horas del día veinte de octubre de 2023.

**Firmado: alumnos y alumnas de 1º de ESO B del IES Zaidín Vergeles**

Ante el contenido de dicho documento que ponía abiertamente en duda las resoluciones B5 y B6 de la Unión Astronómica Internacional (IAU) acerca de la definición de planeta y de la naturaleza de Plutón, el IAA-CSIC no tuvo más remedio que actuar poniendo dicha acta en conocimiento del Tribunal de Asuntos Planetarios de la IAU, más conocido como el TAP, organismo encargado de dirimir sobre estos importantes aspectos.

El TAP no tardó en responder y el 20 de diciembre de 2023 se celebró en las Instalaciones del IES Zaidín-Vergeles un sumarisimo JUICIO A PLUTÓN con el fin de resolver - de una vez por todas - acerca de su naturaleza y categoría como planeta.

El acto estuvo presidido por el insigne Juez E.G. y como fiscal, representando a la IAU, se contó con la presencia de la reputada Sara Cazzoli, más conocida como "la astrónoma feliz", que dirimió con acierto y rigor las razones por las que Plutón había sido "aparentemente" degradado a la categoría de planeta enano.

Como abogado defensor del astro se personó el celeberrimo "Astrónomo Indignado". Expulsado del sistema desde hace ya varios años, se mostró como siempre iracundo y ácrata, argumentando vehementemente que la degradación de Plutón era un ejemplo de la perversión del sistema científico actual (no desmentimos que algún momento se "dejara llevar por los nervios").

El jurado, compuesto por el alumnado causante de la reapertura del "caso Plutón", escuchó atentamente las argumentaciones en un sentido y en otro.

El juicio aconteció bajo la atenta y atónita mirada del acusado, el propio Plutón, apartado mo-

mentáneamente de su cotidiano y tranquilo orbitar al margen de las disquisiciones humanas, para ser custodiado por dos SS (Seguratas Siderales) desde los confines del sistema solar hasta el Zaidín granadino.

Tras una hora de juicio, la deliberación del jurado fue rápida y, aunque algo más reñida que la anterior, el resultado fue igual de contundente. Para el alumnado del Zaidín-Vergeles, Plutón debe volver a ser un planeta.

El juez prometió elevar el veredicto a las autoridades pertinentes (de las que aún no se tiene conocimiento) y el acusado fue repuesto a su órbita en espera de confirmación y del posible recurso por parte de la propia IAU o de asociaciones pro-derecho de los planetas enanos y plutoides en

general.

El juicio fue muy mediático, apareciendo en el principal diario de la ciudad, en donde el alumnado incluyó una encuesta en la que se preguntaba a la ciudadanía si Plutón debía o no recuperar su condición planetaria. La respuesta volvió a ser clara: sí, Plutón debe volver a ser un planeta. No se descarta una pregunta en el Parlamento Europeo al respecto.

Mientras se dirime la resolución del caso, y al margen de clasificaciones planetarias y resoluciones internacionales, el IAA-CSIC solo tiene una cosa que declarar: bien motivados por un profesorado excelente, no hay institución que detenga la fuerza, el interés y las ganas de cambiar el universo de un grupo de jóvenes.



Imágenes exclusivas del controvertido juicio A Plutón, celebrado el 20 de diciembre de 2023 en las Instalaciones del IES Zaidín-Vergeles

## SE CONSOLIDA LA ALIANZA ENTRE LA AEE Y EL IAA-CSIC



La Agencia Espacial Española (AEE) y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) consolidan su alianza científica y tecnológica para impulsar la investigación espacial en España

El director de la Agencia Espacial Española (AEE), Juan Carlos Cortés, visitó por primera vez el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) el pasado 8 de octubre, acompañado por su equipo científico. Durante la visita, se destacó el papel estratégico del IAA-CSIC en proyectos espaciales internacionales como Solar Orbiter, Exomars-TGO y JUICE, así como en futuras misiones como Comet Interceptor y EnVision. La jornada incluyó reuniones con los responsables de diferentes departamentos científicos, la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT) y los grupos financiados por el programa Nacional de Espacio de la AEI y el programa PRODEX de la ESA. También se llevó a cabo una visita guiada por las instalaciones tecnológicas del instituto, donde los representantes de la AEE conocieron de cerca los avances en instrumentación para la exploración espacial.

El 13 de noviembre, el IAA-CSIC volvió a recibir a Juan Carlos Cortés e Isabel Pérez, directora de Ciencia, Tecnología e Innovación de la AEE, en unas jornadas presenciales que también fueron retransmitidas en directo vía online. Durante el evento, Cortés presentó el panorama actual de la AEE, mientras que Pérez expuso los estatutos de la Agencia y su papel a la hora de gestionar las actividades, políticas y recursos nacionales en el ámbito espacial, poniendo en relieve el importante papel de los centros de investigación en el trabajo de campo. La jornada finalizó con un debate abierto a la comunidad científica y tecnológica espacial.

Estos encuentros han permitido identificar sinergias y reforzar los lazos entre ambas instituciones, consolidando una visión conjunta en torno al futuro de la investigación espacial en España.

## PREMIOS "GRANADA, CIUDAD DE LA CIENCIA Y LA INNOVACIÓN"



Los galardones "Granada, Ciudad de la Ciencia y la Innovación" se crearon con el objetivo de reconocer y divulgar la actividad científica en el ámbito de la ciudad de Granada y los otorga el Ayuntamiento de Granada. La Mesa por la Ciencia considera esencial que la sociedad reconozca y valore el esfuerzo de aquellas personas y empresas cuya trayectoria sea un ejemplo de dedicación a la actividad científica e innovadora.

El día 14 de octubre tuvo lugar la V Edición de estos premios y, entre los premiados, se encuentran varios investigadores del Instituto de Astrofísica de Andalucía: Enrique Pérez Montero, Pedro José Amado González, Emilio J. Alfaro Navarro, Francisco Javier Bailén Martínez, Yolanda Jiménez Teja y José Luis Ortiz Moreno.

¡Enhorabuena a todos y todas!!

# RECOMENDADOS

## 'TERRITORIO GRAVEDAD': YA DISPONIBLE EL PROYECTO COMPLETO

*Territorio Gravedad, la mayor panorámica sobre el cosmos que se ha elaborado en lengua castellana hasta ahora, puede verse completa desde el 29 de noviembre en Filmin y Vimeo On Demand*

En febrero de 2023, *Territorio Gravedad* estrenó su primera temporada en RTVE Play. Ahora, esta docu-serie, producida por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) en colaboración con Lipssync Medialab, regresa a las pantallas con nuevo contenido divulgativo sobre las ciencias que estudian el cosmos. Desde el viernes 29 de noviembre, las plataformas Filmin y Vimeo On Demand ofrecen los cuatro capítulos de la segunda y última temporada, junto con los ocho episodios ya disponibles de la primera, completando así este proyecto.

*Territorio Gravedad* invita a explorar el cosmos a través de un fascinante hilo conductor: la gravedad, esa natural escultora invisible que da forma al universo, desde su origen hasta su compleja estructura actual. La serie combina más de 60 entrevistas a científicos de renombre internacional con una trama de ficción, ofreciendo un recorrido que parte de la teoría general de la relatividad y abarca todas las escalas del cosmos: desde la tecnología de los GPS en nuestros móviles hasta el comportamiento de estrellas, agujeros negros y galaxias.

La segunda temporada arranca en 2015 con la detección de unas extrañas y pequeñísimas ondas que, como predijo Einstein en 1915, deforman el tejido del espacio-tiempo: las ondas gravitacionales. Los dos primeros capítulos están dedicados a este acontecimiento científico y a sus principales protagonistas: Kip Thorne, Rainer Weiss y Barry Barish, entrevistados por el equipo de *Territorio Gravedad* junto con los máximos responsables de la colaboración internacional en España, Alicia Sintés y Sascha Husa.

Los otros dos capítulos se ocupan de la búsqueda del "santo grial" de la física. Así, se unifican las teorías de lo macro –la relatividad general– y lo micro –la mecánica cuántica– de forma que ambos conocimientos sean compatibles. Esta exploración abre la puerta al futuro y plantea interrogantes como qué diferencias hay entre la realidad y nuestra consciencia de la misma.

Con este estreno, *Territorio Gravedad* se consolida como una serie de 12 capítulos que ofrece un recorrido panorámico por las ciencias dedicadas al estudio del cosmos, con la gravedad como hilo conductor.



Crédito de la imagen: ESO/J. Emerson/VISTA.  
Acknowledgment: Cambridge Astronomical Survey Unit



INSTITUTO DE  
ASTROFÍSICA DE  
ANDALUCÍA



EXCELENCIA  
SEVERO  
OCHOA



CSIC

 @iaa.comunicación

  @iaa\_csic

 @iaaudc

Instituto de Astrofísica de Andalucía  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Excelencia Severo Ochoa

