

IAA

62

OCTUBRE DE 2020
revista.iaa.es

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

El proyecto Severo Ochoa del IAA atraviesa su ecuador



Directora: Silbia López de Lacalle. **Comité de redacción:** Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Enrique Pérez-Montero, Pablo Santos y Montserrat Villar. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle. **Contacto:** revista@iaa.es

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

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

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

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

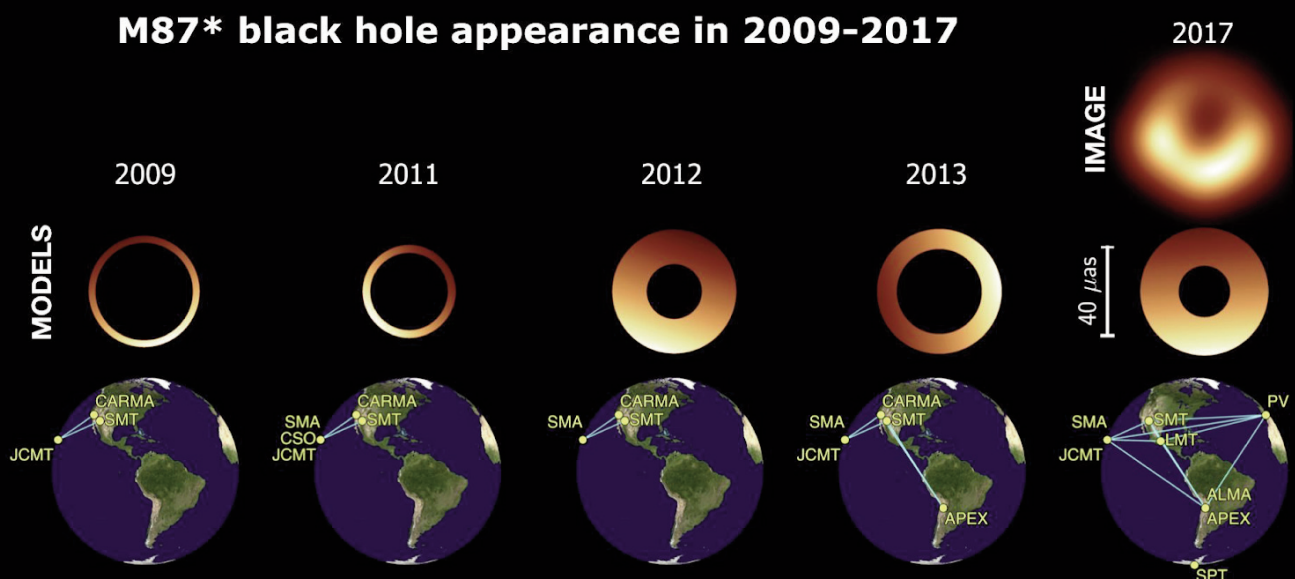
SUMARIO

El ecuador del proyecto Severo Ochoa del IAA ...	3
Shapley, Curtis y el Gran Debate ...	10
Deconstrucción. El Observatorio de Calar Alto ...	12
El Moby Dick de ... Olga Muñoz (IAA-CSIC) ...	14
Historias ... ¿Por qué no hemos vuelto a la Luna? ...	15
Actualidad ...	16
Sala limpia ...	23

LA "BAMBOLEANTE" SOMBRA DEL AGUJERO NEGRO DE M87

En 2019, la colaboración del Telescopio Horizonte de Sucesos (EHT) publicó la primera imagen de la sombra de un agujero negro, en concreto de M87*, el objeto supermasivo situado en el centro de la galaxia M87. El equipo ha analizado observaciones de M87* obtenidas previamente entre los años 2009 y 2013, muchas inéditas. Mientras que el diámetro de la sombra, con forma de media luna, se mantuvo constante, el equipo de EHT encontró que los datos escondían una sorpresa: el anillo tiene un movimiento de bamboleo. Por primera vez se ha podido observar la estructura dinámica del flujo de acreción tan cerca del horizonte de sucesos del agujero negro, en condiciones de gravedad extrema. El gas que cae en un agujero negro se calienta hasta miles de millones de grados, se ioniza y se vuelve turbulento en presencia de campos magnéticos. Debido a este comportamiento turbulento, la media luna parece "bambolear" en el tiempo. Investigadores del IAA participaron en el hallazgo.

<https://www.iaa.csic.es/noticias/el-telescopio-horizonte-sucesos-muestra-bamboleante-sombra-agujero-negro-m87>



El ecuador del proyecto Severo Ochoa del IAA

EL PROYECTO ABARCA DESDE LA COMPRENSIÓN DE LOS SISTEMAS PLANETARIOS, PASANDO POR LA FORMACIÓN DE ESTRELLAS EN LA VÍA LÁCTEA Y EL UNIVERSO LOCAL, HASTA LA EVOLUCIÓN GALÁCTICA Y LA COSMOLOGÍA

Isabel Márquez
(directora científica del SO-IAA)

El IAA obtuvo en 2018 el distintivo Severo Ochoa, que el Ministerio de Ciencia e Innovación otorga, tras concurrencia competitiva y selección por un prestigioso jurado internacional, a los centros que cuentan con “programas de investigación de frontera y altamente competitivos, y que se encuentran entre los mejores del mundo en sus respectivas áreas científicas”.

En el IAA se cubren muchos campos de la investigación en Astrofísica y Ciencias del Espacio, haciendo uso de observaciones multirrango tanto desde Tierra como desde observatorios y misiones espaciales. Desde el IAA se lideran desarrollos tecnológicos de alto nivel para el espacio, entre los que destacan el instrumento GIADA, embarcado en la exitosa misión *Rosetta*, o PHI, a bordo de la misión *Solar Orbiter* lanzada el pasado mes de febrero. Así mismo, desde el centro se ha desarrollado o desarrolla instrumentación de vanguardia para telescopios terrestres en los observatorios de Calar Alto (CARMENES y PANIC) y La Palma



(MEGARA, Gran Telescopio Canarias), así como para el Extremely Large Telescope (ELT) del Observatorio Europeo Austral (MOSAIC, HIRES). Además, el IAA coordina desde 2011 la participación científica y tecnológica de España en el Square Kilometre Array (SKA). Todos estos logros son posibles gracias a la demostrada capacidad de las personas que forman la plantilla científica y tecnológica del IAA.

Aprovechando nuestro bagaje en investigación, la estrategia en el proyecto Severo Ochoa del IAA (SO-IAA) se enfoca en torno a tres pilares científicos que se centran en escalas espaciales crecientes y entrelazadas: desde la comprensión de los sistemas planetarios, pasando por la formación de estrellas en la Vía Láctea y el Universo Local, hasta la evolución galáctica y la cosmología. Hacemos especial énfasis en crear y aprovechar las sinergias entre los diferentes grupos de investigación del centro. Así, especialistas en el Sistema Solar y en las atmósferas planetarias colaboran con quienes trabajan en la detección y caracterización de planetas extrasolares; quienes conocen a fondo la formación estelar en la Vía Láctea colaboran en estudios sobre el Grupo Local y viceversa, y el estudio de las estructuras cósmicas ha abierto otra senda de cooperación entre especialistas en agujeros negros masivos y en la evolución de galaxias. Existen estrechas interrelaciones cien-

tíficas y metodológicas entre todos los temas, siendo el proceso de formación de estrellas central en los tres pilares. Las observaciones de alta resolución angular y espectral y la necesidad del análisis de múltiples mensajeros (fundamentalmente observaciones in situ en el Sistema Solar y datos en todo el espectro electromagnético) representan una fuerte relación metodológica vertical y una intensa retroalimentación entre estos campos. Todos comparten herramientas de software similares (por ejemplo, análisis de imágenes, análisis de frecuencia, Big Data). Un cuarto pilar metodológico se centra en los requerimientos de instrumentación y software asociados, incluyendo la creación de un prototipo de nodo regional de SKA.

Recién pasado nuestro “ecuador” del proyecto, aprovechamos esta oportunidad para presentarnos a las personas que se han incorporado al proyecto Severo Ochoa del IAA en las primeras convocatorias de contratación. Su trabajo se centra en cuestiones científicas o metodológicas fundamentales para el proyecto, desde la detección y estudio de exoplanetas y de las estrellas que los albergan hasta la comprensión de los procesos relacionados con la formación de estrellas y la actividad nuclear en galaxias, o los primeros pasos de nuestro nodo regional de SKA. Nadie mejor que ellas y ellos para contaros su actividad.

Sara Cazzoli

ESTUDIO DE LOS SUPERVIENTOS GALÁCTICOS

Soy licenciada en astrofísica por la Universidad de Bolonia (Italia) y llegué a España (Madrid) en octubre de 2010 gracias a una beca Marie Curie de la Comunidad Europea para realizar la tesis de doctorado. Por aquel tiempo no sabía quién era Severo Ochoa. Lo “conocí” por primera vez al ver su escultura en la sede central del CSIC en la calle Serrano, y nunca hubiera imaginado obtener una beca asociada a su nombre en el marco de la excelencia en la investigación.

Obtuve el título de doctora en astrofísica por la Universidad Autónoma de Madrid con una tesis titulada “Búsqueda de supervientos de gas neutro en galaxias luminosas cercanas con fuerte formación estelar”, que desarrollé en el Centro de Astrobiología (CAB) del CSIC en Madrid, en colaboración con el grupo de evolución de galaxias de la Universidad de Cambridge (UK). Actualmente soy inves-

conocen como galaxias activas: se trata de los objetos más luminosos del universo, aquellas cuyo centro alberga un agujero negro supermasivo activo, es decir, que está siendo abundantemente alimentado con gas, su combustible.

El proceso de alimentación del agujero negro libera una extraordinaria cantidad de energía en una región muy pequeña, y esto puede mover, acelerar y barrer la reserva de combustible existente a su alrededor. Este flujo de material, principalmente gas, con forma de doble cono o burbuja que se extiende desde las partes centrales de las galaxias hasta grandes distancias (incluso superando el tamaño de la galaxia anfitriona y llegando al medio intergaláctico) es conocido como superviento galáctico. Constituye un fenómeno extremo y su influencia sobre la galaxia anfitriona puede ser mayúsculo, hasta el punto de que la formación de estos “hura-



energía en función del abanico de frecuencias), tomados con unidades de campo integral (IFU, por sus siglas en inglés). Esta técnica se halla disponible en MEGARA y MUSE, instrumentos montados en el Gran Telescopio Canarias (La Palma) y el Very Large Telescope (Chile), respectivamente. Esos instrumentos son capaces de dar una visión 3D del objeto, ya que proporcionan “cubos de datos” que contienen la posición 2D (el campo de visión) y el espectro como tercera dimensión. La riqueza de la información del espectro no se limita solo a un parte del objeto (por ejemplo, su centro) sino que se puede seguir de forma continua y uniforme a lo largo de toda la galaxia. Esto es muy importante para la identificación de la presencia de supervientos y para estudiar su alcance, morfología, velocidad y masa y medir el efecto (positivo y/o negativo) de su presencia sobre la galaxia anfitriona. Mi proyecto como contratada postdoctoral Severo Ochoa empezó con el estudio de NGC7469, una galaxia activa cercana (a unos 200 millones de años luz) que muestra un núcleo muy brillante. Gracias al instrumento MEGARA hemos podido estudiar la región central de NGC7469 con un detalle sin precedentes. Encontramos que el gas ionizado traza tres componentes, dos correspondientes a discos que rotan acompasadamente en el mismo plano, uno más fino que el otro, y otra que no muestra rotación y que probablemente esté asociada a la presencia de un superviento galáctico con una morfología peculiar. No todos los supervientos galácticos son iguales, y queda mucho camino para poder entender estos fenómenos espectaculares... ¡A la caza!



Imágenes del telescopio espacial Hubble de las galaxias activas NGC3079 (izquierda) y NGC4438 (derecha). La burbuja de gas ionizado (color rojo) se está expandiendo desde el núcleo que alberga el agujero negro supermasivo (no visible en esta imagen). Fuente: NASA/STScI/ESA.

tigadora postdoctoral en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y estudio los mecanismos que regulan las propiedades de las galaxias activas y del agujero negro central, como los supervientos galácticos.

Hay galaxias de distintos tamaños, edades y formas, y hoy en día sabemos que prácticamente todas poseen un agujero negro supermasivo en su centro. Incluso la nuestra, la Vía Láctea. De esta gran variedad de galaxias, solo en torno a un 10% se

canes galácticos” puede determinar la vida de las galaxias al limpiar el entorno del agujero privándole así de combustible. El efecto de estos supervientos no es solamente negativo y arrasador, sino que su desarrollo puede mostrar consecuencias positivas y constructivas, como el desarrollo de brotes de formación de nuevas estrellas, posiblemente brillantes.

Para investigar la posible presencia de un superviento empleo datos espectroscópicos (que señalan cómo se distribuye la

Rubén García Benito

LA EVOLUCIÓN GALÁCTICA AL DETALLE

Mi principal campo de interés es el estudio de la formación y evolución de las galaxias. Para poder comprender el origen de la diversidad observada en las galaxias, así como las propiedades comunes, es necesario estudiar su pasado, es decir, obtener su historia de formación estelar.

Hasta hace poco más de una década, la mayoría de muestreos que observaban espectroscópicamente un gran número de galaxias lo hacían usando una sola apertura limitada a las zonas centrales de las galaxias, o con aperturas que integraban una fracción del flujo de las galaxias. Es decir, carecían de información espectroscópica detallada con información espacial, de modo que su análisis no estaba libre de sesgos importantes. Dado que la mayoría de los procesos que gobiernan la evolución de las galaxias tiene un efecto local dentro de las mismas, es vital disponer de esta información espacial para mejorar la comprensión de los procesos evolutivos que las modelaron.

La espectroscopía de campo integral (IFS, Integral Field Spectroscopy), o espectroscopía 3D, es una técnica que permite obtener información espectroscópica espacialmente resuelta de los objetos observados. Su uso en muestreos con un gran número de galaxias en la última década ha supuesto un salto de gigante en los estudios de evolución de galaxias.

Desde mi incorporación al IAA, desde el grupo de análisis de poblaciones estelares hemos desarrollado nuevas técnicas de análisis de espectroscopía 3D para el estudio de lo que se suele llamar “paleontología galáctica” o método de los “registros fósiles”. La luz del espectro se descompone en las distintas contribuciones de las diferentes poblaciones estelares, segregando las distintas reliquias del pasado y agrupándolas como si se tratara de fósiles, en distintos grupos de edad



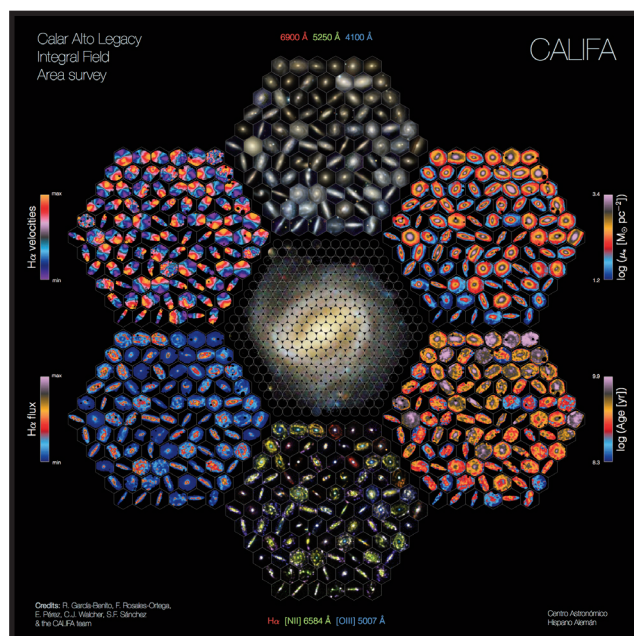
y propiedades comunes. Es como analizar una ciudad y estudiar las gentes que la habitan clasificándolas por su edad, lugar de nacimiento, peso, etc. De esta manera podemos saber qué tipo de habitantes estelares pueblan cada punto de la galaxia y elaborar un mapa completo de la misma, para obtener finalmente las propiedades generales de toda ella.

Estas técnicas se han aplicado al cartografiado 3D de CALIFA, un proyecto

de legado pionero de Calar Alto con el que hemos obtenido resultados de gran impacto y que ha ofrecido una visión panorámica de las galaxias. Gracias a CALIFA hemos podido observar que el crecimiento de masa en las galaxias se produce de dentro hacia fuera, al igual que la interrupción de la formación estelar en galaxias tempranas, o proporcionar los primeros perfiles y mapas 2D de la relación masa-luminosidad agrupadas por tipos de galaxias, de gran valor, por ejemplo, para los estudios de modelos dinámicos de galaxias.

Actualmente estamos trabajando en los próximos cartografiados 3D de nueva generación y grandes consorcios como WEAVE, CAVITY y J-PAS, que sin duda definirán el camino de los estudios evolutivos de galaxias y los grandes hallazgos en los próximos años en este campo.

Sin embargo, quizás uno de los proyectos más ambiciosos desde el punto de vista personal es GAMAICA (Galaxy MAPPING Instrument at Calar Alto), del que soy investigador principal. GAMAICA es uno de los próximos instrumentos de espectroscopía 3D de nueva generación propuestos para Calar Alto. Este nuevo instrumento duplica la resolución espacial y triplica la resolución espectral disponible en el observatorio actualmente, con el que podremos investigar cuáles son los procesos físicos locales involucrados en la evolución de las galaxias. Para ello proponemos observar con GAMAICA dos objetos únicos en el hemisferio norte. Por un lado, la galaxia de Andrómeda, la galaxia más cercana con masa similar a la Vía Láctea, con la que podremos resolver estrellas individuales y caracterizar su historia quimiodinámica. Por otro lado, el cúmulo de Virgo, el cúmulo de galaxias más cercano a nosotros. En él podremos estudiar con un nivel de detalles sin precedentes la influencia del medio intracumular en la vida de las galaxias. Nueva ciencia e instrumentación para la próxima década en Calar Alto.



Mapas de los distintos parámetros galácticos obtenidos por CALIFA.

Carolina Kehrig

UN ACERCAMIENTO A LAS GALAXIAS PRIMIGENIAS

Tras obtener mi doctorado en astronomía en Brasil en 2007, trabajé como investigadora en la Universidad de Michigan (Ann Arbor, EEUU), y a partir de 2009 en el Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (Alemania) con la Beca Postdoctoral Humboldt. Llegué al IAA en 2011, y en 2019 obtuve la prestigiosa beca Severo Ochoa-IAA, un honor que me permite seguir desarrollando mi investigación en un destacado centro de investigación, ahora oficialmente reconocido por el gobierno de España, como es el IAA. No podría estar trabajando en un mejor entorno y centro científico.

Mi investigación se centra en el estudio de las estrellas masivas y el gas ionizado en galaxias cercanas con alta tasa de formación de estrellas (o galaxias SF, por sus siglas en inglés), en particular aquellas con contenidos muy bajos en metales (elementos más pesados que el hidrógeno y el helio) y que muestran características de alta ionización como la línea nebular del helio doblemente ionizado (HeII). Estos sistemas son los mejores análogos disponibles de las galaxias primitivas que albergaban las enigmáticas estrellas de población III, las primeras estrellas que se formaron en el universo. Mi investigación, basada principalmente en espectroscopía de campo integral con telescopios de entre cuatro y diez metros de diámetro, vislumbra las condiciones que prevalecieron en las primeras etapas de la formación de galaxias y durante la reionización del universo.

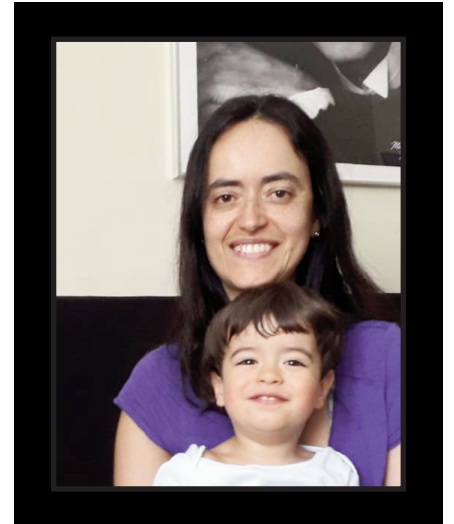
A lo largo de mi carrera he realizado contribuciones relevantes al campo de las galaxias SF y regiones HII de alta ionización y pobres en metales (69 artículos científicos en revistas internacionales revisadas por pares, 15 como autor principal; más de 3900 citas e índice H = 32). En particular, Kehrig et al. (2015, ApJL) y Kehrig et al. (2018, MNRAS) estudiaron

las galaxias enanas IZw18 utilizando la Unidad de campo integral PMAS del telescopio de 3.5 metros en el Observatorio de Calar Alto y SBS0335-052 de MUSE/VLT, respectivamente. Estas galaxias son las que presentan menos metales del universo cercano y unas de las más parecidas a las galaxias primigenias. Estos estudios encontraron una gran región de helio doblemente ionizado en estas pequeñas galaxias, que tiende a ser más frecuente en galaxias muy distantes con baja presencia de metales. La ionización del helio implica la presencia de objetos que emiten una radiación lo suficientemente intensa como para expulsar electrones de los átomos de helio. Las



La galaxia enana IZw18.

fuentes convencionales de ionización, como las estrellas Wolf-Rayet (muy masivas y con vientos estelares muy violentos) o los choques generados por remanentes de supernovas no pueden proporcionar la energía necesaria para explicar el halo de helio ionizado presente en estos sistemas. Nuestros datos indican que se necesitan



estrellas peculiares calientes similares a las de la primera generación que brilló en el universo para reproducir nuestras observaciones.

Siguiendo esta línea de investigación, iniciamos un programa para investigar las galaxias emisoras de HeII utilizando el instrumento MEGARA del Gran Telescopio Canarias, el telescopio óptico más grande del mundo con 10.4 metros de diámetro.

Recientemente, en Kehrig et al. (2020, MNRAS) realizamos el primer estudio espectroscópico resuelto espacialmente para la galaxia PHL293B, una galaxia local extremadamente pobre en metales y de alta ionización, lo que la convierte en un excelente análogo de las galaxias del universo temprano. Discutimos mapas de todas las líneas de emisión relevantes, incluido su mapa HeII, y las propiedades físicoquímicas del medio interestelar ionizado.

La beca SO-IAA es muy oportuna para aprovechar las ventajas únicas que, por ejemplo, el instrumento MEGARA proporcionará en los próximos años para

investigar el origen de la radiación altamente ionizada y su conexión con las desconcertantes estrellas de la población III del universo primordial mediante el estudio de las galaxias SF que emiten HeII, tanto del entorno local como a distancias intermedias. Este esfuerzo ahora allanará el camino para el Telescopio Extremadamente Grande (ELT).

Sebastián Luna

UN CENTRO REGIONAL DE DATOS PARA EL MAYOR RADIOTELESCOPIO DEL MUNDO

Siempre me fascinó que el ser humano pudiese crear una máquina en la que almacenar y procesar información. Parte importante del avance científico y tecnológico en nuestro planeta se debe a esas máquinas computadoras, que nos suben a “hombros de gigantes” para analizar el mundo que nos rodea. La curiosidad por aprender más sobre cómo funcionan los computadores me llevó a titularme en ingeniería informática por la Universidad de Málaga en 2011. Realicé un par de estancias en el extranjero como estudiante. En 2006 visité la Universidad de Luxemburgo para desarrollar aplicaciones de usuario en redes móviles “entre iguales” (*peer to peer*). En 2009 conseguí una beca Erasmus en el Politécnico de Milán que me sirvió para poner a prueba la precisión de algoritmos de Aprendizaje Computacional (*Machine Learning*) para predecir recaídas por cáncer de mama usando perfiles de expresión génica. Tras el periodo de estudiante trabajé un par de años en la Universidad de Málaga. En un primer proyecto evalué tecnologías de comunicación inalámbrica (estándar IEEE 802.11g) para su uso en redes vehiculares *peer to peer*. En el siguiente proyecto actualicé un cluster de computación Linux de uso compartido en un grupo de investigación en Metaheurísticas. La experiencia adquirida trabajando con Linux me permitió continuar con tareas similares en un grupo de investigación en Genómica Computacional en la Universidad de Oxford en 2013, donde comencé con mis primeros trabajos en Ciencia Abierta. Esto me trajo en 2018 a trabajar en el grupo AMIGA en el IAA-CSIC, donde continué mi crecimiento tanto en la administración de sistemas Linux como en el aprendizaje de métodos de Ciencia Abierta. En 2019 empecé como administrador de sistemas para el

programa Severo Ochoa del IAA-CSIC para crear un prototipo de Centro Regional de SKA, que incluye el objetivo de fomentar los principios de reproducibilidad y Ciencia Abierta en el centro.

El *Square Kilometre Array* (SKA) es un gran esfuerzo internacional cuyo objetivo es la construcción del mayor radiotelescopio del mundo. Contará con un kilómetro cuadrado de área colectora y estará formado por miles de antenas parabólicas y hasta un millón de antenas de baja frecuencia que permitirán a los astrónomos realizar observaciones con un detalle sin precedentes. La cantidad de datos generados por la infraestructura será tan grande que no sería factible proporcionar acceso directo a los usuarios para su análisis o descarga desde una única entidad. Por eso se ha propuesto crear una red de Centros Regionales de SKA (o SRCs por sus siglas en inglés, *SKA Regional Centres*), que proporcionará acceso transparente de manera distribuida a los datos producidos por el radiotelescopio, así como los recursos computacionales necesarios para su análisis y visualización. La creación de un prototipo de SRC en el IAA-CSIC es una de las apuestas contempladas dentro del programa Severo Ochoa. Entre otros beneficios, el IAA-CSIC contará con una nueva infraestructura de última generación tipo nube (*cloud*) que aportará al instituto nuevos recursos computacionales, almace-



namiento y nuevos servicios que faciliten una investigación transversal apoyándose en los principios de Ciencia Abierta y Ciencia Reproducible. Estamos finalizando el despliegue de la nueva infraestructura y mi misión es mantenerla operativa y a pleno rendimiento para que permita contribuir a realizar nuevos descubrimientos científicos. Además, junto con el equipo del prototipo de SRC, ayudaré a aquellos investigadores del IAA-CSIC que lo necesiten a sacarle el máximo partido a la nueva infraestructura con el uso de herramientas computacionales que faciliten la transparencia y la reproducibilidad de sus proyectos.

Los desarrollos en los que estoy tomando parte facilitarán que el IAA-CSIC forme parte de la red global de SRCs, que está formada actualmente por trece iniciativas para crear un prototipo de SRC: Alemania, Australia, Canadá, China, España, Francia, Holanda, India, Italia, Portugal, Reino Unido, Sudáfrica y Suecia. Uno de los desafíos más apasionantes para el prototipo de SRC en el IAA-CSIC será aunar esfuerzos con las demás iniciativas internacionales con el objetivo de ofrecer un acceso unificado y homogéneo a los científicos de todo el mundo, de forma que se facilite el análisis de cantidades ingentes de datos, independientemente de su localización, a la vez que el proceso se realiza de una manera reproducible y transparente para la comunidad científica.



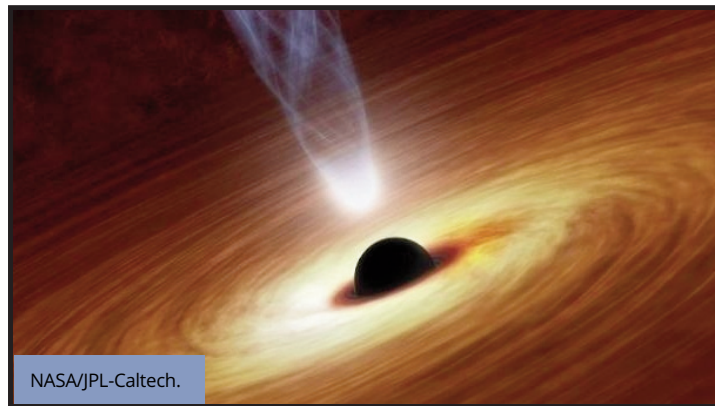
Javier Moldón

CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN RADIO

El cielo nocturno es fascinante, pero aún lo es más cuando uno se da cuenta de que aquello que vemos con los ojos no es más que una ínfima parte de lo que el universo realmente esconde. El amplio espectro electromagnético revela una extraordinaria riqueza de objetos y eventos que hasta hace pocas décadas eran desconocidos. Por ese motivo mi carrera se ha centrado en las frecuencias más bajas del espectro a través de observaciones en ondas de radio, pero con continuas pinceladas del resto del espectro. Durante mi doctorado en la Universidad de Barcelona aprendí el fino “arte” de las observaciones que combinan radioantenas separadas por miles de kilómetros, literalmente de punta a punta del mundo, una técnica conocida como VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*). Utilicé estas técnicas para estudiar sistemas binarios formados por un objeto compacto (agujero negro o estrella de neutrones) y una estrella masiva que interactúan generando grandes cantidades de energía, por lo que brillan violentamente en radio, rayos X y rayos gamma, y por lo que son conocidas como binarias de rayos gamma. Para entender qué son y cómo funcionan combiné observaciones en todo el espectro electromagnético. Especialmente enriquecedoras fueron las estancias que pude realizar en centros clave para la interferometría, como el Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) en Alemania, el National Radio Astronomy Observatory (NRAO) en Estados Unidos y el Australia Telescope National Facility (ATNF) en Australia.

Tras el doctorado, busqué nuevos desafíos en dos estancias postdoctorales realizadas en dos de los centros más competitivos de Europa en radioastronomía. En primer lugar, trabajé en ASTRON (Países Bajos), donde apliqué conocimientos previos para estudiar posibles formas de calibrar los datos de LOFAR, un interferómetro de muy bajas frecuencias que se había termi-

nado de construir hacía pocos años. LOFAR ha supuesto un hito histórico tanto en resolución angular (es decir, capacidad de discernir detalles) como en sensibilidad a dichas frecuencias, y por lo tanto ha abierto nuevas ventanas de observación. Utilizamos la máxima capacidad de este instrumento para obtener por primera vez imágenes de alta resolución, que utilicé para analizar el comportamiento de chorros de material producidos en el núcleo de algunas galaxias. Seguidamente trabajé en una de las cunas de la radioastronomía mundial, el *Jodrell Bank Centre for Astrophysics*, en Reino Unido, donde Sir Bernard Lovell estableció una de las piedras fundacionales de la radioastronomía profesional hace ahora setenta y cinco años. Utilizando el instrumento e-MERLIN y desarrollando herramientas de procesamiento de datos pude diversificar mi ciencia, estudiando desde la historia de los ritmos de formación estelar en el universo hasta objetos transitorios como supernovas, eventos de disrupción de marea, eyecciones de material relativista por agujeros



negros extragalácticos, lentes gravitacionales, e incluso contrapartidas en radio a colisiones de estrellas de neutrones identificadas a través de ondas gravitacionales. Siguiendo este camino, que combina investigación en varios campos y desarrollos técnicos de vanguardia, he decidido continuar mi carrera en el IAA- CSIC fascinado por su participación en el proyecto *Square Kilometre Array* (SKA), que será el mayor radiotelescopio del mundo y



referente indiscutible de la radioastronomía de este siglo. Este proyecto internacional permitirá grandes avances en múltiples ámbitos de la astrofísica y además conlleva uno de los mayores retos tecnológicos y de ingeniería de esta década. El IAA es ya una pieza clave de este complejo proyecto, puesto que dispone de un prototipo de centro regional de SKA (*SKA Regional Centre Prototype*). Con este prototipo aspiramos a albergar uno de los nodos de una red mundial de centros que se encargará de recibir, procesar y almacenar los datos de SKA para ofrecerlos a la comunidad científica siguiendo principios de Ciencia Abierta. Dicha red coordinada es la única forma de distribuir el esfuerzo de analizar las inmensas cantidades de información producidas por el que será el mayor productor de datos científicos del mundo. Con el propósito de que el IAA albergue la versión definitiva de uno de estos nodos estamos trabajando para combinar la experiencia técnica y científica del IAA para ofrecer una

plataforma de análisis de datos que sea lo más abierta y transversal posible. Nuestro objetivo es que investigadores internacionales, con especial énfasis en investigadores españoles y en particular del IAA, puedan acceder a la riqueza observacional ofrecida por el SKA independientemente de su ámbito de investigación, ofreciendo las herramientas para que la radioastronomía brille más que nunca.

Cristina Rodríguez López

ESTUDIAR LAS ESTRELLAS PARA CONOCER SUS PLANETAS

Actualmente disfruto de un contrato SO Fellow en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) para trabajar en el pilar interdisciplinar que busca aunar esfuerzos para entender mejor la multitud de sistemas planetarios distintos a nuestro Sistema Solar que se conocen hoy en día. Algo tan básico como conocer con precisión parámetros fundamentales, como la masa, tamaño o radio de los exoplanetas, para poder dilucidar si son planetas gaseosos o rocosos y, en última instancia, si pueden albergar vida, requiere de observaciones con distintas técnicas. Entre ellas, la fotometría para detectar el tránsito o eclipse de su estrella albergadora, lo que nos proporciona una medida de su radio; o la espectroscopía, para detectar el bamboleo gravitatorio causado en la estrella por su planeta orbitante y que nos da una medida de su masa mínima. Estas técnicas son indirectas, es decir, no observan el planeta directamente, sino su estrella, por lo que la determinación de los parámetros físicos del planeta depende del conocimiento preciso de los parámetros físicos de la estrella en torno a la que orbita.

Una técnica que nos permite conocer con mucha precisión los parámetros fundamentales de las estrellas, como su masa, radio, y por lo tanto su densidad, muy complicados de obtener por otros medios, es la astrosismología, un conjunto de técnicas utilizadas para interpretar la luz que nos llega de estrellas pulsantes, es decir, estrellas que varían su luminosidad de forma periódica en el tiempo. Mi trayectoria científica ha estado siempre ligada a la astrosismología de estrellas de baja masa, así que poder trabajar dentro de mi campo, con el objetivo de contribuir a aumentar el conocimiento sobre sistemas planetarios con un contrato SO Fellow, es una gran motivación.

Actualmente, las estrellas enanas rojas son las favoritas de muchos



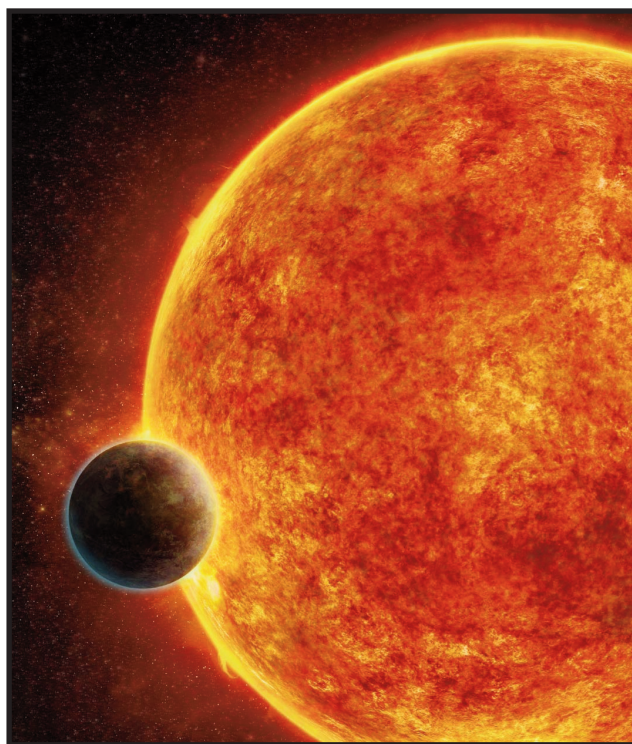
sondeos de búsqueda de planetas rocosos, parecidos a nuestra tierra, como el que hace por ejemplo el espectrógrafo CARMENES, instalado en el telescopio de 3.5 metros del Observatorio de Calar Alto (Almería), búsqueda en la que también participa el grupo de investigación al que pertenezco. Parte de mi trabajo

tiene que ver con esa búsqueda y con estar segura de que las señales que encontramos con CARMENES, que pueden ser originadas por un planeta orbitando en torno a su estrella, no sean en realidad causadas por la propia actividad de la estrella, como manchas en su superficie o pulsaciones.

Las pulsaciones estelares, producidas por la propagación de ondas en el interior de la estrella debido a diferentes fenómenos en su interior, se traducen en un movimiento rítmico de su superficie o de variaciones de temperatura en la misma, que detectamos como una variación periódica del brillo de la estrella o como una alteración de las líneas de su espectro. Esto nos proporciona, como decíamos arriba, información física muy valiosa, que extraemos de conjugar las predicciones teóricas de los modelos estelares con las observaciones reales obtenidas en el telescopio. La mayoría de los tipos estelares son pulsantes en algún momento u otro de su evolución, desde estrellas jóvenes a estrellas viejas, o de estrellas de baja masa a estrellas masivas. Incluso nuestro Sol es una estrella pulsante.

En el caso de las enanas rojas, mi trabajo ha permitido realizar la predicción teórica de que también son estrellas pulsantes. La oscilación de su brillo se espera que sea de muy baja amplitud, al igual que la amplitud de la variación de sus líneas espectrales, por lo que necesitamos utilizar espectrógrafos excepcionalmente precisos, como por ejemplo ESPRESSO, que llega a detectar variaciones de varios centímetros por segundo.

Mi trabajo actual se dirige principalmente a completar la descripción teórica del efecto de las pulsaciones en los espectros y a perseguir el descubrimiento observacional de las oscilaciones, que abriría el campo de la astrosismología a las estrellas enanas rojas, permitiendo una caracterización precisa de su interior, así como de los planetas y sistemas planetarios que pudiesen albergar.



Shapley, Curtis y el Gran Debate

EL DEBATE QUE FIJÓ PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL UNIVERSO

Miguel Pérez Torres
(IAA-CSIC)

Este año se cumple el centenario del famoso Gran Debate entre Harlow Shapley (1885-1972), astrónomo del observatorio de Monte Wilson, y Heber Curtis (1872-1942), astrónomo del observatorio de Lick, que se celebró el 26 de abril de 1920. Ese año, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos había decidido que la conferencia William Ellery Hale de 1920 se dedicaría a debatir “La escala de distancias en el universo”; y se decantaron por Shapley y Curtis, que en aquella época eran las cabezas visibles de las dos posturas más en boga y que, simplificadas, eran estas: Shapley defendía la idea de que nuestro universo consistía de una única, gigantesca galaxia, mientras que Curtis propugnaba un universo en el que había numerosas galaxias (todavía llamadas entonces “nebulosas”). La propuesta del tema la hizo el astrónomo George Ellery Hale, descubridor de los campos magnéticos en las manchas solares e hijo de William Ellery Hale, quien había financiado las conferencias durante años. Curtis se había graduado en 1893 en la Universidad de Michigan, con un grado en estudios clásicos. No queda claro por qué ni cómo, pero de algún modo debió quedar fascinado por la astronomía, pues nueve años más tarde, en 1902, se doctoró en Astronomía por la Universidad de Virginia. Ese mismo año consiguió un puesto como astrónomo en el observatorio de Lick, donde estuvo hasta 1920. En Lick, Curtis se dedicó principalmente a fotografiar “nebulosas” espirales, y la

invitación a participar en el Gran Debate fue precisamente por los trabajos realizados sobre estas nebulosas. Curtis observó, entre otras galaxias, M87, y fue el primero en notar el chorro polar, que describió como “un curioso rayo rectilíneo... aparentemente conectado con el núcleo por una fina línea de materia”. El chorro relativista que emana de la vecindad del agujero negro supermasivo de M87* y que se extiende más allá de la galaxia, vista en el óptico.

Shapley quizá acabara siendo astrónomo por casualidad. En quinto curso de primaria, y por decisión propia, Shapley dejó la escuela. Estudió en casa y, apenas pudo, se dedicó a cubrir las crónicas de sucesos en un periódico local. Tras esta experiencia, Shapley decidió volver a los estudios formales, completando el programa de seis años de educación secundaria en apenas dos años, siendo el primero de la clase. En 1907, Shapley fue a la Universidad de Misuri para estudiar periodismo. Pero al descubrir que la apertura de la escuela de periodismo se había pospuesto un año, decidió que estudiaría la primera carrera en el listado de grados de la universidad. Tras rechazar Arqueología

(según contaría más tarde porque no podía pronunciarla bien), Shapley eligió la siguiente carrera en orden alfabético, astronomía. A Shapley también le debió de fascinar la astronomía, pues se licenció en 1910 y obtuvo el máster en 1911. En 1913 obtuvo el doctorado en Princeton y en 1914 consiguió un puesto de astrónomo en el observatorio de Monte Wilson.

Desde el trabajo de Herschel de 1785, y durante más de un siglo, los astrónomos habían vivido en un universo constituido esencialmente por una galaxia, la nuestra, de un tamaño no mucho mayor de seis mil años luz y donde nosotros ocupábamos el centro. Si las nebulosas espirales podían ser, o no, otros “universos isla” se discutía de tanto en tanto en el siglo XIX, pero no era el foco de la investigación de ningún astrónomo. Sin embargo, entre 1900 y 1920, los astrónomos pasaron de los años-luz a los pársecs, los tamaños de la galaxia aumentaron y el Sol pareció desplazarse del centro de la galaxia. Por ejemplo, Shapley colocaba al Sol a una distancia de unos 15-20 kilopársecs (kpc) del centro la Vía Láctea, que tendría un diámetro de al menos 90 kilopársecs, una gigantesca galaxia, tres veces mayor que



Heber Curtis y Harlow Shapley.

From National Academy of Sciences,
Smithsonian Institution, Washington, D. C.
(Carl H. Butman, Representative).

For Release to Afternoon Papers,
Monday, April 26

HOW MANY UNIVERSES ARE THERE?

This evening two California astronomers will discuss the Size of the Universe, and present their views as to whether or not there is only one or several universes, before the National Academy of Sciences, which is now in session in Washington.

Fragmento de la nota de prensa que anunciaba el debate.

las estimaciones actuales. Para Curtis, en cambio, la Vía Láctea tenía apenas 9 kilopársecs, con el Sol a 3 kpc del centro, y por tanto era una galaxia diez veces más pequeña que la de Shapley, dejando espacio para otros “universos isla”, las nebulosas espirales.

El Gran Debate se convirtió en un excelente toma y daca de opiniones sobre las distancias en el universo, incluyendo la distancia a los cúmulos globulares, las estrellas cefeidas como indicadores de distancias, la naturaleza de las nebulosas y sus velocidades de expansión, y el tamaño de nuestra galaxia (que era casi como decir el tamaño del universo de la época). Pero también incluyó temas como la teoría de evolución estelar, la tasa de novas en la galaxia... hasta un total de catorce puntos de debate.

El resultado del debate a menudo aparece simplificado como una victoria de las posturas de Shapley frente a las de Curtis, pero si uno se fija en todos los puntos, quizá es más justo considerarlo un empate o, en jerga pugilística, una victoria a los puntos de Curtis, quien tuvo a menudo más razón en cada uno de los temas discutidos. Por ejemplo, Shapley defendía las ideas de que el Sol no se encontraba en el centro de la Vía Láctea y que los cúmulos globulares y las nebulosas espirales eran parte de la misma, mientras que Curtis defendía que esas nebulosas espirales eran galaxias externas a la nuestra. Shapley llevaba la razón en cuanto a la posición del centro de la Vía Láctea y a los cúmulos globulares, pero se equivocó en lo que a las nebulosas espirales se refiere (cabe resaltar que Shapley pronto aceptó y adoptó esta postura, es decir, que las

nebulosas espirales eran externas a nuestra galaxia, de modo que el universo no se limitaba únicamente a la Vía Láctea). Curtis también estuvo más acertado en temas como la tasa de novas o la interpretación de que las velocidades de las nebulosas espirales estaban ligadas a “algo intrínseco” de las mismas. Por el contrario, Shapley también estuvo más acertado al considerar las cefeidas como buenas indicadoras de distancias (y si no, que se lo digan a Hubble). Quizá donde ambos contendientes estuvieron equivocados fue en la interpretación del papel de la absorción interestelar debida al polvo, aunque también aquí Curtis estuvo más cerca de la verdad. En cualquier caso, la gran beneficiada del debate fue la ciencia, con mayúsculas. Se había llegado a 1920 con datos que se interpretaban de modo muy diverso, y se salió del Gran Debate con una posición clara del Sol (no estamos en el centro de la galaxia), un tamaño mucho mayor de la misma y la confirmación de la existencia de otras galaxias.

Tras el Gran Debate parece que ambos contendientes salieron beneficiados en su carrera profesional, pues a ambos les ofrecieron ocupar cargos de dirección de observatorios. A cambio, sus carreras científicas se vieron seriamente afectadas, y no pudieron realizar más contribuciones significativas hasta el final de sus vidas. Curtis fue director en el observatorio de Allegheny entre 1920 y 1930, y después ocupó el cargo de director de los observa-

torios de la Universidad de Michigan, hasta 1942. Curtis falleció, literalmente, con las botas de director puestas.

Shapley también pasó más parte de su vida como director de observatorio que como astrónomo investigador. Poco después del Gran Debate aceptó el cargo de director del Observatorio de Harvard, sucediendo a Pickering. Ocupó el cargo hasta 1952, cuando se lo cedió a Donald Menzel. De la mano de Shapley, el observatorio de Harvard se convirtió en un verdadero observatorio del siglo XX, aunque siempre tuvo una preferencia por los telescopios relativamente pequeños y de gran campo.

Este año, a finales de febrero, un colega me recordó que iba a ser el centenario del Gran Debate, y nos planteamos organizar un debate similar, pero centrado en la constante de Hubble y sus implicaciones: energía oscura, universo en que vivimos, qué implica un valor u otro de la constante de Hubble... La idea era invitar a un astrofísico especializado en cosmología teórica y otro en cosmología observacional y plantear una serie de puntos que no están claros, y discutir sus implicaciones. Desgraciadamente, a las pocas semanas de esa charla, las vidas de todos nosotros se vieron alteradas por un ser de apenas unas micras de tamaño y todo quedó en el olvido. Sirva este artículo para recordar un célebre debate científico y esperar que en 2021 podamos organizar ese Gran Debate sobre la constante de Hubble.

Para más información:

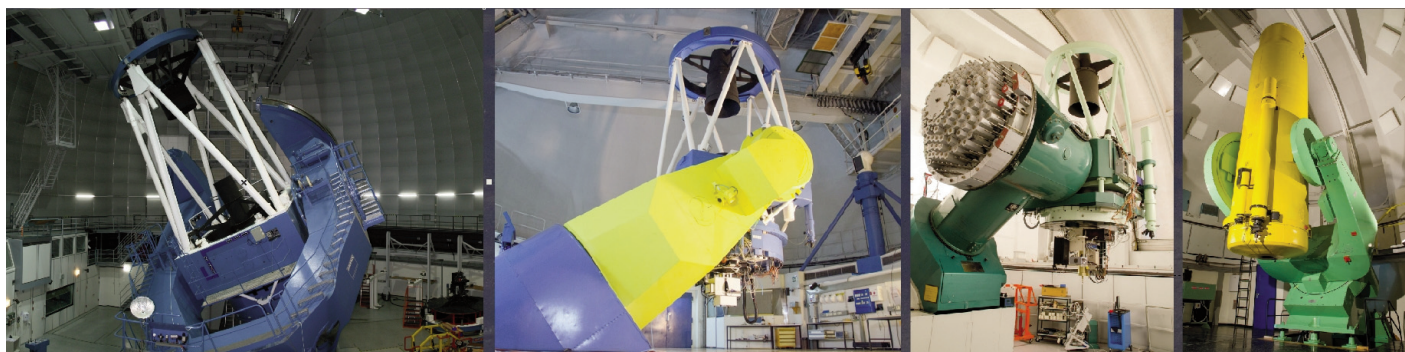
Virginia Trimble, *The 1920 Shapley-Curtis Discussion: Background, Issues and Aftermath*, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 107, pp. 1133-1144 (1995)
Harlow Shapley and Heber Curtis, *The Scale of the Universe*, *Bulletin of the National Research Council*, <https://archive.org/details/scaleofuniverse00shap/mode/2up>

EL OBSERVATORIO DE CALAR ALTO

El Observatorio de Calar Alto (CAHA) está situado en la Sierra de Los Filabres (Almería). Hasta 2018 fue operado conjuntamente por el Instituto Max-Planck de Astronomía (MPIA-MPG), en Heidelberg (Alemania), y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) en Granada. En 2019 se incorpora al complejo científico la Junta de Andalucía, en sustitución del socio alemán

LOS TELESCOPIOS

El observatorio es una Infraestructura Científico Técnica Singular (ICTS) que cuenta con cuatro telescopios de 3,5, 2,2, 1,23 y 0,8 metros de apertura, que constituyen obras maestras de precisión optomecánica cuyos sistemas electrónicos y de control se han actualizado varias veces a lo largo de la historia. Pero ante todo, lo que mantiene Calar Alto en la vanguardia de la astronomía actual es la continua renovación de los instrumentos que se acoplan a los telescopios. La ingeniería, la ciencia y la empresa española participan también en estos desarrollos.



EL CIELO

El Observatorio de Calar Alto ha supuesto desde 1975 uno de los pilares del avance de la astronomía española y alemana. La calidad del cielo, las prestaciones de sus telescopios y la renovación continua instrumental y tecnológica lo mantienen en la primera línea de la astronomía mundial.

La calidad natural intrínseca del cielo nocturno en Calar Alto hace de este lugar el mejor en Europa para la observación astronómica. Alrededor de un 70% del tiempo es útil para la observación.



DECONSTRUCCIÓN

Imagen: M51, la galaxia del Remolino. CAHA/Descubre/DSA/OAUV.

EL UNIVERSO DESDE CAHA

Las instalaciones del observatorio se hallan disponibles para la comunidad astronómica española y alemana. Los estudios desarrollados en Calar Alto abarcan desde el entorno más cercano, el Sistema Solar, hasta los confines del universo observable. Dado el carácter interdisciplinar y colaborativo de la astrofísica moderna, muchos de estos proyectos implican observaciones de apoyo para misiones espaciales y, en este ámbito, desde Calar Alto se ha contribuido con datos adicionales a las investigaciones efectuadas con los satélites CoRoT, Herschel, Deep Impact, Gaia o Rosetta, entre otros.

Calar Alto es uno de los observatorios más productivos en cuanto a artículos científicos publicados en revistas internacionales con sistema independiente de revisión por pares.

Una parte del tiempo de observación se dedica a proyectos especiales, que se desarrollan a largo plazo y que cuentan con acceso garantizado a los telescopios e instrumentos durante varios años. En este ámbito destacó hasta el año 2010 el sondeo cosmológico ALHAMBRA, orientado al análisis de las propiedades del universo desde el entorno cercano hasta grandes distancias. Posteriormente se completó el gran trabajo observacional del sondeo CALIFA, que aplicó las técnicas de la espectroscopía de campo integral a medio millar de galaxias seleccionadas del universo local, lo que ofrece información inédita sobre la estructura, evolución e historia de la formación de estrellas en estos grandes sistemas estelares, a la vez parecidos y diferentes a nuestra propia Galaxia. Actualmente están en curso las observaciones para el proyecto de vanguardia CARMENES, centrado en la investigación sobre planetas habitables en el universo.

INSTRUMENTOS Y PROYECTOS

En los últimos años se han puesto en marcha nuevos instrumentos, como CARMENES y PANIC, destinados a la búsqueda de planetas de tipo terrestre y a la observación de gran campo en el infrarrojo respectivamente, así como CAFE, un espectrógrafo de alta resolución. El observatorio ha acogido también la cámara PlanetCam, desarrollada por la Universidad del País Vasco para el estudio de las atmósferas planetarias, y un “peine de luz”, un innovador instrumento desarrollado por el Instituto Leibniz de Astrofísica y el centro innoFSPEC para la calibración de los espectrógrafos.

El observatorio mantiene un acuerdo con la Agencia Espacial Europea (ESA) para el uso exclusivo y en remoto del telesco-

pio Schmidt en su proyecto de búsqueda de cometas o asteroides cuyas órbitas los conducen a regiones cercanas a la órbita terrestre, conocidos como NEOs. Además, desde julio de 2014 el observatorio cuenta con una estación de detección de meteoros formada por cinco cámaras CCD de alta sensibilidad, desarrollado bajo la dirección científica de la Universidad de Huelva y con la colaboración del Instituto de Astrofísica de Andalucía.

En 2017 se firmaba un acuerdo con la Universidad de Pekín para el desarrollo, desde el telescopio de 2.2 metros, de un estudio intensivo de los agujeros negros supermasivos situados en la región central de las galaxias, que constituyen lo que se conoce como núcleos activos de galaxias y que se hallan entre los objetos más energéticos que existen en el universo.

EL MOBY DICK DE...

...OLGA MUÑOZ (IAA-CSIC)

MOTAS DE POLVO CÓSMICO

Desde los inicios de mi carrera científica mi vida ha estado ligada al estudio del polvo. No me refiero a entender por qué, a poco que te descuides, el polvo cubre como un manto blanco los muebles de la casa. Ese polvo, sinceramente, me importa poco. Me refiero al polvo cósmico, ese que nace en las nubes de gas en expansión alrededor de las estrellas. Esas pequeñas partículas que se unen entre sí en los discos estelares y crecen hasta llegar a formar cometas o planetas. Ese polvo que viaja desde el desierto del Sahara hasta cubrir los cielos granadinos o que cubre con gigantescas tormentas la superficie marciana. Ese es el tipo de polvo que me ha interesado durante toda mi carrera.

Este interés se inició durante mi tesis doctoral en el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Tuve la inmensa suerte de asistir en directo desde el Observatorio de Izaña al impacto del cometa Shoemaker-Levy 9 contra Júpiter. Cada uno de los veintinueve fragmentos en los que se había roto el cometa fue impactando con el planeta a lo largo de la semana del 16 de julio de 1994. Tras el análisis de las nubes de polvo gigantes producidas por el cometa en la atmósfera de Júpiter nos quedó claro que debíamos mejorar nuestros modelos para reproducir la interacción de la luz solar con las partículas de polvo. Después de todo, esa luz solar “reflejada” por la atmósfera y que llega a nuestros observatorios (terrestres o espaciales) es la única herramienta con la que contamos para caracterizar ese polvo y conocer su composición, su tamaño y cómo está distribuido dentro de la atmósfera. Y a partir de esos datos podremos estudiar el efecto de esas nubes de polvo, por ejemplo, en el perfil de temperaturas de la atmósfera.

Hasta ese momento considerábamos que esas partículas de polvo eran pequeñas esferas. Pero las partículas de polvo no son esféricas, sino que presentan una gran cantidad de geometrías: agregados más o menos porosos, partículas compactas con superficies lisas, superficies rugosas o incluso surcadas de pequeñas oquedades, como ocurre con las partículas lanzadas a la atmósfera durante las erupciones volcánicas. Cada una



En 1997 defendió su tesis, realizada en el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Realizó una estancia postdoctoral con una beca de la Agencia Espacial Europea en el departamento de física y astronomía de la Free University en Amsterdam. Tras su estancia en Amsterdam volvió al IAA, donde estudia las atmósferas planetarias y cometarias del Sistema Solar. En particular se ha especializado en el estudio experimental y teórico de la interacción de la radiación solar con las partículas de polvo que podemos encontrar en la atmósfera de interés.

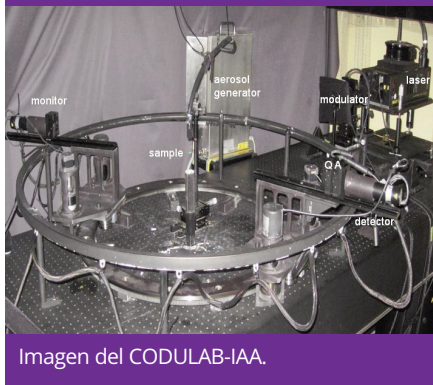


Imagen del CODULAB-IAA.

de esas partículas con geometría irregular dispersa la luz solar en todas las direcciones con un patrón característico, y ese patrón es muy diferente al que generaría una partícula con el mismo tamaño y composición, pero con geometría esférica.

El estudio computacional de la interacción de la radiación electromagnética con una nube formada por partículas de polvo con geometrías irregulares es, incluso hoy día, extremadamente costoso en cuanto a tiempo de computación y, en algunos casos (ciertos tamaños y/o geometrías complejas), irresoluble. Por ello decidí trabajar durante casi tres años en la Free University de Amsterdam, donde se hallaba el único instrumento capaz de medir en el laboratorio el patrón de dispersión de partículas de polvo naturales. Al volver al IAA, y tras saber que el laboratorio holandés se cerraría en breve, decidimos desarrollar una versión mejorada: el laboratorio de polvo cósmico del IAA (IAA-CODULAB, por sus siglas en inglés).

UN LABORATORIO, NUMEROSOS PROYECTOS

Desde las primeras medidas, allá por el año 2010, hemos trabajado en muy diferentes proyectos dentro de colaboraciones internacionales. Uno de los más recientes ha sido en el contexto de la exitosa misión Rosetta, de la Agencia Espacial Europea, que tantas alegrías ha traído al IAA. Nuestro trabajo se enfocó en estudiar si había algún tipo de

partícula de polvo que pudiera reproducir tanto las observaciones obtenidas por la cámara OSIRIS a bordo de Rosetta como las observaciones desde los observatorios terrestres, y cuyos resultados parecían ser contradictorios. Las medidas de CODULAB demostraron que sí hay un tipo de partículas que pueden reproducir tanto las observaciones de Rosetta como las tomadas desde Tierra: partículas porosas, grandes y con inclusiones de orgánicos parecen ser las predominantes en la coma, o mancha difusa central, del cometa 67P-Churyumov - Gerasimenko. Así, OSIRIS no estaba “viendo” una nube de partículas diferente a la que veíamos desde tierra, sino que las partículas mostraban estructuras tan complejas que solo las hemos podido estudiar gracias a los experimentos.

En este año 2020 nos hemos embarcado en dos proyectos muy interesantes. Por una parte, participamos en el proyecto C-CLEAN (Convocatoria Extraordinaria de Proyectos de Investigación de Emergencia sobre el COVID-19, ISCIII MICINN). Liderado por la Universidad de Sevilla, su objetivo es detectar, con medios ópticos, el tristemente conocido SARS-Cov-2 sobre superficies. Además, en breve, empezaremos a trabajar en el proyecto ROADMAP (*Role and impAct of Dust and clouds in the Martian Atmosphere: from lab to space*) financiado por el programa H2020 de la Unión Europea. En él uniremos datos de misiones espaciales (SPICAM/Mars Express, NOMAD/ExoMars TGO, MCS, CRISM & MARCI/MRO o IUVS/MAVEN) con datos de laboratorio y modelos avanzados de transferencia radiativa para estudiar el papel de las tormentas de polvo en el clima marciano. El conocimiento profundo del estado y composición de la atmósfera actual nos aportará las claves para entender su pasado y, quizás, entender cómo y por qué desapareció el agua líquida de Marte. Así que espero que mi Moby Dick siga nadando plácidamente muchos años más.

¿Por qué no hemos vuelto a la Luna?

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

El 23 de enero de 1960, Jaques Piccard y Don Walsh, a bordo del batiscafo *Trieste*, se convirtieron en los primeros seres humanos en posarse sobre el lecho marino más profundo del planeta en plena fosa de las Marianas. Nadie volvió a visitar este marciano paisaje submarino, a más de diez mil metros de profundidad, hasta cincuenta y dos años después. Pero durante ese medio siglo nadie puso en duda la veracidad de la expedición original. Nadie esgrimió con malicia: “si es verdad que hemos visitado la fosa de las Marianas, ¿por qué no hemos vuelto?”. En cambio, por alguna razón, es una de las “pruebas irrefutables” favoritas de los que defienden que el viaje a la Luna -ocurrido nueve años después- fue un cuento orquestado por el gobierno americano. Como si no volver a un lugar fuera la evidencia manifiesta de que en realidad nunca fuimos.

Teorías conspiratorias al margen, en el fondo es una pregunta de calado, porque casi cuarenta y ocho años después de la *Apolo 17* -última misión tripulada que se posó en la Luna- la historia de la conquista espacial no es la que nos prometieron. No veraneamos en el Mar de la Tranquilidad, no existen bases permanentes en la Luna, y lo último que se ha posado en nuestro satélite con éxito ha sido una misión no tripulada china en 2019, pero, de momento, ni rastro de una nueva huella humana.

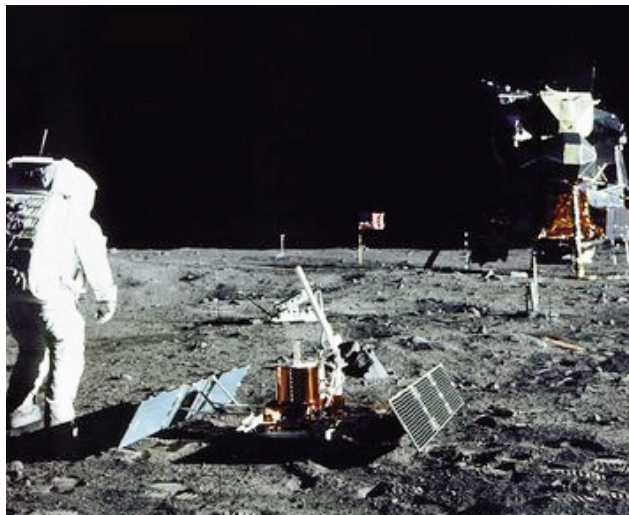
En realidad, la pregunta no es tanto por qué no hemos vuelto, sino cómo fuimos capaces de hacerlo en 1969. Visto en retrospectiva, el programa Apolo fue una aventura fuera de su tiempo, motivada por el contexto de guerra fría de aquellos años, en el que llegar a la Luna antes que los comunistas soviéticos se convirtió en una cuestión de estado. Basta que tu ene-

migo quiera algo, para que pongas todo el empeño en lograrlo antes, cueste lo que cueste. Pasó con el desarrollo de la bomba atómica y está pasando actualmente con la fabricación de cierta vacuna. La llegada a la Luna fue un “sujétame el cubata” geopolítico en toda regla. En palabras de John Logsdon, que fue Director del *Space Policy Institute* en la Universidad de George Washington, “el programa Apolo no iba sobre ir a la Luna, iba sobre demostrar el liderazgo tecnológico de Estados Unidos”.

Y el liderazgo se demuestra con (mucho)

repetido el interés político y sobre todo el empuje económico de aquella década espacial.

Ahora bien, ¿merece la pena volver a la Luna? Claro que sí. Una base lunar permanente puede ser el punto intermedio necesario para misiones más lejanas, como el viaje a Marte; puede ser un lugar excepcional para la instalación de telescopios o para sistemas de comunicación; o “simplemente”, para mantener la presencia humana en el espacio, algo que a día de hoy solo se da en la Estación Espacial Internacional.



La administración Trump ha vuelto a poner el foco en nuestra compañera en el Sistema Solar. La nueva misión de la NASA lleva el nombre de Artemisa, la hermana gemela de Apolo, y aunque el vicepresidente Mike Pence aseguró que “la primera mujer y el próximo hombre en la Luna serán astronautas estadounidenses, lanzados por cohetes estadounidenses desde suelo estadounidense”, es complicado creer que una misión a la Luna no pase por el concurso de otras naciones y sobre todo por la participación de empresas privadas como SpaceX y Blue Origin.

Pero entre pandemias y emergencias climáticas, el gran reto no será ni tecnológico ni financiero, sino lograr volver a ilusionar a todo un planeta como se hizo aquel julio de 1969. En 2018 se hizo una encuesta entre la población americana y un 43% no consideraban que volver fuera una prioridad, mientras que un 19,2% defendía que bastaría con enviar robots (curiosamente, un 63% veía en Marte un destino prioritario, y un 91% que lo fundamental era escudriñar el cielo en busca de asteroides “asesinos”). Mientras los chicos y chicas sueñan con ser youtubers y no astronautas, lo más parecido a regresar a nuestro satélite será volver a contratar a un cineasta, aunque Kubrick ya no podrá rodar la segunda parte.

pero entre pandemias y emergencias climáticas, el gran reto no será ni tecnológico ni financiero, sino lograr volver a ilusionar a todo un planeta como se hizo aquel julio de 1969. En 2018 se hizo una encuesta entre la población americana y un 43% no consideraban que volver fuera una prioridad, mientras que un 19,2% defendía que bastaría con enviar robots (curiosamente, un 63% veía en Marte un destino prioritario, y un 91% que lo fundamental era escudriñar el cielo en busca de asteroides “asesinos”). Mientras los chicos y chicas sueñan con ser youtubers y no astronautas, lo más parecido a regresar a nuestro satélite será volver a contratar a un cineasta, aunque Kubrick ya no podrá rodar la segunda parte.

La fusión de dos galaxias genera la versión juvenil de un blázar, uno de los objetos más energéticos conocidos

SE HA OBTENIDO LA PRIMERA DETECCIÓN INEQUÍVOCA DE UN CHORRO DE MATERIAL A ALTÍSIMA VELOCIDAD QUE EMERGE DE UNA GALAXIA EN PROCESO DE COLISIÓN CON OTRA

Los blázares son las fuentes de radiación continua más potentes del universo. Al igual que el resto de las galaxias activas, muestran una estructura formada por un agujero negro supermasivo central rodeado de un disco de materia que lo alimenta, pero se hallan entre el 10% de las galaxias activas que presentan un chorro de materia que emerge de ambos polos a altísima velocidad, y entre el porcentaje aún menor de casos en los que su orientación nos permite ver el chorro casi de frente. Ahora, un grupo de investigadores ha fotografiado una versión juvenil de un blázar, un resultado que apunta a que los chorros se producen debido a la fusión entre galaxias.

"Las galaxias activas que presentan chorros son, generalmente, grandes y viejas galaxias elípticas. Y, según los modelos, estas se forman por la fusión de dos o más galaxias menores, de modo que se asume que estas fusiones son las responsables de la activación de los chorros —apunta Rubén García-Benito, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que participa en el hallazgo—. De hecho, una colisión es un método muy eficaz para transportar grandes masas de gas hacia el centro de las galaxias, lo que alimenta el agujero negro

supermasivo y puede producir la emergencia del chorro".

Y el grupo de investigadores ha hallado, precisamente y por primera vez, un ejemplo de ese escenario: una pareja de galaxias espirales jóvenes en pleno proceso de fusión, que muestran sendos agujeros negros supermasivos en sus núcleos. Uno de ellos (el más masivo) presenta un chorro muy joven, con una edad estimada inferior a quince mil años, cuya existencia puede atribuirse a la interacción entre las galaxias, que comenzó hace como mínimo quinientos millones de años.

"Vemos el chorro de frente, de modo que hemos hallado el precursor de un blázar. En la terminología científica, estas jóvenes galaxias espirales que albergan chorros se denominan galaxias Seyfert 1 de línea estrecha emisoras de rayos

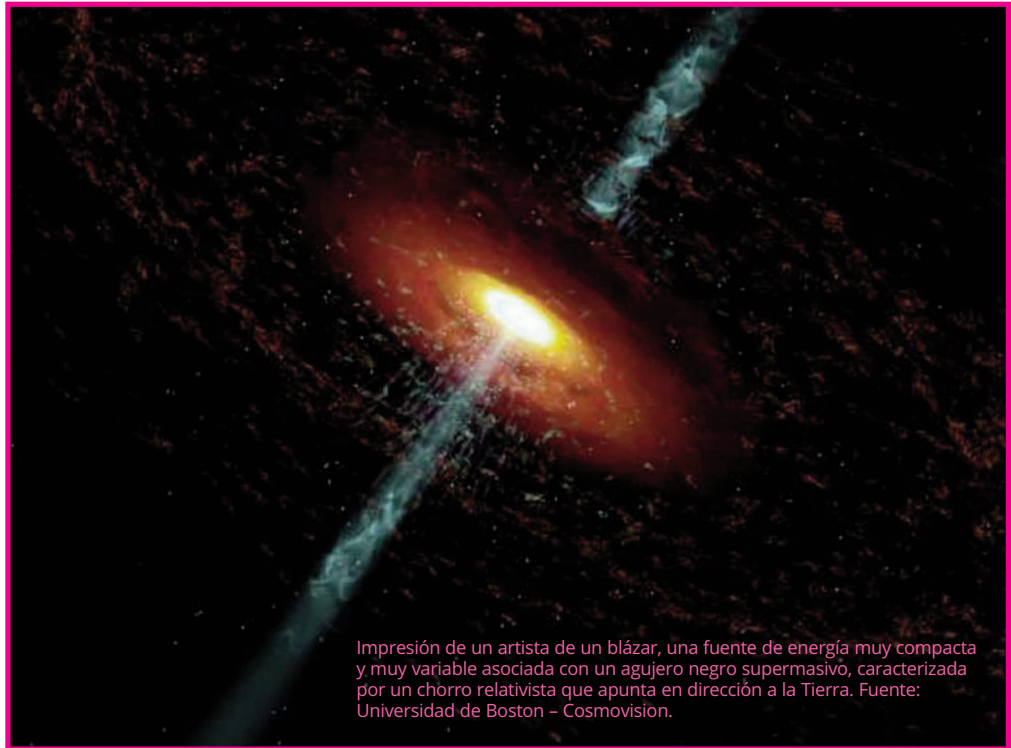
gamma (g-NLSy1). Como analogía podemos pensar que, si un blázar es un adulto, un g-NLSy1 sería un niño", señala Enrique Pérez Jiménez, investigador del IAA-CSIC que participa en el trabajo.

Por lo general, el brillo de los blázares es tan intenso que ocultan la galaxia que los alberga, de modo que estudiar su entorno resulta difícil. Sin embargo, el chorro hallado en esta galaxia g-NLSy1, menos energético, sí ha permitido estudiar el gas o las estrellas de la galaxia anfitriona, una información muy valiosa para trazar el origen de los chorros.

El equipo obtuvo la imagen usando varios de los telescopios terrestres más grandes del mundo, como el telescopio infrarrojo óptico Subaru (8.2 metros) ubicado en Hawái, el Gran Telescopio Canarias (10.4 metros) y el Telescopio William

Herschel (4.2 metros), ambos en La Palma, así como con el observatorio espacial de rayos X Chandra (NASA).

"Tanto el fenómeno de la colisión entre galaxias como los chorros se conocen desde hace décadas, y disponemos de imágenes de gran calidad de ellos. Este trabajo muestra que estos dos extraordinarios eventos podrían estar conectados, y que las fusiones de galaxias juegan un papel crucial en el ciclo de vida de una galaxia. Entre todos los g-NLSy1 conocidos, unos quince hasta la fecha, más del 70% exhiben características similares a las que esperamos en una colisión de galaxias, de modo que nuestro resultado muestra también la enorme importancia de estudiar estos objetos con las mejores herramientas posibles", concluye Rubén García-Benito (IAA-CSIC).



Impresión de un artista de un blázar, una fuente de energía muy compacta y muy variable asociada con un agujero negro supermasivo, caracterizada por un chorro relativista que apunta en dirección a la Tierra. Fuente: Universidad de Boston - Cosmovision.

El EHT revela estructuras inesperadas en el cuásar 3C279

LA COLABORACIÓN TELESCOPIO HORIZONTE DE SUCESOS (EHT), QUE PUBLICÓ LA PRIMERA IMAGEN DE UN AGUJERO NEGRO, OBSERVA AL DETALLE EL CHORRO QUE EMERGE DE UN AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO

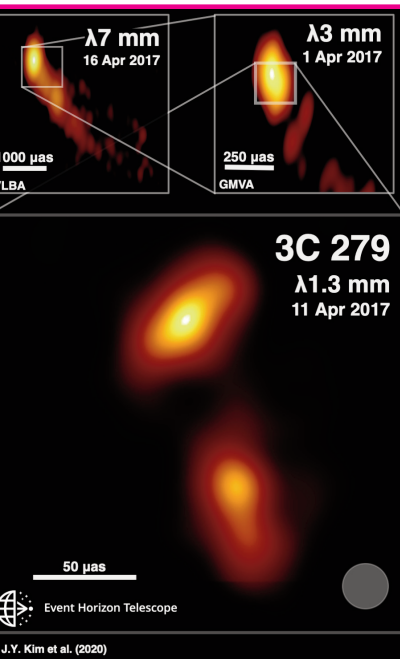
La colaboración del Telescopio Horizonte de Sucesos (EHT), un telescopio a escala planetaria que tomó la primera imagen de un agujero negro, continúa extrayendo información de los datos recopilados en su campaña global de abril de 2017. El objetivo de las observaciones en este caso fue el cuásar 3C 279, una galaxia activa que contiene en su núcleo un agujero negro supermasivo que absorbe materia a través de un disco y, al mismo tiempo, expulsa parte del gas a través de dos finos chorros que emergen de los polos casi a la velocidad de la luz. Los datos del EHT, que muestran los detalles más nítidos obtenidos, permiten observar el chorro y el

disco en acción y han revelado características inesperadas.

Los datos muestran que el chorro, normalmente recto, tiene una forma retorcida en su base. Además, por primera vez se observan estructuras perpendiculares a él. Al comparar las imágenes en días sucesivos se detectaron cambios en sus detalles más finos, que se han interpretado como producto de la rotación del disco, que tritura y absorbe material, y del que emana el chorro. Se trata de un escenario que hasta ahora solo habíamos visto en simulaciones numéricas.

“Donde esperábamos encontrar la región donde se forma el chorro encontramos una estructura perpendicular. Esto es como encontrar una forma diferente abriendo la muñeca matrioska más pequeña”, apunta Jae-Young Kim, investigador del Instituto Max Planck de Radioastronomía de Bonn que encabeza la investigación.

Además, el hecho de que las imágenes cambien tan rápido también ha supuesto una sorpresa. “Los chorros relativistas suelen producir la ilusión



nos han permitido establecer un modelo físico capaz de explicar cómo estos agujeros negros supermasivos pueden convertirse en los objetos más energéticos del universo, pero ha bastado una sola imagen del EHT para replantearnos muchas de nuestras hipótesis previas, y en particular cómo se generan los chorros a partir del acrecimiento de materia en torno al agujero negro central”, comenta José Luis Gómez, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y miembro del equipo de investigación.

La interpretación de las observaciones es complicada. Estos movimientos transversales aparentes, de unas veinte veces la velocidad de la luz, son difíciles de reconciliar con la comprensión que se tenía de la fuente, y apunta a ondas de choque o inestabilidades en un chorro curvo, posiblemente giratorio, que también emite a altas energías, como los rayos gamma.

óptica de viajar a mayor velocidad que la luz, lo que conocemos como movimiento superlumínico aparente, pero en 3C279 lo estamos viendo desde una perspectiva perpendicular a lo esperado, lo que requiere un análisis cuidadoso”.

“Durante las últimas décadas observaciones de VLBI del cuásar 3C279

El laboratorio de polvo cósmico del IAA se reinventa para estudiar la detección de coronavirus en superficies

EL IAA SE IMPLICA EN UN PROYECTO PARA EL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO QUE PERMITA EL ANÁLISIS DE SUPERFICIES CONTAMINADAS POR EL SARS-COV-2

En abril arrancaba un proyecto presentado por investigadores de distintas instituciones andaluzas para el diseño de un prototipo capaz de detectar el virus SARS-CoV-2 sobre superficies de distintos materiales mediante el uso de tecnologías ópticas ya existentes combinadas con inteligencia artificial (IA). Al proyecto,

financiado por el Instituto de Salud Carlos III, dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación, se sumaba en mayo el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) a través del su Laboratorio Cósmico de Polvo (CODULAB, de su nombre en inglés). El CODULAB es un laboratorio experimental que estudia cómo las partícu-

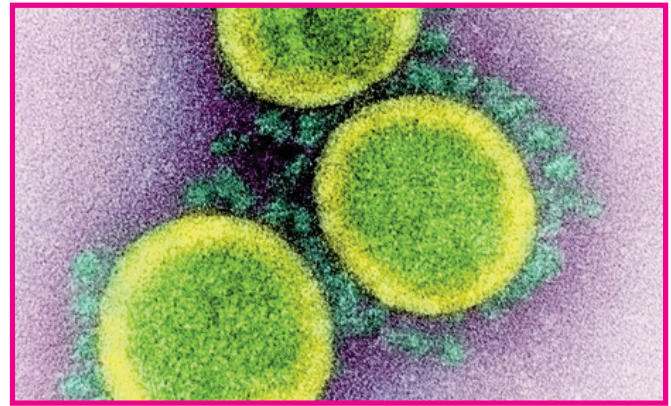
las de polvo dispersan la luz, algo esencial para el estudio de las atmósferas planetarias, de la envoltura de gas y polvo que rodea el núcleo de los cometas o de los discos donde se forman los planetas. También ha estudiado muestras de polvo producido por erupciones volcánicas o desplazado por grandes tormentas de polvo

en nuestro planeta y, ahora, está siendo adaptado para detectar virus sobre distintos tipos de superficies.

“Para empezar vamos a trabajar con un láser que emite a una longitud de onda del orden del tamaño del virus, de esa forma será más fácil su detección. Además, estamos adaptando el tren óptico para poder estudiar superficies en vez de las nubes de polvo cósmico con las que solemos trabajar”, apunta Olga Muñoz, investigadora del IAA-CSIC que coordina el laboratorio. El proyecto al que los investigadores del IAA-CSIC se incorporan, y que se lidera desde el Grupo de Física Interdisciplinar del Departamento de Física Aplicada III de la ETS de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, responde a la carencia actual de

métodos de detección y visualización de la presencia del virus en superficies. Su objetivo reside en desarrollar un prototipo portátil que combinaría sistemas de lectura de imágenes multispectrales, tanto en el rango óptico (de ultravioleta a infrarrojo térmico) como en el rango de terahercios, métodos de análisis mediante óptica computacional e inteligencia artificial (*machine learning*).

Esto permitiría el análisis rápido y sin contacto de las zonas contaminadas por medio de la generación de mapas de distribución espacial en el campo de visión del dispositivo. A su vez, supondría un gran avance al disponer de métodos que ayuden a la limpieza y descontaminación de dispositivos



médicos e instalaciones y a la reducción del contagio por contacto.

“Con la entrada del CODULAB en el proyecto se añade la polarimetría a las distintas técnicas ópticas que se están

estudiando como herramienta diagnóstica para detectar el virus SARS-CoV-2 depositado sobre superficies de distintos materiales”, apunta Olga Muñoz (IAA-CSIC).

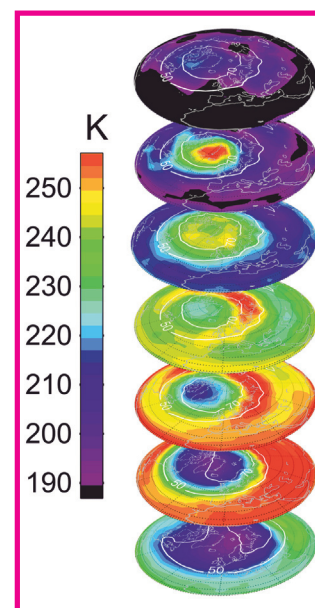
Primera detección en otoño de una estratopausa elevada, un fenómeno atmosférico invernal

INVESTIGADORES DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA DETECTAN, EN ARCHIVOS DE DATOS DE 2009, UNA ESTRATOPAUSA ELEVADA EN NOVIEMBRE, UN FENÓMENO NUNCA VISTO FUERA DEL PERIODO INVERNAL

La atmósfera terrestre se divide en cinco capas (troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y exosfera), una división que atiende a la temperatura del aire en cada región y que no establece una división férrea: la atmósfera es un sistema dinámico y altamente acoplado y lo que ocurre en una región puede influir en otra, de modo que la altura de las capas puede variar.

Uno de estos cambios bien documentados son las estratopausas elevadas, fenómenos invernales en los que la estratosfera puede alcanzar los 85 kilómetros, muy por encima de los entre 50 y 55 kilómetros a los que, en condiciones normales, finaliza esta capa. Ahora, investigadores del IAA-CSIC han detectado este fenómeno en otoño, algo nunca visto antes.

La estratosfera abarca entre los 10 y los 50-55 kilómetros de altura y es rica en ozono, que absorbe la radiación dañina del sol. En esta capa la temperatura del aire asciende con la altura hasta un máximo, la estratopausa, que establece la división con la siguiente capa, la mesosfera, en la que la temperatura desciende con la altura. La estratopausa es la región de transición entre ambas capas, situada, dependiendo de la latitud y la estación, entre los 50 y los 55 kilómetros de altura.



Secciones horizontales de temperatura en el hemisferio norte a unos 30, 40, 50, 55, 65, 82 y 92 km (de abajo a arriba) el 29 de noviembre de 2009. Las líneas blancas son indicativas de la posición del vórtice polar. La estratopausa elevada a 260 grados kelvin y 82 kilómetros se encuentra significativamente desplazada del polo.

UN FENÓMENO FUERA DE TEMPORADA

“Las estratopausas elevadas suceden en latitudes polares tras algunos

calentamientos estratosféricos súbitos, que a su vez son consecuencia de una intensificación de la actividad de ondas planetarias generadas en la superficie. Son un muy buen ejemplo de acoplamiento atmosférico, a través del que unas regiones atmosféricas responden a fenómenos originados en otras –apunta Maya García-Comas, investigadora del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que coordina el estudio–. Los calentamientos estratosféricos capaces de generar estratopausas a gran altura no son raros en pleno invierno, pero sí lo son en noviem-

bre. Así que detectar una estratopausa elevada en esta época del año es cuanto menos sorprendente". El instrumento MIPAS, a bordo de la misión Envisat, midió la estratopausa sobre Groenlandia a 82 kilómetros durante unos pocos días en noviembre de 2009, una altura muy elevada comparada con su altura climatológica en la temporada invernal, de unos 55 kilómetros. Se trató de un fenómeno a pequeña escala, con una extensión y duración inferiores a las típicas de pleno invierno, pero igualmente extraordinario. "Se for-

maron dos anticiclones en la estratosfera baja, la estratopausa desapareció unos pocos días y resurgió a más de 25 kilómetros por encima de su altura climatológica, mostrando una asimetría longitudinal considerable. La estratopausa tardó algo más de una semana en recuperar su altura usual", detalla Maya García-Comas (IAA-CSIC).

El estudio de las estratopausas elevadas permite comprender mejor los mecanismos de transferencia de energía entre la superficie del planeta y la media y alta atmósfera, así

como la distribución de los distintos compuestos atmosféricos, que se ve alterada en este tipo de episodios: por ejemplo, se intensifica el transporte vertical de aire en la mesosfera baja, que conduce a una mayor destrucción de ozono estratosférico.

La estratopausa elevada de noviembre de 2009 constituye, hasta ahora, un fenómeno único y algo distinto a los registrados anteriormente, de modo que el grupo de investigadores lo ha denominado BM-ES, acrónimo en inglés de "estratopausa elevada breve de mesoescala". Su origen

último, fuera de la época invernal, no queda del todo claro. "Sabemos que el cambio climático afecta a la variabilidad en la actividad de las ondas planetarias originadas en la superficie. Siendo este el único suceso de este tipo conocido, aún es pronto para saber si tiene alguna relación con el cambio climático. En cualquier caso, requiere que permanezcamos vigilantes y examinemos los datos para comprobar si se trata de una excepción o de un fenómeno recurrente", concluye Maya García-Comas (IAA-CSIC).

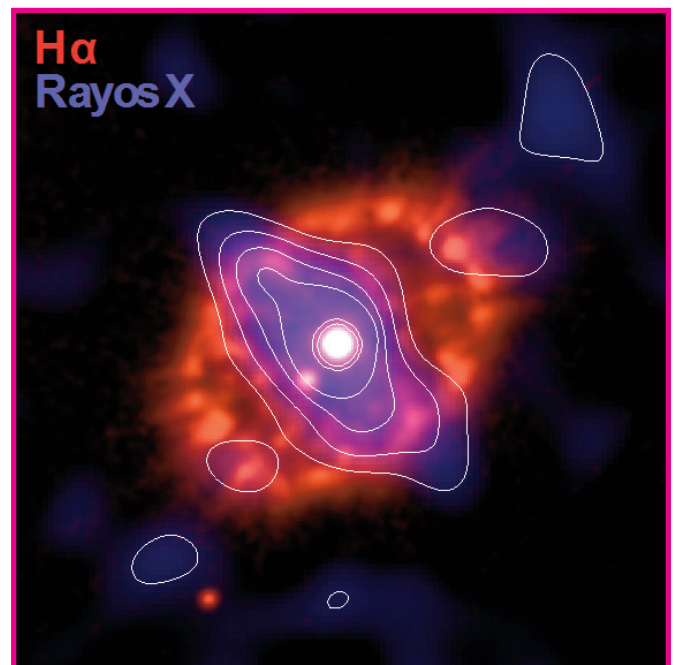
Descubren que las novas, un tipo de explosiones en sistemas dobles de estrellas, se expanden sin freno

EL IAA-CSIC PARTICIPA EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN DEL CASCARÓN DE MATERIAL EXPULSADO POR VARIAS EXPLOSIONES DE NOVA. AL CONTRARIO DE LO QUE SE ASUMÍA, LAS NOVAS SE EXPANDEN SIN FRENO HASTA SU FINAL, CUANDO ACABAN DISIPÁNDOSE EN EL MEDIO INTERESTELAR

Las novas son fenómenos estelares explosivos que producen un cascarón de material en expansión y que, al contrario que las supernovas, no implican la desaparición de la estrella progenitora. Conocidas desde hace siglos, su evolución en el tiempo apenas ha sido estudiada y los modelos predecían una reducción de su velocidad de expansión a la mitad después de entre cincuenta y cien años. Ahora, un estudio revela que la expansión de las novas es imparable hasta su final.

Las novas se producen en sistemas binarios de estrellas en los que una de las componentes es una enana blanca (el denso núcleo de una estrella de tipo solar que ha expulsado su atmósfera). La enana blanca captura material de su estrella compañera y forma una capa de hidrógeno superficial que, al alcanzar cierta masa crítica, desencadena una explosión -una nova- que hace aumentar en miles de veces su brillo y que expulsa las capas externas a velocidades de cientos o miles de kilómetros por segundo. Pasado un tiempo, el sistema se estabiliza y el proceso de acumulación de materia sobre la enana blanca se retoma.

"Este material forma un cascarón que se expande rápidamente y que pronto podemos observar con telescopios espaciales y terrestres -apunta Martín A. Guerrero, investigador del IAA-CSIC que participa en el trabajo-. La evolución completa de una nova ocurre en escalas similares a las de la vida humana, de modo que podemos presenciar todo el proceso y establecer comparaciones con eventos similares, pero mucho más extensos en el tiempo, como la formación de las nebulosas



Combinación de imágenes de la nova DQ Her en rayos X (azul) obtenidas con el telescopio espacial Chandra y H-alfa (rojo) del Nordic Optical Telescope. Los contornos trazan la emisión en rayos X del flujo magnetizado que emana de DQ Her. (Toalá et al. 2020).

planetarias o las explosiones de supernova".

Se sabe que la evolución de las novas depende del propio evento explosivo y de la interacción del mate-

rial expulsado con el medio que rodea a las estrellas, que pueden incluso presentar una envoltura común. Sin embargo, la evolución de la expansión del material apenas se conoce y

hasta ahora solo disponíamos de modelos simplificados que apuntaban a una pérdida de velocidad del 50% de su valor inicial pasado un intervalo de tiempo de entre cincuenta y cien años tras el estallido de la nova.

"La disponibilidad de imágenes a largo plazo de alta calidad de los cascarones de las novas en archivos astronómicos es una mina de oro para evaluar su expansión", señala Martín A. Guerrero (IAA-CSIC). Así, el grupo de investigadores empleó datos de archivo, que se complementaron con imágenes actuales toma-

das con el Nordic Optical Telescope, en la isla de La Palma, para investigar la expansión angular de cinco cascarones de nova con edades de entre cincuenta y ciento treinta años.

Y, contrariamente a las expectativas teóricas, las novas de la muestra presentan una expansión sin freno que continuará hasta su final, cuando se diluyan en el medio interestelar. "La energía mecánica y el impulso del material en el cascarón de una nova es, por lo visto, lo suficientemente grande como para barrer sin freno el material presente alrededor de la

enana blanca", afirma Edgar Iván Santamaría, investigador de la Universidad de Guadalajara (México) que encabeza el trabajo.

El caso mejor estudiado en esta muestra es DQ Her, un sistema variable cataclísmico (un par de estrellas que muestra súbitos e intensos cambios de brillo) que experimentó una explosión en diciembre de 1934. DQ Her presenta una expansión muy veloz, una característica que llevó al equipo investigador a estudiar su contenido de gas caliente con los satélites de rayos X Chandra y XMM-Newton.

"Para nuestra sorpresa, observamos que el material expulsado en la nova presenta un chorro magnetizado. Este chorro revela que, tras la explosión de 1934, el fuerte campo magnético de la enana blanca del sistema ha tomado el control del proceso de captura de material que, nuevamente, se está acumulando en su superficie", señala Jesús A. Toalá, investigador del Instituto de Radioastronomía y Astrofísica (IRyA, Morelia, México) que encabezó la investigación sobre DQ Her.

Detectan la línea verde del oxígeno en la atmósfera de Marte

EL INSTRUMENTO NOMAD, A BORDO DE LA MISIÓN EXOMARS (ESA) EN ÓRBITA ALREDEDOR DE MARTE, HA DETECTADO ESTA EMISIÓN DIURNA DEL OXÍGENO ATMOSFÉRICO POR PRIMERA VEZ FUERA DE LA TIERRA

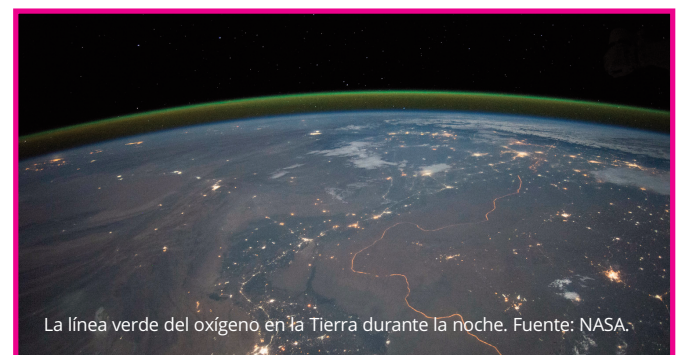
La luminiscencia atmosférica es un fenómeno natural de nuestra atmósfera, que resulta de la interacción entre la luz solar y los átomos que la componen. Dependiendo del compuesto involucrado se emite luz en distintas longitudes de onda, siendo una de las más intensas la debida a la excitación de los átomos de oxígeno, que aportan el tono verdoso de las auroras polares y producen una línea verde sobre el planeta observable de noche desde el espacio. La emisión del oxígeno durante el día es más esquiva, ya que compite con la luz solar, y hasta ahora nunca se había observado en otros planetas. Gracias a la modificación de la orientación del instrumento NOMAD a bordo de la misión *TGO-ExoMars*

(ESA), se ha detectado por primera vez en la atmósfera de Marte.

"El descubrimiento de la presencia de la línea verde del oxígeno atómico en la atmósfera de Marte abre una ventana para el estudio del comportamiento y fotoquímica de este planeta, y su estudio nos proporciona una herramienta para comprender la interacción de la radiación solar con la atmósfera marciana", apunta José Juan López-Moreno, investigador del IAA-CSIC que participa en el hallazgo.

La detección requirió cambiar la orientación del instrumento NOMAD, a bordo de la nave *Trace Gas Orbiter* (TGO-ExoMars/ESA), que se halla en órbita alrededor del planeta rojo desde octubre de 2016. NOMAD observa, en el visible y en el ultravioleta, la cara iluminada de Marte para medir la columna de nubes, polvo y ozono, pero el cambio de orientación le permitió observar el limbo del planeta a distintas altitudes y buscar la emisión diurna del oxígeno.

Y, en efecto, NOMAD detectó dos picos de emisión producidos por átomos de oxígeno, uno más brillante a unos 80 kilómetros de altura y otro más débil a unos 120 kilómetros. "Era esperable, pero difícil de observar. Por fin la hemos encontrado —señala Miguel



La línea verde del oxígeno en la Tierra durante la noche. Fuente: NASA.

Ángel López-Valverde, investigador del IAA-CSIC que participa en el hallazgo—. Y el buen ajuste que hemos conseguido con un modelo fotoquímico revela que nuestra descripción de los mecanismos de excitación del oxígeno atmosférico son correctos en un ambiente diferente al terrestre y, por tanto, exportables a otros mundos". Los investigadores concluyeron que la línea verde de la atmósfera de Marte se produce por la fotodisociación de las moléculas de dióxido de carbono, el elemento más abundante en la atmósfera marciana. Una vez rotas estas moléculas en oxígeno y monóxido de carbono, los átomos de oxígeno interaccionan con la radiación ultravioleta del Sol y producen la luminiscencia en la región verde de la luz

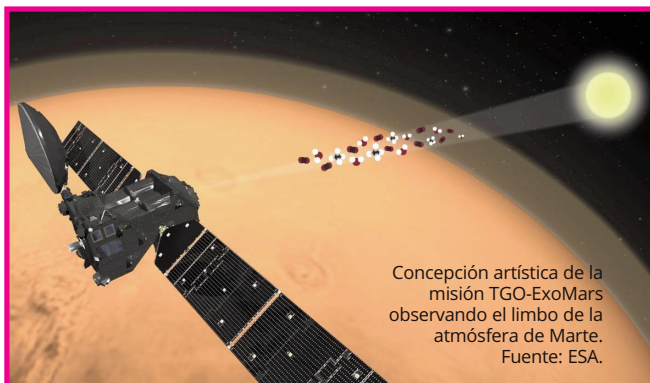
visible y una emisión más débil en el ultravioleta.

"Hemos podido cuantificar la relación entre las emisiones en el visible y el ultravioleta del oxígeno atómico. Hasta ahora había una fuerte discrepancia entre los resultados obtenidos mediante modelos de física atómica y las medidas realizadas, nunca de forma simultánea, de estas dos emisiones en la Tierra, debido a que la atmósfera permite el paso de la radiación visible pero obstaculiza la ultravioleta. Con NOMAD midiendo desde fuera de la atmósfera en ambas partes del espectro hemos podido medir la relación de ambas emisiones y así confirmar que los valores que más se ajustan a la realidad son los obtenidos por los modelos de física atómica. Una

vez más, la exploración espacial ha permitido resolver problemas de otra forma irresolubles”, destaca José Juan López-Moreno (IAA-CSIC).

La variación en intensidad y altura de la línea verde en Marte depende de la distribución del dióxido de carbono en la atmósfera. Los datos de NOMAD permitirán detectar remotamente cambios estacionales en el dióxido de carbono a una altura de unos 80 kilómetros desde la superficie, una región de la atmósfera inaccesible con medidas directas pero que resulta imprescindible conocer para el envío de misiones tripuladas y no tripuladas.

“Además, esto puede tener gran interés para el estudio de las atmósferas



Concepción artística de la misión TGO-ExoMars observando el limbo de la atmósfera de Marte. Fuente: ESA.

de los planetas en otros sistemas solares y la búsqueda de señales de vida. La luminiscencia del oxígeno revela la presencia de este compuesto, muy

abundante en la Tierra debido a la fotosíntesis. Así que, si la línea verde en un exoplaneta fuese mucho más intensa que la emisión que acabamos

de descubrir en Marte, comparable o mayor que la intensidad observada en la Tierra, podría ser un indicador indirecto de algún tipo de vida capaz de realizar algún tipo de fotosíntesis”, apunta Miguel Ángel López-Valverde (IAA-CSIC).

“Personalmente, en vísperas de mi jubilación por edad, esta detección ha sido un premio. Mi primer trabajo de investigación, mi tesina de licenciatura, se centró en el estudio de esta misma emisión en la atmósfera terrestre. Su descubrimiento por el instrumento NOMAD ahora en la de Marte es como un precioso broche en mi transcurrir investigador”, concluye José Juan López-Moreno (IAA-CSIC).

Se hallan dos supertierras alrededor de la estrella enana roja más brillante de nuestro vecindario solar

EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC) PARTICIPA EN EL DESCUBRIMIENTO DE UN SISTEMA PLANETARIO MÚLTIPLE EN TORNO A GJ887, UNA ESTRELLA SITUADA A 10.7 AÑOS LUZ DE DISTANCIA



Concepción artística de una supertierra en torno a una estrella enana roja. Fuente: NASA.

Desde el hallazgo, en 1995, del primer planeta fuera de nuestro Sistema Solar, se han detectado más de cuatro mil planetas extrasolares, que han supuesto un cambio de paradigma en nuestra concepción de los sistemas planetarios y que muestran el avance en la capacidad de detección. A día de hoy el desafío consiste en caracterizar esos planetas y en explorar las posibilidades de que contengan agua o, incluso, alguna forma de vida, un escenario en el que los exoplanetas más cercanos resultan idóneos. Un trabajo, publicado hoy en la revista Science,

difunde el descubrimiento de dos supertierras y un posible tercer planeta en torno a una estrella vecina, que forman el sistema planetario compacto más cercano conocido.

GJ887, situada a unos 10.7 años luz, es la duodécima estrella más cercana. Se trata de una estrella enana roja, el tipo de estrellas más común en la Vía Láctea, que presenta una masa equivalente a la mitad de la de nuestro Sol y una temperatura aproximada de unos 3400 grados, unos 2100 grados más fría que nuestra estrella.

“Hemos hallado dos supertierras, o pla-

netas más masivos que Tierra, en torno a GJ887 –señala Eloy Rodríguez, investigador del IAA-CSIC que participa en el hallazgo–. Los planetas, denominados GJ887b y GJ887c, presentan respectivamente una masa mínima de unas cuatro y siete veces la terrestre, y ambos giran alrededor de su estrella a una distancia menor que la zona de habitabilidad, o región en la que sería posible la existencia de agua líquida en superficie. Sin embargo, el segundo planeta orbita muy cerca del borde interno de dicha zona. Además, hemos encontrado indicios de la exis-

tencia de una tercera supertierra que, de confirmarse, se hallaría dentro de la zona de habitabilidad”.

GJ887 se convierte así en uno de los sistemas multiplanetarios más cercanos conocidos, solo por detrás de los de Próxima Centauri y Wolf359, situados a 4.2 y 7.9 años luz de distancia y con dos planetas detectados en cada uno. GJ887 constituye el más compacto, con sus dos planetas girando en torno a la estrella cada 9.3 y 21.8 días, y el tercer candidato cada 51 días.

“Dada su masa mínima, en principio podrían ser supertierras rocosas, pero esto no lo sabemos con seguridad. A falta de una medida del radio, que no tenemos porque los planetas no transitan, no podemos determinar su densidad media. Además, dependiendo de la inclinación de la órbita con respecto a nosotros, las masas podrían ser mucho mayores y pasar al rango de los minineptunos, con mayor contenido de agua en su estructura”, apunta Pedro J. Amado, investigador del IAA-CSIC que participa en el trabajo.

LA ESTRELLA TRANQUILA

Las estrellas enanas rojas muestran,

no obstante, una característica que podría dificultar la presencia de vida en los planetas que las rodean: se trata de estrellas que muestran una actividad superficial mucho mayor que las de tipo solar, con fulguraciones magnéticas relativamente frecuentes. En este sentido, GJ887 puede resultar especialmente interesante. A diferencia de Próxima Centauri y de Wolf359, que presentan gran actividad magnética en sus superficies, parece tratarse de una estrella muy tranquila. Ha sido observada durante tres meses con el

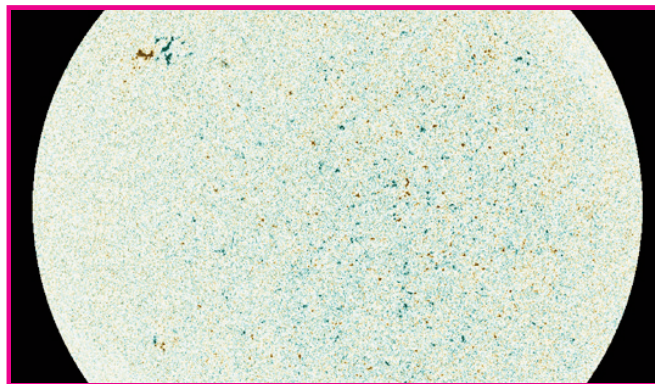
espectrógrafo HARPS, unos de los instrumentos cazaplanetas más precisos, y se han empleado datos de archivo de varios espectrógrafos que abarcan más de veinte años, además de observaciones fotométricas desde tierra y desde el espacio. "Con todos estos datos no hemos detectado fulguraciones. Incluso la detección fotométrica de actividad magnética superficial es muy débil, lo que hace de este sistema planetario un candidato muy interesante para investigar la existencia de planetas rocosos susceptibles de albergar vida",

indica Eloy Rodríguez (IAA-CSIC). A la alta estabilidad de GJ887 se suman su proximidad y su alto brillo aparente, ya que se trata de la enana roja más masiva del entorno solar y, por tanto, la de mayor radio. Esto hace que sus planetas constituyan candidatos ideales para investigar la posible presencia de atmósferas y moléculas concretas con instrumentación de nueva generación, como el telescopio espacial James Webb, cuyo lanzamiento está previsto para marzo de 2021.

Los planetas se han hallado en el marco de la colaboración internacional RedDots gracias a la técnica Doppler, que permite detectar el pequeño movimiento que los planetas producen en su estrella al girar en torno a ella. En España participan, además del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y el Instituto de Ciencias del Espacio (ICE).

SO/PHI, a bordo de Solar Orbiter, obtiene el primer mapa magnético autónomo del Sol

CODESARROLLADO POR EL IAA, SO/PHI HA OBTENIDO EL PRIMER MAPA MAGNÉTICO DE LA SUPERFICIE DEL SOL SIN INTERVENCIÓN HUMANA Y DESDE EL ESPACIO



Mapa del campo magnético solar obtenido con el SO/PHI. Fuente: SOLAR ORBITER/ PHI/ ESA/ NASA.

La misión Solar Orbiter, desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) con la participación de la NASA, despegó hacia su órbita en torno al Sol el pasado 9 de febrero. La misión se diseñó para observar el Sol desde una perspectiva sin precedentes y para estudiar la física solar y la influencia del Sol en el medio interplanetario. A pocos meses del lanzamiento obtuvo sus primeros resultados científicos, que se presentaron en abierto en una conferencia de prensa. Entre ellos se hallaba el primer mapa magnético del Sol obtenido desde el espacio sin intervención humana, enviado a tierra por el instrumento SO/PHI, codesarrollado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

La misión se halla ahora en su fase de crucero inicial, que se extenderá hasta noviembre de 2021, en la que irá elevando su plano orbital para acceder a las latitudes altas y le permitirá obtener la primera vista de calidad del campo

magnético de los polos. "Los instrumentos a bordo de la nave no han estado inactivos: acaban de completar la primera fase de puesta a punto, en la que las actividades se han centrado en comprobar que todos los complejos sistemas funcionan correctamente y, en caso de observar desviaciones, encontrar medidas para resolverlas o mitigarlas", señala Jose Carlos del Toro Iniesta, investigador del IAA que colidera el instrumento SO/PHI.

Solar Orbiter girará alrededor del Sol en una órbita con una distancia mínima inferior a la de Mercurio y fuera de la eclíptica, lo que le proporcionará una perspectiva única y le permitirá observar los polos del Sol. Además, sus instrumentos tomarán medidas locales y remotas, lo que aportará la primera

visión completa tanto de la física solar como de la heliosférica.

Solar Orbiter es la primera misión espacial con liderazgo español en dos instrumentos: el instrumento EPD, el detector de partículas energéticas, liderado por la Universidad de Alcalá y la Universidad de Kiel (Alemania), y el magnetógrafo PHI, liderado por el Instituto Max Planck de Investigaciones del Sistema Solar (Gotinga, Alemania) y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), de Granada.

SO/PHI: CUANDO LA CIENCIA SE HACE EN VUELO

SO/PHI es un generador de imágenes polarimétricas y heliosismológicas cuyo objetivo reside en la realización

de un cartografiado preciso del campo magnético solar, responsable de prácticamente todos los fenómenos que observamos en el Sol. SO/PHI medirá también la velocidad del plasma en la fotosfera, la capa más interna de la atmósfera del Sol y de donde procede el viento solar.

SO/PHI ha sido construido por un consorcio internacional (45% Alemania, 42% España, 10% Francia y el resto otros países). La parte española se ha coordinado desde el IAA-CSIC, con la participación del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad de Valencia, la Universidad de Barcelona y el Instituto de Astrofísica de Canarias.

La autonomía es una de las singularidades de SO/PHI, posible gracias a su inversor electrónico, el primero de su categoría desarrollado hasta la fecha. En lugar de enviar los datos originales a tierra, este dispositivo permite hacer la ciencia a bordo: convierte las medidas en mapas de las magnitudes físicas solares, borra las primeras para liberar memoria y envía los segundos al centro de operaciones. "Normalmente, tal mapa se obtiene tras un tedioso trabajo realizado por cincuenta ordenadores en tierra tras un tiempo considerable", concluye Jose Carlos del Toro Iniesta (IAA-CSIC).

My battery is low...

Hay momentos en la vida en los que es necesario hacer una pausa, mirar atrás y luego cambiar el rumbo y aproar hacia nuevos horizontes. Y si no, que se lo pregunten a Messi. Si bien al genio de Rosario finalmente no le han dejado salir (los madridistas proponemos que a partir de ahora tire las faltas con la derecha, en señal de protesta) yo sí que cierro una etapa y escribo ahora el epílogo de esta sección de la que me he ocupado durante casi una década. Fue allá por octubre de 2011 cuando escribí el primer número, en el que planteaba las líneas de lo que pretendía que fuera este espacio dedicado a la tecnología. Creo que no lo había vuelto a leer desde entonces, así que el otro día lo busqué, con el pulso tembloroso por la emoción y, sobre todo, porque me temía que no iba a haber contestado a ninguna de las preguntas que planteé allí. Con alivio descubrí que había tocado casi todas, algunas de ellas muy de pasada y otras con un poquito más de profundidad (toda la que permiten las ochocientas palabras que me pide mi editora o las mil cien que le entrego yo). No obstante, entre las cuestiones que quedaron en el tintero, hay algunas que no podía dejar de contestar:

- El microprocesador que usa Bender, el robot de Futurama, es el mítico MOS 6502. Y es mítico no solo porque se utilizara en varios sistemas históricos como la videoconsola Atari 2600 o uno de los primeros computadores personales, el Commodore 64, sino porque en los orígenes de la electrónica de consumo contribuyó de forma fundamental a hacer esta accesible a todos los públicos. Y es que, cuando se puso a la venta en una feria tecnológica de 1975, su precio era tan bajo comparado con el de sus competidores (25 dólares frente a los 179 del 6800 de Motorola y el 8080 de Intel) que la gente pensaba que era un fraude. No lo debía ser tanto cuando al final de la feria los responsa-

bles de las empresas rivales habían reducido el precio de sus modelos a solo 79 dólares.

- Planteábamos también cuántos espejos de telescopio se podrían aluminizar con el aluminio de una batería de cocina. El aluminizado es un proceso mediante el cual se renueva la fina capa de aluminio que sirve de superficie reflectora, y que hay que realizar cada cierto tiempo para que los telescopios mantengan sus prestaciones. Pero no penséis que se hace con una pistola

pero en orden de magnitud sería: muchísimos.

- Otra pregunta que planteábamos era cuánto paga la NASA por alquilar un asiento a los rusos para sus astronautas. En aquel primer número de octubre de 2011 este era un tema candente, ya que solo unos meses antes se había cancelado el programa de la lanzadera espacial, y desde entonces la NASA pasaba a depender de Roscosmos para ir al espacio. El precio ha ido incrementándose desde los iniciales veinti-

últimos años para conseguir que Boeing respetara mínimamente los plazos y no se retirara del proyecto, probablemente con el objeto de evitar un nuevo monopolio por parte de Space X. De momento no salen las cuentas, esperemos que con el tiempo hagan ofertas de dos por uno o por lo menos regalen una taza con cada plaza.

Quedan más preguntas, pero, como siempre, me quedo sin espacio. Durante los nueve años que he estado escribiendo he intentado acercaros un poco al apasionante mundo de la tecnología. Me he centrado en aspectos relacionados con la astronomía y exploración espacial, que para eso esto es una revista de divulgación astronómica, pero también hemos hablado de otros asuntos no directamente relacionados con ellas, como nanotecnología, impresión 3D, GPS, robots, ciborgs o drones. E incluso, cuando la editora estaba despistada (aprovecho la coyuntura para darle las gracias por su paciencia y por haberme prestado este espacio durante todo este tiempo), conseguí colarle algún número sobre balones de fútbol, el concurso de Miss Universo o la receta de las torrijas de mi abuela. Espero haber sido capaz de transmitir mi pasión por la tecnología. Y, si os ha enganchado lo que os he contado, tengo una buena noticia: esto es solo el principio. Vienen tiempos apasionantes, con viajes inminentes a Marte y a la Luna, nuevos telescopios espaciales y terrestres que van a hacer descubrimientos fascinantes (entre ellos, probablemente, indicios de vida extraterrestre), coches eléctricos y autónomos, mucha nanotecnología, grafeno, internet de las cosas por doquier, entornos virtuales de inmersión total, control de dispositivos mediante interfaces cerebro-máquina... y lo mejor de todo: muchas otras cosas que ni siquiera nos imaginamos. Yo no estaré aquí para contároslo... pero ya es hora de que voléis solos.



de pintar o una brocha, no: se utilizan barras de aluminio de gran pureza y apenas unos mm de grosor, que se vaporizan mediante unas resistencias a través de las cuales se hace pasar una corriente muy alta. Así se consigue que el aluminio vaporizado se deposite en una capa homogénea y finísima, de menos de una micra, que viene a ser unas diez veces menor que el tamaño de una bacteria. Somos así de pijos. Lógicamente, la respuesta a la pregunta dependería del peso de la batería de cocina y del tamaño de los espejos,

pico millones de dólares hasta los 86 de los últimos asientos en las naves Soyuz. Es lo que tiene el monopolio. Menos mal que han llegado las empresas privadas y en breve estarán listas las naves Dragon 2, de la empresa Space X, y Starliner, de Boeing, con las que cada asiento le saldrá a la NASA, respectivamente, por 55 y... ¡90 millones! Sí, has leído bien: más de lo que costaban los últimos alquileres a los rusos, que ya se habían subido a la parra. Y eso sin tener en cuenta que la NASA ha aportado mucha pasta en los

...and it's getting dark

AGENDA

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA CICLO LUCAS LARA

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

http://www.iaa.es/lucas_lara



DESTACADOS

ALICIA PELEGRINA (IAA-CSIC), SEGUNDO PREMIO EN FAMELAB ESPAÑA 2020

El pasado 9 de septiembre tuvo lugar la final de FameLab España 2020, cuyo segundo premio recayó en nuestra compañera Alicia Pelegrina, responsable de la Oficina Técnica Severo Ochoa-IAA y coordinadora la Oficina de Calidad del Cielo del IAA-CSIC. Su monólogo se centró en los actuales peligros de un exceso de iluminación en nuestras ciudades. Además, la final tuvo como maestro de ceremonias a Manuel González, divulgador científico y miembro de la Unidad de Cultura Científica del IAA-CSIC.

La final completa está disponible en: <https://bit.ly/3mw3sRE>



UNA CAMPAÑA PUBLICITARIA ACERCA EL SISTEMA SOLAR A LOS GRANADINOS

Una campaña publicitaria, que buscaba mostrar la belleza de los distintos objetos del Sistema Solar y el papel que los investigadores que trabajan en Granada juegan en su estudio, pudo verse en las marquesinas de mobiliario urbano y del metro de la ciudad. Desarrollada por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), cuenta con la financiación de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) y con la colaboración del Ayuntamiento y del Metropolitano de Granada.



<https://bit.ly/3mws24T>

EL RADIOSCOPIO

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

radioscopio.iaa.es