

IAA

78

ABRIL DE 2026

www.iaa.csic.es/revista

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

Sumando talento internacional gracias al Proyecto Severo Ochoa del IAA-CSIC



INSTITUTO DE
ASTROFÍSICA DE
ANDALUCÍA



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA



CSIC

Imagen del remanente de supernova Casiopeia A
Crédito: NASA, ESA, CSA, STScI, D. Milisavljevic (Purdue University),
T. Temim (Princeton University), I. De Looze (University of Gent)

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

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

Esta es una revista de acceso abierto distribuida bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

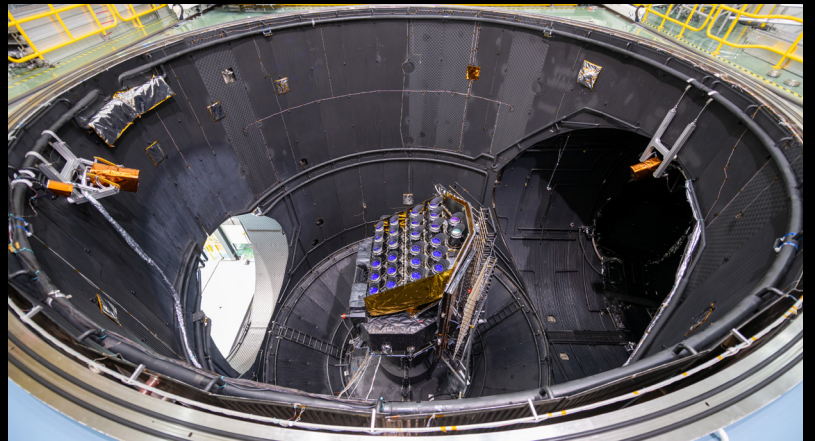
Instituto de Astrofísica de Andalucía,
Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
Excelencia Severo Ochoa.

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

SUMARIO

Sumando talento internacional gracias al Proyecto Severo Ochoa del IAA-CSIC ...	3
Pequeños puntos rojos, grandes preguntas ...	11
Actualidad ...	14
Deconstrucción - La Alhambra. Espejo del Firmamento y Manuscrito Celeste ...	24
Clementina y los planetas ...	26
Pilares & Incertidumbres - Las auroras ...	28
Historias - Carole Jordan, primera catedrática de Astrofísica del Reino Unido ...	30
Destacados & Recomendados ...	31

Esta fotografía muestra al satélite situado en el centro del simulador, momentos antes de que la puerta de la cámara se cerrará herméticamente. La imagen fue tomada desde la abertura superior del LSS y nos ofrece una vista directa de las 26 cámaras ultrasensibles de PLATO. Crédito: ESA



La misión espacial PLATO se prepara con pruebas en condiciones similares al espacio

PLATO, la misión de la Agencia Espacial Europea (ESA) cuyo objetivo es descubrir exoplanetas similares a la Tierra, estuvo sellada dentro de la cámara *Large Space Simulator* (LSS) del Centro de Pruebas de la ESA, donde se sometió a una serie de ensayos clave en condiciones similares a las espaciales.

El equipo de ingeniería colocó PLATO en el LSS el pasado 18 de febrero y, desde principios de marzo, la nave espacial fue sometida a las temperaturas extremas y al vacío característicos del espacio.

PLATO cuenta con 26 cámaras ultrasensibles que funcionan como los "ojos" especiales que la misión utilizará para observar más de 150.000 estrellas brillantes al mismo tiempo con una misión clara: detectar planetas rocosos orbitando estrellas similares al Sol y que estén en nuestro entorno cercano de la galaxia, esto es, a distan-

cias que permitan, posteriormente, caracterizar las atmósferas de esas posibles "exoTierras".

El despegue, a bordo de un Ariane 6 —el nuevo cohete de carga pesada de Europa—, está previsto para enero de 2027 y será gestionado por Arianespace. No obstante, antes del lanzamiento de una nave espacial es fundamental operarla y comprobar todas sus funciones en un entorno similar al del espacio. El LSS permite precisamente realizar este tipo de pruebas.

El LSS, la mayor cámara de criovación de Europa, es un contenedor cilíndrico de 15 metros de altura y 10 metros de diámetro. Equipado con una bomba de alto rendimiento, la instalación puede alcanzar una presión mil millones de veces menor que la de la atmósfera al nivel del mar, mientras que el nitrógeno líquido que circula por su estructura reproduce las temperaturas criogénicas del espacio.

Expuesta a una red de potentes elementos calefactores, conocidos como "calrods", que simulan el calor del Sol, la parte trasera de la nave —con los paneles solares y el escudo solar— alcanza unos 160 °C. Al mismo tiempo, gracias a ese escudo y a un excelente aislamiento, las cámaras y la bancada óptica orientadas hacia la parte oscura y fría de la cámara se mantienen a unos -80 °C, como si estuvieran frente al espacio profundo.

Según lo previsto, PLATO salió del simulador espacial a finales de marzo.

El IAA-CSIC juega un papel destacado en los ámbitos científico y tecnológico en la misión PLATO en su conjunto. Su participación incluye el desarrollo de elementos clave de la electrónica de a bordo del satélite, así como una contribución relevante a la explotación científica de los datos que la misión obtendrá tras su lanzamiento.



Sumando talento internacional gracias al Proyecto Severo Ochoa del IAA-CSIC

En nuestra anterior aparición en la revista IAA en diciembre de 2024, presentábamos al personal investigador inicialmente incorporado para el refuerzo del plan estratégico de nuestra segunda acreditación como centro de excelencia Severo Ochoa. Desde entonces, quisiera destacar, entre las numerosas y fructíferas actividades de training, la “2nd IAA-CSIC Severo Ochoa Advanced School of Galaxy Evolution”. Además de las visitas y coloquios, la celebración de nuestra Jornada SO-IAA o la preparación y desarrollo de la reciente visita de nuestro ESAB (External Scientific Advisory Committee), hemos seguido apostando por **la incorporación de gran talento**: personas dedicadas a la investigación científico-tecnológica de alto nivel y con perfil internacional.

Aquí destacamos los perfiles de quienes se han unido desde hace alrededor de un año, y que se añaden al personal que se presentaba la vez anterior. Se trata de seis postdoctorales y una ingeniera, cuyas contribuciones son fundamentales para fortalecer las dos líneas científicas y la línea transversal tecnológico-instrumental de nuestro proyecto estratégico. Sus trabajos abarcan la **simulación del rendimiento integral de una misión de estudio de la atmósfera de la Tierra**, los **modelos de clima y fotoquímica de atmósferas de exoplanetas de tipo terrestre**, las **protoestrellas masivas y su entorno**, la **polarimetría en rayos X de núcleos de galaxias activos**, la **obtención de imágenes a escala del horizonte de sucesos de agujeros negros supermasivos con el Event Horizon Telescope (EHT)**, la **optimización de la explotación científica del SKAO con acceso inteligente**, y la **gestión ágil y la integración en la red global de la red de centros regionales de SKA**.

Nuestro programa de Excelencia Severo Ochoa está diseñado para potenciar la investigación excelente internacionalmente. Y justamente por esa razón es también una herramienta fundamental para atraer y retener a estas personas de talento joven e internacional que van a conocer un poco mejor a continuación, e integrarlas en todas las facetas de nuestra investigación, tanto las específicas del programa de excelencia, como en la vida científica del IAA.

Isabel Márquez

Directora Científica Severo Ochoa 2023-2027



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA

Laura Darriba

LA PLATAFORMA DONDE SE LLEVARÁ A CABO LA CIENCIA DEL OBSERVATORIO SKA



Si tuviera que resumir mi trabajo en una sola idea, diría que me dedico a conectar cosas que a veces parecen ir por caminos distintos: la ciencia, la tecnología y las personas. Ese es, en buena medida, el papel que hoy desarrollo en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA).

Empecé estudiando matemáticas en la Universidad de Barcelona y fui acercándome a la astrofísica, primero a través del máster y después del doctorado en física. Más adelante, trabajé varios años en el Reino Unido como científica de datos, en un entorno muy distinto al académico, donde aprendí mucho sobre ges-



Módulo del prototipo español de SKA Regional Centre (espSRC) en el IAA-CSIC. Créditos: IAA-CSIC

tión de proyectos, organización de equipos y coordinación entre perfiles muy diversos.

En 2019 volví a España para incorporarme al IAA, en el equipo que lidera el desarrollo del Centro Regional del SKA en España (espSRC) desde 2018, uno de los objetivos estratégicos del programa Severo Ochoa del instituto. El SKA será uno de los grandes observatorios de las próximas décadas, contará con los dos radiotelescopios más sensibles del mundo y generará cantidades de datos sin precedentes en astronomía. Además de su potencial científico, plantea un reto enorme desde el punto de vista de los datos, la computación y la organización internacional.

Soy Project Manager del espSRC, la iniciativa con la que el IAA desarrolla el nodo español de la red internacional de centros regionales del SKA, la SRCNet. Esta red permitirá a la comunidad científica el acceso, el procesamiento y el análisis de los datos del Observatorio SKA (SKAO). Los centros regionales actuarán como el corazón científico del SKAO: la infraestructura esencial que transformará las observaciones de las antenas en descubrimientos de primera línea. Mientras contribuimos a desarrollar la red internacional, el espSRC funciona desde 2020 como una plataforma científica en la nube que da soporte a proyectos de investigación, incluyendo trabajo con telescopios precursores de SKA, además de actividades de desarrollo y formación.

En el ámbito internacional, soy Scrum Master (una figura de coordinación dentro de las metodologías de trabajo ágiles) de uno de los equipos implicados en el desarrollo de la SRCNet. Ese papel me permite colaborar con equipos de distintos países y contribuir a que el desarrollo de la infraestructura responda de verdad a las necesidades de la comunidad científica.

En la práctica, mi trabajo consiste en coordinar actividades muy diver-

sas: desde las relacionadas con el desarrollo técnico y las operaciones científicas hasta el soporte a usuarios, la documentación, el seguimiento de tareas y el apoyo a propuestas de financiación. Trabajo con radioastrónomos, ingenieros y personal técnico, y una parte importante de mi día a día tiene que ver con facilitar que perfiles muy distintos puedan avanzar juntos hacia objetivos comunes. Me interesa especialmente esa dimensión del trabajo, porque en proyectos como este no basta con que cada parte funcione bien por separado, lo importante es que todo encaje.

Mientras contribuimos a desarrollar la red internacional, el espSRC funciona desde 2020 como una plataforma científica en la nube que da soporte a proyectos de investigación

Junto a esta faceta más técnica y organizativa, hay otra parte de mi trabajo que se centra en la formación. Soy cocoordinadora del programa de formación Severo Ochoa del IAA. La rápida evolución tecnológica y la creciente complejidad de los retos científicos requieren de una actualización continua en nuevas herramientas, técnicas y métodos para garantizar la excelencia científica y tecnológica.

En 2025 me incorporé además al programa de ingenieros del Severo Ochoa del centro. A menudo se asocia la investigación únicamente con los resultados finales: una imagen espectacular, un artículo, un descubrimiento. Pero la ciencia actual necesita también mucho trabajo de coordinación, de infraestructura y de acompañamiento. Mi lugar está precisamente ahí, en ese espacio intermedio en el que se hace posible que muchas piezas distintas funcionen juntas. Y eso también forma parte de la astrofísica.

Gabriel Emery

ASTRONOMÍA DE MUY ALTA ENERGÍA: ESTUDIANDO EL UNIVERSO MÁS EXTREMO

El universo está repleto de objetos extremos, que superan con creces cualquier escala imaginable en la Tierra. Entre estos objetos, algunos emiten fotones —las partículas de la luz— con energías a las que solo podemos acercarnos mediante instrumentos enormes y especializados. Y los producen en cantidades tan grandes que aún podemos detectarlos después de que hayan atravesado la galaxia y el universo.

Desde mi doctorado en París, he estado trabajando con los instrumentos necesarios para detectar ese tipo de luz. Los telescopios Cherenkov (*Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes* - IACTs) aprovechan la enorme huella que dejan en la atmósfera los fotones de muy alta energía para deducir sus propiedades. Un fotón puede desencadenar la producción de un millón de partículas, algunas de las cuales se mueven a una velocidad superior a la de la luz en la atmósfera. Estas partículas se ralentizan al emitir lo que se conoce como luz Cherenkov en forma de destellos muy breves, hasta que todas alcanzan una velocidad inferior a la de la luz. La luz Cherenkov se extiende a lo largo de decenas de miles de metros cuadrados en el suelo y puede detectarse mediante grandes telescopios de alta sensibilidad, tal y como se ilustra en la imagen.

Gracias a la financiación del Severo Ochoa, he podido incorporarme al grupo VHEGA del IAA para seguir trabajando en astronomía de muy alta energía, pero con un enfoque adicional en los datos recientemente disponibles de otro instrumento: IXPE. Este telescopio espacial mide la luz en el rango de los rayos X, pero no solo determina el número de fotones que le llegan, sino también su

polarización. La polarización es conocida principalmente por su uso en algunas gafas, como las que se utilizan para ver películas en 3D. Se trata de la orientación de la oscilación de las partículas de luz y afecta a la interacción entre la luz y la materia. Por ejemplo, volviendo a las gafas 3D, cada ojo está cubierto por un cristal que deja pasar solo una de las polarizaciones. Así, al enviar dos imágenes, una con cada polarización, al mismo tiempo, cada ojo puede ver algo diferente y se reconstruye una imagen 3D en nuestra mente. Medir la polarización de la luz procedente de fuentes astrofísicas nos informa sobre la estructura de la región de emisión.

La participación del grupo en telescopios actuales y futuros, como el CTAO, nos permitirá estar a la vanguardia de cualquier nuevo estudio en el campo de las altas energías aplicadas a objetos astrofísicos

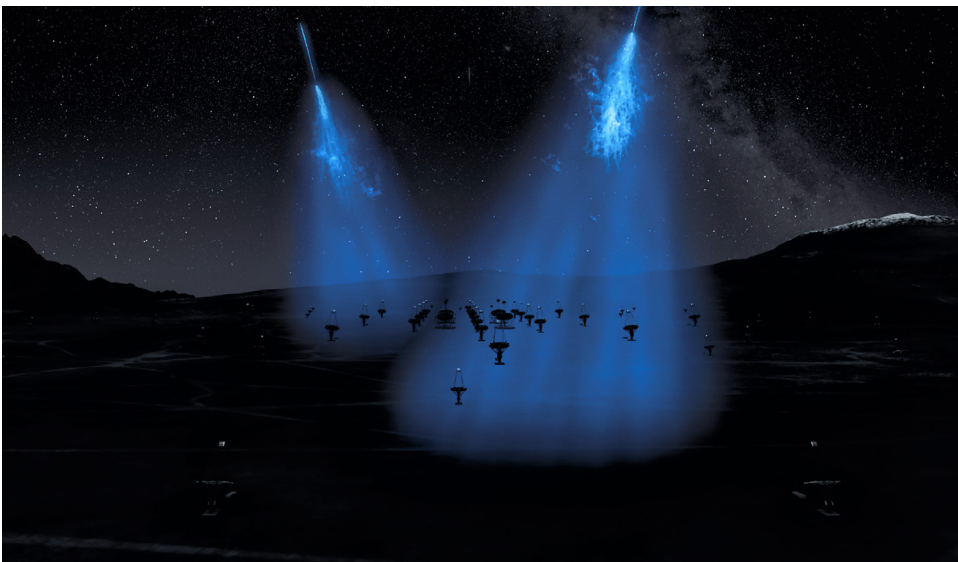
En mi trabajo actual y anterior, he utilizado la información obtenida de diversos instrumentos para estudiar los blazares. Los blazares son objetos situados en el centro de algunas galaxias que expulsan chorros de materia a una velocidad cercana a la de la luz en nuestra dirección. El chorro se alimenta de la materia que cae hacia un agujero negro con una masa equivalente a la de millones de estrellas similares al Sol. La mayor parte de la luz procedente de un objeto de este



tipo proviene del propio chorro. Las partículas del chorro son muy energéticas, debido a diversos procesos de aceleración que tienen lugar durante su recorrido por este medio altamente electromagnético. Las partículas energéticas cargadas del chorro son responsables de la emisión de luz y de la reenergización, y esta emisión se ve aún más potenciada y focalizada por los efectos relativistas, que se producen cuando los objetos se mueven a una velocidad cercana a la de la luz.

La emisión global del chorro abarca todas las energías, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma de muy alta energía, pasando por la luz visible y los rayos X. Por lo tanto, para comprender bien la física que interviene es necesario realizar mediciones con todos los instrumentos disponibles. Los mencionados anteriormente, pero también datos ópticos y de radio procedentes, por ejemplo, de los telescopios de Sierra Nevada (OSN) y el telescopio IRAM de 30 m, y de una variedad de otros telescopios espaciales y terrestres.

Gracias a instrumentos cada vez más precisos y a las mejoras en el uso y la interpretación de los datos procedentes de todo el espectro de energía de la luz, e incluso de otras partículas como los neutrinos, estamos cada vez más cerca de comprender el funcionamiento interno de los aceleradores más extremos del universo. Ya estamos identificando el orden del campo magnético en las regiones de emisión para algunas observaciones de blazares, y determinando el tamaño de la región de emisión. Para ello, la participación del grupo en telescopios actuales y futuros, como el *Cherenkov Telescope Array Observatory* (CTAO), nos permitirá estar a la vanguardia de cualquier nuevo estudio en el campo de las altas energías aplicadas a objetos astrofísicos.



Representación artística de la luz Cherenkov procedente de las lluvias de partículas iniciadas en la atmósfera por rayos gamma, que ilumina una red de IACTs distribuidos a lo largo de miles de metros cuadrados. Crédito: CTAO

Rubén Fedriani

INVESTIGANDO LOS SECRETOS DE LA FORMACIÓN ESTELAR



Crédito: Pepe Marín (IDEAL)

Inicié mi carrera académica en Irlanda donde realicé el doctorado en el *Dublin Institute for Advanced Studies* (DIAS) y la *University College Dublin* (UCD) bajo la supervisión de Dr. Alessio Caratti o Garatti, Prof. Tom P. Ray y Dr. Deirdre Coffey. El tema central de mi tesis fue la formación estelar usando los telescopios más potentes del mundo, principalmente en el infrarrojo, como el *Very Large Telescope* (VLT) en Chile o el *Hubble Space Telescope* (HST). Principalmente mi investigación se centra en entender cómo se forman las estrellas masivas, aquellas con al menos ocho veces la

masa de nuestro Sol. Esto es importante porque estas estrellas masivas producen elementos más pesados que el hierro tras su muerte. Estos elementos pesados enriquecen el medio interestelar y, por tanto, las nubes moleculares que darán lugar a las siguientes generaciones de estrellas. De esta etapa guardo muy buenos recuerdos de Irlanda, que recorrí de norte a sur y de este a oeste. Verdaderamente es preciosa la Isla Esmeralda. Me gustaría hacer una mención especial a mi compañera de doctorado, Dr. Maria Koutoulaki, que, de hecho, nos visitó en Granada en septiembre de 2023 gracias a una estancia financiada por el Severo Ochoa.

Poco antes de la defensa de mi tesis, en enero de 2020, me mudé a Gotemburgo (Suecia) para comenzar mi etapa postdoctoral en el grupo del Prof. Jonathan C. Tan en *Chalmers University of Technology*. Todos sabemos que el mundo cerró en marzo de 2020 debido a la pandemia de COVID19 (de hecho el 14 de marzo estaba volviendo de EE.UU. de un congreso y ¡no tenía ni mascarilla!); lo cual supuso un gran reto para mi recién iniciada carrera postdoctoral. No obstante, pude desarrollar mi investigación a pesar de las dificultades. De hecho, transcurrido el primer año de postdoc, fui galardonado con la prestigiosa beca *Marie Skłodowska-Curie Action Individual Fellow* (MSCA-IF), para continuar mi investigación en Chalmers. Aquí de-

sarrollé varios proyectos observacionales que obtuvieron tiempo en telescopios altamente competitivos. Además, desarrollé un software en código abierto llamado *sedcreator* para medir y ajustar la distribución espectral de energía (SED, por sus siglas en inglés) de un catálogo de regiones de formación masiva.

El contrato SO me permite seguir explorando los secretos de la formación estelar, esta vez, centrándome en datos recopilados con el nuevo JWST

En enero de 2023 volví a España gracias a un contrato Juan de la Cierva tras mi periplo en el extranjero. Fue así como me incorporé al Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA), en el grupo de "formación y evolución estelar y planetaria" (SPFE, por sus siglas en inglés), liderado por el Dr. Guillem Anglada. Durante esta etapa, hemos combinado nuestras experiencias en dos longitudes de onda fundamentales, infrarrojo y radio, para el estudio de la formación estelar con un nivel de detalle sin precedentes.

Actualmente, estoy contratado gracias al proyecto Severo Ochoa (SO) y continúo desarrollando mi investigación principal en el grupo de SPFE. Este contrato SO me permite seguir explorando los secretos de la formación estelar, esta vez, centrándome en datos recopilados con el nuevo *James Webb Space Telescope* (JWST). Además, estoy explorando y aprendiendo con más detalle a analizar datos de radio como los del *Very Large Array* (VLA) y del *Atacama Large sub/Millimetre Array* (ALMA), ya que me encuentro en el grupo ideal para ello. Por otra parte, gracias al alto grado de sinergias que permite el IAA-SO, tengo estrechas colaboraciones con el grupo del Centro Galáctico (CC) donde compartimos técnicas de observación y análisis; así como con el grupo de altas energías (VHEGA), donde observamos regiones de formación estelar con ojos más energéticos.

Aquí en Granada he formado mi familia. Junto con mi esposa Laura, hemos tenido dos hijos, Mateo y Lucas. Mi mujer de Almería, nuestros hijos granadinos y yo natural de Cádiz, tenemos a Andalucía bien representada.

Para acabar, me gusta siempre decir que "las estrellas masivas son las estrellas del rock del universo, viven cortas pero intensas vidas y sus muertes resuenan en las generaciones venideras".

Imagen de la región G35.2-0.7N, conocida por ser un hervidero de formación de estrellas masivas. Crédito: ESA/Hubble & NASA, R. Fedriani, J. Tan

Esther García Garaluz

DESARROLLANDO SOFTWARE PARA LA MISIÓN CAIRT Y OTROS FUTUROS PROYECTOS DE OBSERVACIÓN ATMOSFÉRICA

Desde siempre sentía curiosidad por aprender más de cómo funciona el mundo y de cómo podemos utilizar ese conocimiento para que el mundo sea mejor.

Estudié Ingeniería de Telecomunicación en la Universidad de Málaga y más tarde me doctoré especializándome en computación avanzada, en concreto en el modelado y estimación de parámetros. Mis estudios me han dado la oportunidad, tanto en la propia Universidad como en el ámbito empresarial, de trabajar en varios campos distintos y de aprender cosas increíbles: profundizar en el desarrollo de hardware y software, mejorar la accesibilidad de las nuevas tecnologías, trabajar en el modelado de epidemiología...

Pero tenía algo pendiente, y es que, desde pequeña, el mundo de la astrofísica me intrigaba y fascinaba a partes iguales. Creo que todos nos hemos visto atraídos alguna vez por los misterios de esos planetas y estrellas lejanos.

Hace un par de años, gracias al proyecto Severo Ochoa (SO), tuve la oportunidad de cumplir ese sueño y empezar a trabajar en el IAA, donde puedo aplicar mis conocimientos y experiencia previa al mundo de la astrofísica y, por supuesto, seguir aprendiendo y desarrollándome profesionalmente. En concreto, me uní al Departamento de Sistema Solar, al Grupo de Atmósferas Planetarias Terrestres, donde me uní al trabajo de desarrollo del proyecto CAIRT.

CAIRT es una propuesta de misión de observación de la Tierra diseñada para avanzar en la comprensión de la atmósfera media (entre los 5 y 115 km de altitud) y su papel crítico en el sistema climático. Involucra a un amplio consorcio internacional de instituciones cien-

tíficas e industriales, como el *Karlsruhe Institute of Technology* (KIT) y el *Forschungszentrum Jülich* (FZJ) y fue seleccionada por la Agencia Espacial Europea como una de las dos misiones finalistas que entró en la Fase A del programa *Earth Explorer II*.

Su objetivo principal es estudiar de forma conjunta la composición, la circulación y los procesos físicos de esta región de la atmósfera, que actúa como un vínculo entre el clima terrestre y el entorno espacial. A pesar de su importancia, esta zona sigue siendo poco observada, lo que limita la comprensión de fenómenos clave como la evolución de la capa de ozono, el transporte de gases o la influencia de ondas de gravedad en el clima.

Para ello, CAIRT emplea una técnica innovadora basada en medidas infrarrojas combinadas con tomografía, lo que permitirá obtener por primera vez observaciones tridimensionales de alta resolución de la atmósfera. Esto supone un avance significativo frente a misiones anteriores, ya que permitirá caracterizar con mayor detalle estructuras y procesos dinámicos que influyen en la variabilidad climática.

Dentro del proyecto, una tarea fundamental era el desarrollo del software CEEPS (*CAIRT End to End Performance Simulator*). Una herramienta diseñada para reproducir de forma completa el funcionamiento de la misión, desde la observación de la atmósfera hasta la generación de los productos científicos finales.

En la práctica, CEEPS está compuesto por una cadena de módulos conectados entre sí, donde cada uno representa una parte clave del sistema real: la atmósfera, la geometría de observación, el instru-

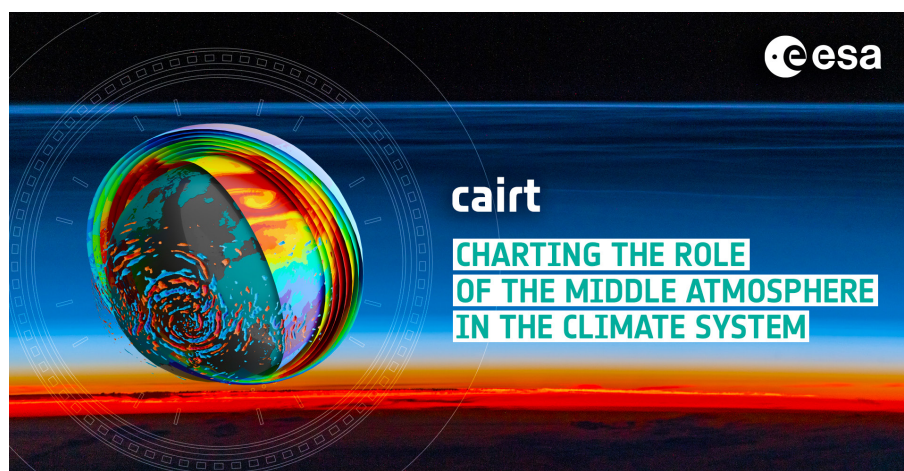


mento del satélite, la generación de la señal y los algoritmos de procesado de datos. Estos módulos se comunican mediante interfaces basadas en archivos, de manera que el flujo de información entre ellos imita el flujo de datos de un sistema satelital real. Además, se ejecutan de forma secuencial, siguiendo el mismo orden en que ocurren los fenómenos en la misión.

El software CEEPS es una herramienta diseñada para reproducir de forma completa el funcionamiento CAIRT, desde la observación de la atmósfera hasta la generación de los productos científicos finales

Mi trabajo se ha enfocado en la parte más técnica, contribuyendo al desarrollo del software CEEPS, que además podrá reutilizarse como base para futuros proyectos análogos en el ámbito de la observación atmosférica. Este tipo de herramientas no solo permiten validar misiones como CAIRT, sino que también constituyen un recurso estratégico para el diseño y evaluación de nuevos conceptos.

En este contexto, el programa Severo Ochoa contribuye a mejorar y consolidar las capacidades científicas y tecnológicas del IAA, favoreciendo el desarrollo de líneas de investigación de alto impacto. En definitiva, es un trabajo con vocación de continuidad, alineado con los objetivos del grupo y del Instituto en el avance del conocimiento y la participación en futuras misiones científicas internacionales.



La misión CAIRT, en cuyo diseño científico ha participado el IAA-CSIC, tiene como objetivo estudiar cómo reacciona la atmósfera terrestre al cambio climático. Crédito: ESA

Thea Kozakis

DE LA CURIOSIDAD INFANTIL A LA BÚSQUEDA DE VIDA EN OTROS MUNDOS



Creciendo en Estados Unidos, mi interés por la astronomía despertó cuando era niña, cuando mi padre me enseñaba los planetas y las estrellas con su telescopio en el jardín de nuestra casa. Vivíamos en una región boscosa, lejos de cualquier tienda (o incluso aceras), lo que nos permitía disfrutar de cielos oscuros y despejados, maravillosos para observar las estrellas. Estas experiencias positivas me llevaron a matricularme en una clase de astronomía en el instituto, lo que no solo consolidó mi amor por el universo, sino que me convenció de dedicarme a ello profesionalmente.

Me inspiró especialmente un episodio de la serie de televisión *Cosmos*, de Carl Sagan, en el que hablaba de la formación de nuestro planeta Tierra y del desarrollo de la vida. Fue la primera vez que pensé realmente en cómo se había formado el mundo que me rodeaba, y recuerdo que ese día, al volver del colegio, me senté en la hierba, rodeada de un hermoso bosque, y miré a mi alrededor con asombro y admiración. En ese momento, la existencia de planetas alrededor de otras estrellas, llamados exoplanetas, estaba entrando en la conciencia pública. Aprender sobre estos lejanos exoplanetas despertó mi imaginación y me llevó a plantearme una de las preguntas más apasionantes de la humanidad: «¿Estamos solos?».

Allí me interesé especialmente por las biofirmas, es decir, los signos de vida en las atmósferas de los exoplanetas, como el oxígeno o el metano, que son producidos principalmente por la vida en la superficie de la Tierra. Centré mi investigación en cómo cambiarían estas biofirmas en las atmósferas planetarias alrededor de diferentes tipos de estrellas anfitrionas, ya que la luz ultravioleta emitida por estas tiene suficiente energía para romper moléculas, lo que impulsa la química atmosférica y, por lo tanto, los signos de vida. Durante mi tesis doctoral, modelé atmósferas de exoplanetas rocosos alrededor de estrellas «moribundas» y «muertas», llamadas gigantes rojas y enanas blancas, respectivamente, con el fin de determinar cuánto tiempo podría permanecer habitable un planeta en tales entornos, así como para predecir cómo se verían afectadas las diferentes biofirmas.

Ahora investigo el uso del ozono como biofirma sustitutiva, explorando cómo cambia la relación entre el oxígeno molecular y el ozono cuando hay variaciones de diferentes biofirmas gaseosas en la atmósfera

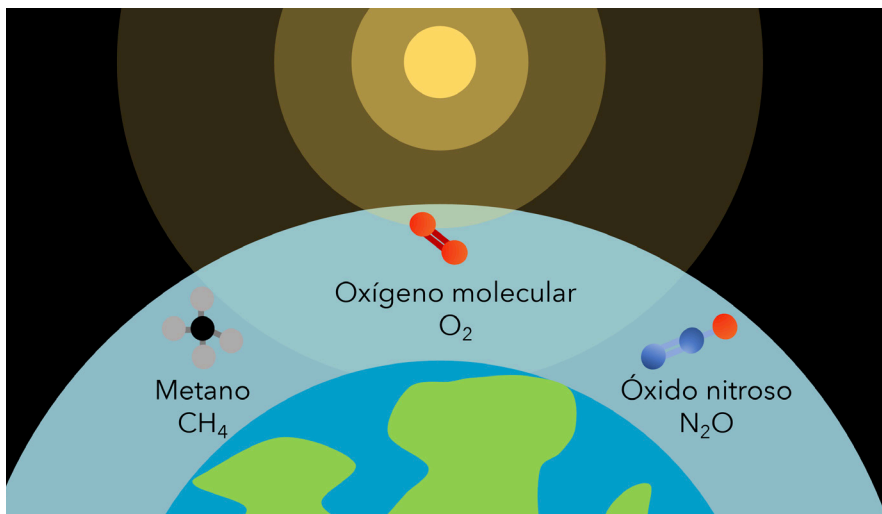
Después de obtener mi doctorado, recibí una beca posdoctoral en la *Danmarks Tekniske Universitet* (Universidad Técnica de Dinamarca), donde orienté mi trabajo hacia la realización de modelos atmosféricos que nos ayudaran a diseñar estrategias para buscar de manera eficiente biofirmas con telescopios de última generación, en particular oxígeno molecular (O_2) y su subproducto, el ozono (O_3). Estos futuros telescopios, como el *Habitable Worlds Observatory* y el LIFE

(*Large Interferometer For Exoplanets*), se están diseñando con el objetivo específico de observar las atmósferas de planetas rocosos del tamaño de la Tierra, lo que nos permitirá comenzar la búsqueda de biofirmas en profundidad. Ambas misiones están interesadas en detectar signos de O_2 , ya que constituye aproximadamente el 21 % de la atmósfera actual de la Tierra y es producido principalmente por la vida vegetal.

Sin embargo, hay situaciones en las que será extremadamente difícil o imposible detectar el O_2 , como en entornos con bajos niveles de O_2 (similares a los de la Tierra hasta hace 500 millones de años) o en longitudes de onda infrarrojas (que empleará la misión LIFE). En tales situaciones, se ha sugerido que se utilice el ozono (O_3), un subproducto del O_2 , para inferir la presencia de O_2 . Gracias a la libertad de investigación que me proporcionó mi beca posdoctoral en Dinamarca, decidí iniciar un nuevo proyecto que sería el primero en poner a prueba esta creencia generalizada de que el ozono sería un indicador fiable del O_2 durante la búsqueda de biofirmas. Por mi experiencia durante el doctorado, sabía que la formación de ozono a partir del O_2 dependía en gran medida de la cantidad de flujo ultravioleta emitido por la estrella anfitriona, por lo que me pregunté hasta qué punto el ozono podía ser fiable para predecir la cantidad de O_2 en la atmósfera de un planeta. Mediante un cuidadoso modelado atmosférico, mi trabajo demostró que la relación entre el oxígeno molecular y el ozono era mucho más complicada de lo que se pensaba, y que se necesitan más estudios para poder utilizar el ozono como indicador del O_2 en las misiones de próxima generación.

Tras finalizar mi beca en Dinamarca, el IAA me brindó una excelente oportunidad no solo para continuar, sino también para ampliar mi trabajo como investigadora posdoctoral Severo Ochoa. Me incorporé al IAA en octubre de 2024 y, desde entonces, he podido seguir investigando el uso del ozono como biofirma sustitutiva, explorando cómo cambia la relación entre el oxígeno molecular y el ozono cuando hay variaciones de diferentes biofirmas gaseosas en la atmósfera, como el óxido nitroso (N_2O), conocido como «gas de la risa», y el metano (CH_4), un conocido gas de efecto invernadero. Además, he comenzado a realizar estudios utilizando modelos atmosféricos para aprender más sobre cómo se acumuló el O_2 en la atmósfera de la Tierra primitiva, lo que nos permite plantear hipótesis sobre cómo podría ser este proceso en planetas similares a la Tierra alrededor de diferentes estrellas anfitrionas.

El IAA es un entorno perfecto para continuar mi investigación y colaborar con especialistas en diferentes áreas: desde modelados de atmósferas de planetas del Sistema Solar hasta caracterización de exoplanetas con algunos de los telescopios más sensibles del mundo. Además, tiene la ventaja añadida de estar ubicado en Granada, ¡una ciudad que me encanta!



Las biofirmas son gases que se producen principalmente de forma biológica en la Tierra y, por lo tanto, son posibles indicios de vida en atmósferas exoplanetarias. Tres biofirmas populares son el oxígeno molecular (O_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Crédito: Thea Kozakis

Kotaro Moriyama

DESDE LAS PRIMERAS IMÁGENES DE AGUJEROS NEGROS HASTA LA PRÓXIMA ERA DE LA ASTRONOMÍA A ESCALA DE HORIZONTE

Los agujeros negros se encuentran entre las predicciones más impactantes de la teoría general de la relatividad de Einstein y también ocupan un lugar central en los intentos modernos de conectar la gravedad con la física cuántica. A pesar de su importancia, durante mucho tiempo han sido una de las ideas menos examinadas de manera directa dentro de la física fundamental. Desde la década de 1970, los astrónomos habían acumulado pruebas indirectas estudiando cómo los agujeros negros influyen en las estrellas y el gas cercanos. Un avance importante llegó en 2015, cuando LIGO detectó ondas gravitacionales procedentes de la fusión de agujeros negros de masa estelar. Incluso ese resultado histórico, sin embargo, no revelaba directamente la característica definitoria de un agujero negro: el horizonte de sucesos, el límite más allá del cual nada, ni siquiera la luz, puede escapar.

Eso cambió el 10 de abril de 2019, cuando la colaboración del Event Horizon Telescope (EHT) publicó la primera imagen a escala del horizonte del agujero negro M87* en la cercana radiogalaxia M87, obtenida mediante interferometría de muy larga base (VLBI) global en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas. Un segundo hito llegó en 2022 con la primera imagen de Sagitario A* (Sgr A*), el agujero negro situado en el centro de nuestra propia galaxia. En conjunto, estos resultados transformaron los agujeros negros de inferencias astrofísicas indirectas a objetos observados directamente y abrieron una nueva era en la que la gravedad, la acreción y los campos magnéticos pueden estudiarse a escala del horizonte.

Comencé a involucrarme en la ciencia relacionada con el EHT alrededor de 2018, justo cuando esta transición de la expectativa a la observación estaba comenzando. Mi formación y trayectoria investigadora me llevaron desde Japón a Estados Unidos y Alemania, y, finalmente, al IAA-CSIC, con un contrato Severo Ochoa. A lo largo de estas etapas he intentado abordar los agujeros negros desde ambos lados: desde el observacional, desarrollando métodos para reconstruir y validar imágenes a partir de datos VLBI extremadamente desafiantes, y desde el teórico, conectando esas observaciones con interpretaciones y simulaciones físicamente fundamentadas. Contribuí al esfuerzo que condujo a la primera imagen de M87* como uno de los desarrolladores principales de SMILI, uno de los tres principa-

les sistemas de reconstrucción de imágenes utilizados para ese resultado. Posteriormente, para la primera imagen de Sgr A*, desempeñé un papel destacado dentro del equipo de imagen, ayudé a desarrollar uno de los principales sistemas de reconstrucción y contribuí a la interpretación científica general de los resultados. Estas experiencias moldearon mi visión de que el progreso en la ciencia de los agujeros negros depende de mantener una estrecha conexión entre teoría y observación, de modo que datos cada vez más complejos puedan traducirse en conclusiones físicamente significativas.

En el IAA-CSIC continúo este trabajo en un entorno especialmente colaborativo y orientado al futuro. Mis actividades actuales están estrechamente vinculadas con la ciencia principal del EHT, especialmente en relación con Sgr A*. Uno de nuestros principales esfuerzos en Granada se centra en el hecho de que Sgr A* cambia tan rápidamente que una sola imagen estática a menudo no es suficiente para describirlo adecuadamente. Por esta razón, nuestro grupo lidera uno de los proyectos científicos emblemáticos del EHT, dedicado a reconstruir Sgr A* como una película con resolución temporal, y yo dirijo uno de los sistemas de reconstrucción de imágenes para generar estas películas.

Paralelamente, también actué como coordinador general de otro importante proyecto emblemático del EHT basado en el conjunto de datos de Sgr A* de 2018. Ese proyecto tiene como objetivo comprobar hasta qué punto la sombra permanece estable a lo largo de escalas de tiempo de años y aclarar cómo la variabilidad, la física de la acreción y los campos magnéticos contribuyen a la estructura observada. En conjunto, estos proyectos reflejan la dirección en la que se mueve el campo: pasar de producir imágenes únicas y revolucionarias a comprender los agujeros negros como sistemas dinámicos.

La primera era del EHT demostró que los agujeros negros pueden observarse directamente. El siguiente paso es el Event Horizon Telescope de nueva generación (ngEHT), que ampliará la red añadiendo nuevas estaciones, mejorando la sensibilidad y la cobertura, permitiendo una capacidad multibanda más amplia y facilitando un seguimiento temporal más continuo. Desde el punto de vista científico, se espera que estos avances permitan

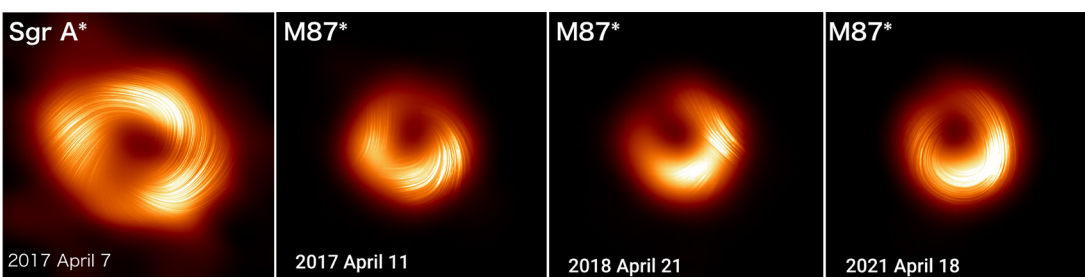


mediciones más fiables del flujo de acreción, la base del chorro y, eventualmente, estructuras aún más finas cerca del horizonte, además de posibilitar películas multibanda y con resolución temporal de las sombras de agujeros negros. También reforzarán las pruebas de la relatividad general al permitir comparaciones más cuantitativas de las propiedades de la sombra y reducir las limitaciones observacionales actuales.

Mis actividades actuales están estrechamente vinculadas con la ciencia principal del EHT, especialmente en relación con Sgr A*

En este contexto futuro, la *Tenerife Event-horizon Antenna* (TEA), la primera nueva estación del ngEHT, se está desarrollando bajo el liderazgo del IAA-CSIC junto con socios nacionales e internacionales y constituirá una contribución española importante al ngEHT. Desde 2023 he desempeñado un papel central en la definición del marco científico y técnico del documento del emplazamiento TEA, ayudando a definir estrategias de observación y requisitos del sistema. Mi objetivo es contribuir a transformar estas capacidades ampliadas en resultados científicos, conectando la mejora de la instrumentación y los métodos de reconstrucción de imágenes con restricciones más sólidas sobre el espacio-tiempo de los agujeros negros, la física de la acreción y la estructura de los campos magnéticos.

En un sentido muy real, ahora estamos pasando de las primeras fotografías de agujeros negros a la apertura de una nueva frontera de descubrimiento. Las imágenes de M87* y Sgr A* no fueron el final de la historia, sino el momento en que la exploración comenzó verdaderamente.



Principales hitos de la colaboración EHT (2023-2025). Izquierda: detección de la estructura de polarización a escala del horizonte en Sgr A* (EHT Collaboration et al. 2024). Derecha: imágenes de M87* a escala de años, desde 2017 hasta 2021, a partir de datos observacionales del EHT. Crédito: EHT Collaboration et al. 2025.

Manuel Parra

PREPARÁNDONOS PARA LA CIENCIA DE LA PRÓXIMA DÉCADA CON EL SKAO



Si uno crece en un pueblo pequeño, una de las primeras cosas que descubre es que el cielo nocturno puede ser un espectáculo impresionante. En mi caso, ese pueblo fue Benamejí (Córdoba), donde durante muchas noches de verano me quedaba mirando las estrellas desde la terraza de casa. Aquella sensación de asombro —la idea de que todo ese universo estaba ahí arriba— fue probablemente el primer germen de mi interés por el espacio. Hubo también otro momento que recuerdo con claridad. Con unos ocho o nueve años vi por primera vez '2001: Una odisea del espacio', de Stanley Kubrick. Aunque seguramente no entendí del todo la película, el impacto en mí fue enorme. Poco después descubrí el relato de Arthur C. Clarke 'El centinela', que inspiró la película, y aquello terminó de despertar una curiosidad que desde entonces no me ha abandonado.

Curiosamente, mi formación académica no comenzó directamente en la astrofísica. Estudié Ingeniería Informática y posteriormente realicé mi doctorado en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Universidad de Granada. Sin embargo, el interés por la física siempre estuvo presente y acabó encontrando su camino en el ámbito de la investigación científica.

Durante el doctorado tuve la oportunidad de realizar varias estancias en el CERN (Ginebra), donde trabajé en física de altas energías en el experimento protoDUNE, parte del proyecto internacional *Deep Underground Neutrino Experiment* (DUNE). Este experimento busca estudiar los neutrinos, unas partículas extremadamente ligeras y difíciles de detectar que pueden aportar pistas fundamentales sobre la evolución del universo y sobre por qué existe más materia que antimateria. En ese contexto trabajé en el desarrollo de plataformas de computación y análisis de datos capaces de gestionar los enormes volúmenes de información generados por los detectores del experimento. También exploré el uso de técnicas de minería de datos y aprendizaje automático para mejorar la eficiencia del análisis de esos datos. Fue una experiencia especialmente interesante porque combinaba dos campos que siempre me habían atraído: la computación avanzada y la investigación en física fundamental.

Tras esta etapa, una parte importante de mi trayectoria profesional transcurrió en la industria tecnológica, trabajando en proyectos relacionados con análisis de datos, computación distribuida y Cloud Computing. Allí tuve la oportunidad de aplicar herramientas de ciencia de datos a problemas muy diversos. Por ejemplo, en proyectos relacionados con optimización logística, industria farmacéutica, optimización de la construcción de líneas ferroviarias de alta velocidad, el mantenimiento predictivo de infraestructuras ferroviarias, la predicción de producción agrícola o adelantarnos a las enfermedades en las plantas de invernaderos. Durante esos años también impartí docencia universitaria en asignaturas relacionadas con computación en la nube, una experiencia que debo reconocer que me gusta mucho, ya que con ello puedo difundir el conocimiento y despertar vocaciones científicas.

Hace seis años me incorporé al Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) como investigador postdoctoral para traba-

jar en uno de los proyectos científicos más ambiciosos de las próximas décadas: el *Square Kilometre Array* (SKA). El Observatorio del SKA contará con los dos radiotelescopios más sensibles del mundo y generará cantidades de datos sin precedentes en astronomía. Para gestionar y analizar toda esa información se está construyendo una red internacional de Centros Regionales de SKA (SRCNet). Estos centros proporcionarán la infraestructura necesaria y el soporte

Participo en el diseño y desarrollo de los servicios tecnológicos que permitirán a la comunidad científica acceder, trabajar y analizar los datos del SKA

para que la comunidad científica pueda acceder a los datos del telescopio y analizarlos. En este contexto, contribuyo al desarrollo de la SRCNet y a la consolidación del nodo español (espSRC).

Mi trabajo combina dos aspectos complementarios. Por un lado, realizo investigación en áreas relacionadas con infraestructuras de computación científica, gestión de grandes volúmenes de datos e inteligencia artificial aplicada a la radioastronomía. Por otro lado, participo en el diseño y desarrollo de los servicios tecnológicos que permitirán a la comunidad científica acceder, trabajar y analizar los datos del SKA. Esto implica el diseño y desarrollo de plataformas de computación y almacenamiento, sistemas de gestión de datos y herramientas que faciliten el análisis científico dentro de esta gran infraestructura internacional.

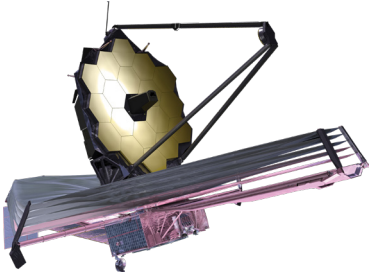
En 2025 me incorporé además al programa postdoctoral Severo Ochoa del IAA, que ha supuesto un impulso importante para consolidar el desarrollo de esta investigación. Este programa ha permitido reforzar mi trabajo en la intersección entre infraestructuras científicas, procesamiento de datos e inteligencia artificial, áreas que serán cada vez más importantes en la ciencia del futuro. Grandes proyectos científicos como el SKA producirán volúmenes de datos sin precedentes, lo que plantea nuevos retos tecnológicos y científicos. Diseñar las herramientas que permitan transformar esos datos en conocimiento será una de las claves para los descubrimientos de la próxima década.

Mirando atrás, resulta curioso que aquel interés nacido en las noches de verano de un pequeño pueblo andaluz sea hoy el puente hacia uno de los proyectos científicos más ambiciosos de nuestro tiempo. Al final, quizá ese sea el mayor logro de la ciencia: recordarnos que los descubrimientos más complejos siempre conservan algo de la sencillez de quien, por primera vez, se atrevió a hacerse preguntas mirando al cielo.



Imagen compuesta de los futuros telescopios del SKAO. Crédito: SKAO

Pequeños puntos rojos, grandes preguntas



LOS TELESCOPIOS MÁS POTENTES NO SOLO CONFIRMAN LO QUE CREEMOS SABER, SINO QUE TAMBIÉN REVELAN LO INESPERADO

ENTRE LOS DESCUBRIMIENTOS MÁS INTRIGANTES DEL JAMES WEBB SPACE TELESCOPE SE ENCUENTRAN LOS LLAMADOS LITTLE RED DOTS, DIMINUTOS OBJETOS DEL UNIVERSO PRIMITIVO QUE ESTÁN OBLIGANDO A REVISAR NUESTRAS IDEAS SOBRE LA FORMACIÓN DE LAS GALAXIAS Y DE LOS AGUJEROS NEGROS

Por Ricardo Amorín (IAA-CSIC)

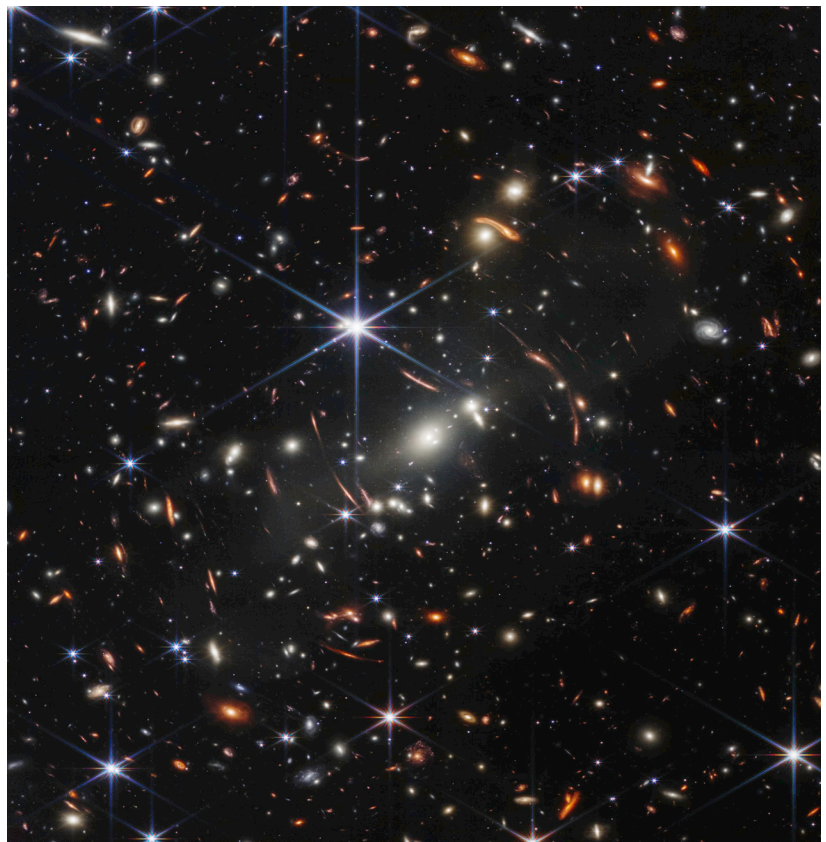
Explorar el universo temprano implica adentrarse en un territorio donde nuestras teorías todavía están siendo puestas a prueba y, en ese sentido, resulta una garantía encontrar nuevas sorpresas. Cada vez que logramos observar más lejos y, por tanto, más atrás en el tiempo, aparecen nuevos objetos y fenómenos que no encajan del todo con lo que pensábamos comprender.

por lentes gravitacionales y estructuras galácticas nunca vistas, comenzaron a destacar unos diminutos puntos rojizos que parecían confundirse con estrellas. Pronto nos dimos cuenta de que su luz no se correspondía con ningún objeto conocido y se les dio un nombre tan simple como intrigante: *Little Red Dots* (LRDs).

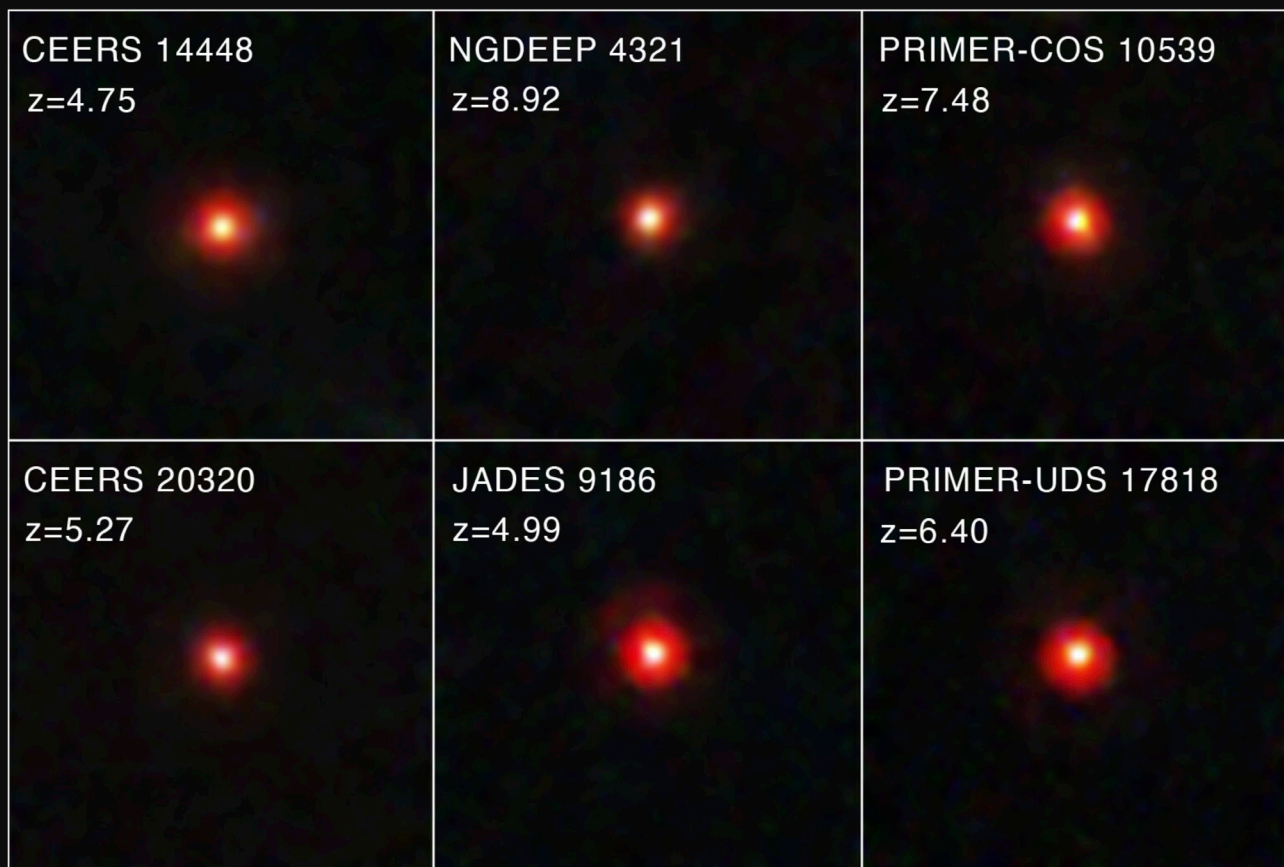
Cada vez que logramos observar más lejos y, por tanto, más atrás en el tiempo, aparecen nuevos objetos y fenómenos que no encajan del todo con lo que pensábamos comprender

El telescopio espacial James Webb (JWST) está confirmando esta regla con creces. Este prodigio tecnológico, con su espejo segmentado bañado en oro de 8 metros de diámetro y situado a unos 1,5 millones de kilómetros de la Tierra, lleva a bordo instrumentos concebidos para alcanzar esos confines y no solo detectar estas primeras galaxias tan débiles formadas tras el Big Bang, sino además estudiarlas con un nivel de detalle sin precedentes.

Así fue como las primeras imágenes científicas del JWST en campos profundos, aquellas que requieren exposiciones muy largas apuntando a una pequeña región del cielo, dejaron a la comunidad astronómica sin palabras. En ellas y entre una enorme cantidad de galaxias lejanas, arcos producidos



El primer campo profundo de Webb, la imagen del cúmulo de galaxias SMACS 0723. Miles de galaxias -incluidos los objetos más tenues jamás observados en el infrarrojo- aparecieron por primera vez en la vista captada por Webb. Esta porción del vasto universo tiene aproximadamente el tamaño de un grano de arena sostenido a la distancia de un brazo extendido por una persona en tierra. Crédito: NASA, ESA, CSA y STScI



Imágenes a color del telescopio espacial James Webb que muestra varios ejemplos de Little Red Dots (LRDs), pequeños objetos compactos y rojizos detectados en el universo temprano. Estos sistemas, identificados en campos profundos a través de imágenes compuestas en varios filtros del rango infrarrojo, presentan propiedades espectrales inusuales que desafían los modelos actuales de formación de galaxias y agujeros negros. Créditos: ESA/Webb, NASA, CSA. D. Kocevski (Colby College)

Estos diminutos puntos rojos han capturado la atención de la parte de la comunidad astrofísica que nos dedicamos a estudiar las galaxias más jóvenes, aquellas que nos permiten entender mejor cómo se formaron las primeras estrellas y galaxias, y cómo han ido evolucionando hasta la actualidad.

Clasificar y dar nombre a los objetos celestes que vamos descubriendo es habitual en astronomía, y no es solo por una cuestión de orden, sino también una forma de asociarlos rápidamente con sus propiedades físicas y establecer su encaje en las poblaciones de objetos ya conocidos. En el caso de las galaxias, el color, el tamaño o la forma suelen ofrecernos pistas sobre su edad, su formación estelar o la presencia de polvo interestelar, que se forma en el interior de las estrellas y se libera al medio cuando éstas explotan como supernovas. Sin embargo, los LRDs nos recuerdan que, en el universo primitivo, estas asociaciones simples pueden resultar engañosas incluso para los grupos de investigación más experimentados.

Los LRDs aparecen con mayor frecuencia en las imágenes profundas del JWST, especialmente en el universo joven, cuando apenas habían transcurrido uno o dos mil millones de años desde el Big Bang, época en la que emergen las primeras galaxias y el universo comienza a parecerse cada vez más al que vemos hoy. Los LRDs se muestran extremadamente compactos y poseen espectros muy característicos y raros de encontrar en el universo actual: muy brillantes, tanto en el rango ultravioleta como en el infrarrojo, y poblados de líneas de emisión muy intensas. Aquellas producidas por el hidrógeno ionizado, el plasma predominante en las galaxias que for-

man estrellas, presentan una base mucho más ancha que en otras líneas generadas por elementos químicos más pesados, indicando que ese plasma se mueve a grandes velocidades en una región muy concreta de la galaxia.

Los Little Red Dots se muestran extremadamente compactos y poseen espectros muy característicos y raros de encontrar en el universo actual: muy brillantes, tanto en el rango ultravioleta como en el infrarrojo, y poblados de líneas de emisión muy intensas

Ese rasgo suele interpretarse como una señal del crecimiento de un agujero negro masivo central muy activo, es decir, que engulle material de su entorno. Por ello, a partir de la anchura de esas líneas de hidrógeno, solemos inferir la masa del agujero negro. Sin embargo, esta evidencia no es exclusiva de los núcleos activos de las galaxias. Las estrellas masivas, jóvenes y energéticas también pueden generar vientos potentes capaces de producir señales espectrales similares. Como ocurre a menudo en astrofísica, una sola pista no basta: necesitamos reunir muchas piezas del puzzle.

Ninguna de las hipótesis sobre los LRDs explica todavía de forma satisfactoria todas las observaciones

Las contradicciones no terminan ahí. Si estos pequeños puntos rojos albergaran agujeros negros extremadamente masivos, cabría esperar una intensa emisión de rayos X o de radiación no térmica en radiofrecuencias. Sin embargo, en muchos casos no se detecta prácticamente emisión en estas bandas, lo que indicaría que los agujeros negros no estarían en una fase tan activa. Tampoco todos muestran las líneas de emisión más energéticas características de estas fases en galaxias activas ni la variabilidad luminosa esperable del gas orbitando cerca de un agujero negro activo. Estas ausencias resultan tan desconcertantes como las propiedades que observamos.

Y ENTONCES...¿QUÉ ES EXACTAMENTE LO QUE VEMOS EN ESTOS DIMINUTOS PUNTOS ROJOS?

Inicialmente, los LRDs se interpretaron como galaxias muy masivas y fuertemente enrojecidas por polvo en el universo temprano. El polvo absorbe preferentemente la luz azul y deja pasar la roja, algo habitual tras episodios intensos de formación estelar o en entornos dominados por agujeros negros activos. Pero los LRDs presentan, al mismo tiempo, una emisión ultravioleta sorprendentemente brillante, incompatible con la imagen de una galaxia envejecida o muy oscurecida por polvo. ¿Cómo combinar rasgos característicos de objetos jóvenes y viejos al mismo tiempo y en un mismo y diminuto paquete?

Las interpretaciones propuestas son diversas y aún no existe consenso en la comunidad científica. Algunos grupos sugieren que estamos observando fases tempranas del crecimiento acelerado de agujeros negros que acabarán convirtiéndose en los gigantes que hoy habitan en galaxias como la Vía Láctea o Andrómeda. Otros han planteado que un gas extremadamente denso y caliente alrededor del agujero negro podría producir un espectro que imita el de una estrella rojiza. También se han explorado escenarios más exóticos, como la formación de agujeros negros mediante el colapso directo de enormes nubes de gas, siguiendo una teoría muy difícil de recrear mediante simulaciones. Ninguna de estas hipótesis explica todavía de forma satisfactoria todas las observaciones.

Otra posibilidad es que los LRDs no constituyan una única clase o, como solemos llamar, población, sino que representen distintas fases evolutivas de las galaxias jóve-

nes o de los cuásares en formación, y que, por la forma en que las descubrimos y las propiedades por las que las seleccionamos, se combinen en nuestra clasificación. En cualquiera de estos casos, los LRDs podrían desempeñar un papel clave en procesos fundamentales del universo temprano, como la llamada época de la reionización, cuando nuestro universo pasó a ser transparente y brillante como lo vemos actualmente, o en el establecimiento de la relación entre el crecimiento de las galaxias y el de sus agujeros negros centrales.

UN ENIGMA A RESOLVER

Curiosamente, los LRDs parecen abundar únicamente en el universo primitivo. En épocas más cercanas a la actualidad, cuando las galaxias presentan estructuras bien definidas, serían extremadamente raras. Aún así, varios equipos estamos intentando identificar posibles análogos locales que, aunque mucho menos frecuentes, nos permitan estudiar sus propiedades con mayor detalle.

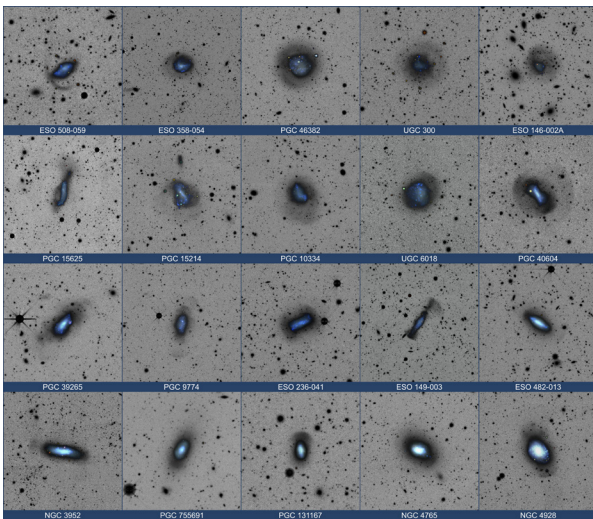
Hoy, tras más de un centenar de estudios publicados en prestigiosas revistas internacionales, los Little Red Dots siguen siendo uno de los enigmas más fascinantes abiertos por el JWST. No es casualidad que una fracción muy importante de las propuestas científicas aprobadas para realizar nuevas observaciones con este telescopio durante este y el próximo año estén dedicadas a investigar su naturaleza.

Hoy, tras más de un centenar de estudios publicados en prestigiosas revistas internacionales, los LRDs siguen siendo uno de los enigmas más fascinantes abiertos por el JWST

Quizás, en un futuro no muy lejano, gracias a las próximas observaciones del JWST y otros grandes observatorios, logremos encajar mejor las piezas del puzzle. O quizás, al explorar todavía más lejos y con mayor precisión, descubramos nuevos fenómenos asociados a estos enigmáticos puntos rojos que sean igual de desconcertantes pero que permitan entender mejor su naturaleza. Porque, si algo están enseñando estos enigmáticos objetos, es que cuando nos aventuramos hacia los extremos del universo conocido, las sorpresas no son la excepción, sino una parte esencial de la exploración científica.

Nuevas evidencias de que las galaxias enanas también practican el “canibalismo” cósmico

EL ESTUDIO, LIDERADO POR EL IAA-CSIC, PROPORCIONA UNA NUEVA VÍA PARA ENTENDER LA NATURALEZA DE LA MATERIA OSCURA



Veinte casos de estructuras de acreción, incluidos diecisiete nuevos descubrimientos. Encontramos una corriente, ocho halos estelares asimétricos y once conchas. Créditos: Sakowska et al. 2026

Las galaxias no crecen solas. Según el modelo estándar de formación de galaxias, incluso las más pequeñas —las llamadas galaxias enanas— deberían estar rodeadas por galaxias satélites aún más diminutas, que con el tiempo se acaban fusionando con ellas. Sin embargo, comprobar este proceso con observaciones reales ha sido hasta ahora muy difícil.

Un nuevo estudio liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y publicado en *Astronomy & Astrophysics* (A&A) ha avanzado en esta dirección al identificar 17 casos de rasgos de acreción —posibles fusiones con galaxias satélite de menor masa— alrededor de galaxias enanas. El hallazgo confirma que estas galaxias también crecen mediante un proceso de “canibalismo” galáctico y abre una nueva vía para estudiar uno de los grandes enigmas de la cosmología: la materia oscura.

“Hemos proporcionado por primera vez una estimación de la frecuencia con la que las galaxias enanas presentan corrientes estelares”, apunta Joanna D. Sakowska, investigadora del IAA-CSIC y autora principal del estudio.

CUANDO UNA GALAXIA SE “COME” A OTRA, DEJA HUELLAS

Cuando una galaxia grande absorbe

a una más pequeña, la fusión no ocurre de forma brusca. La gravedad va estirando y arrancando estrellas del satélite, que quedan dispersas alrededor de la galaxia principal formando estructuras reconocibles, como corrientes estelares, conchas o halos asimétricos. Estas huellas se han observado con relativa frecuencia en galaxias masivas como la Vía Láctea, pero apenas se conocían ejemplos en galaxias enanas.

En este trabajo, el equipo investigador ha analizado imágenes profundas del cielo y ha elaborado el primer catálogo sistemático de restos de acreción en galaxias enanas, que incluye una corriente estelar, once sistemas con conchas y ocho halos estelares asimétricos. De ellos, 17 son nuevas identificaciones.

“Sabemos que estas fusiones deberían existir, pero son extremadamente difíciles de detectar en galaxias tan pequeñas”, explica Sakowska (IAA-CSIC). “Este trabajo es un primer vistazo que demuestra que las galaxias enanas también conservan cicatrices de su pasado”.

UN LABORATORIO NATURAL PARA ESTUDIAR LA MATERIA OSCURA

Las galaxias enanas son especialmente interesantes porque están dominadas por materia oscura, una sustancia invisible que constituye la mayor parte de la materia del universo y cuya naturaleza sigue siendo desconocida. La forma en la que estas galaxias se fusionan y el aspecto de los restos que dejan es extremadamente sensible a las propiedades de la materia oscura.

“Pequeñas diferencias en la naturaleza de la materia oscura producen resultados muy distintos y observables”, señala Sakowska. “Estudiar cuántas fusiones hay y cómo son sus restos nos permite aprender cómo es la materia oscura, aunque no la podamos observar directamente”. En este contexto, David Martínez Delgado, segundo au-

tor del trabajo e investigador del CEF-CA, añade que las corrientes estelares son excelentes trazadoras de la materia oscura de las galaxias que las hospedan. “Además de su frecuencia, su forma refleja la órbita ‘congelada’ de su galaxia enana progenitora, lo que ofrece una oportunidad única para determinar cuánta materia oscura es necesaria para explicar su movimiento”.

Uno de los hallazgos más destacados del estudio es una corriente estelar cuya forma puede ajustarse a modelos teóricos, lo que permite descartar o favorecer determinados tipos de materia oscura. Además, el trabajo ofrece la primera estimación de la frecuencia con la que las galaxias enanas presentan este tipo de estructuras.

UN ADELANTO DE LO QUE VENDRÁ

El estudio, liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), forma parte del *Stellar Stream Legacy Survey* (SSLS), un proyecto internacional cuyo objetivo es construir una muestra amplia y homogénea de corrientes estelares para comparar observaciones y teoría. Para ello, el equipo inspeccionó visualmente galaxias enanas utilizando datos del Legacy Imaging Survey, uno de los cartografiados más profundos del cielo.

Los resultados ponen de manifiesto tanto la dificultad de detectar estos rasgos como la necesidad de mejorar los modelos teóricos de fusiones de baja masa. Aun así, proporcionan nuevas restricciones observacionales sobre cómo crecen las galaxias más pequeñas del universo.

“Tenemos imágenes espectaculares de galaxias diminutas ‘devorando’ otras aún más pequeñas”, concluye Sakowska. “Este trabajo es solo un anticipo de lo que podremos ver con futuros telescopios que permitirán detectar huellas aún más sutiles del canibalismo galáctico. Si las observaciones no encajan con las predicciones, podría ser una señal de que necesitamos revisar nuestras teorías sobre la formación de galaxias o incluso sobre la propia naturaleza de la materia oscura”.

Rayos gamma detectados en protoestrellas aportan nuevos datos sobre el origen de los rayos cósmicos

EL TRABAJO, LIDERADO POR EL IAA-CSIC, HA IDENTIFICADO UNA EMISIÓN DE RAYOS GAMMA PROCEDENTE DE HH 80-81, UNO DE LOS CHORROS MÁS POTENTES EXPULSADOS POR UNA PROTOESTRELLA MASIVA EN FORMACIÓN

Aunque las estrellas han sido objeto de estudio desde hace siglos, su formación sigue siendo un proceso enigmático, especialmente en el caso de las más masivas. Estas nacen en regiones muy densas de gas y polvo que dificultan su observación, y además son menos frecuentes que otras protoestrellas. Aun así, su impacto en el entorno es enorme: pueden lanzar potentes chorros de materia —o jets— que golpean el gas cercano y generan ondas de choque capaces de acelerar partículas casi a la velocidad de la luz. Estos procesos podrían estar detrás del origen de los rayos cósmicos, uno de los grandes misterios de la astrofísica.

Ahora, un equipo científico ha confirmado que el sistema HH 80-81 —uno de los jets más potentes conocidos, lanzado por una protoestrella muy masiva aún en formación— emite rayos gamma, la forma más energética de luz en el universo. Se trata de una detección poco común en este tipo de objetos, y plantea la pregunta de si este tipo de sistemas tienen la capacidad de acelerar protones, el principal componente de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra.

“Este descubrimiento es importante porque nos acerca un paso más a entender el origen de los rayos cósmicos, y demuestra que las estrellas en formación pueden jugar un papel clave en este misterio de más de cien años”, explica Javier Méndez, investigador del IAA-CSIC y autor principal del estudio.

UNA PROTOESTRELLA CAPAZ DE GENERAR RAYOS GAMMA

Hasta ahora, se sabía que ciertos objetos extremos del universo podían acelerar partículas a velocidades muy altas y generar rayos cósmi-

cos: partículas diminutas, pero muy energéticas, que llegan de forma constante a la Tierra desde el espacio. Sin embargo, no estaba claro si fenómenos tan tempranos como la formación de una estrella también podían desempeñar ese papel.

Este estudio ha demostrado por primera vez que un chorro de materia expulsado por una protoestrella masiva puede emitir rayos gamma. Este tipo de emisión solo puede generarse por partículas subatómicas aceleradas en entornos extremadamente violentos, donde los campos electromagnéticos desempeñan un papel fundamental. Esto sugiere que los jets protoestelares podrían formar parte del llamado universo no térmico.

Para llegar a este resultado, desde el IAA-CSIC se han analizado quince años de datos del telescopio espacial Fermi-LAT de la NASA, lo que ha permitido mejorar significativamente la sensibilidad respecto a estudios previos, y aislar con mayor precisión la señal asociada al chorro HH 80-81.

“Dado que se trata de una fuente muy débil y situada cerca del plano de la Vía Láctea, ha sido necesario aplicar criterios estrictos para filtrar los datos y centrarse solo en las energías más altas, donde la señal es más clara”, apunta el primer autor del estudio.

Además, se analizó con detalle el origen de la emisión detectada, ya que en la zona observada existen varias fuentes que podrían ser responsables. Sin embargo, las características no térmicas previamente detectadas en radio frecuencias y rayos X del jet HH 80-81, junto con su coincidencia exacta con la región de emisión, lo



Imagen óptica de HH 24 tomada con el telescopio espacial Hubble, un ejemplo de jet protoestelar. Crédito: NASA and ESA; Acknowledgment: NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI/AURA)/Hubble-Europe (ESA) Collaboration, D. Padgett (GSFC), T. Megeath (University of Toledo), and B. Reipurth (University of Hawaii)

señalan como el candidato más probable. Estos resultados sugieren que HH 80-81 podría generar rayos gamma a través de procesos de aceleración de partículas, lo que refuerza su posible papel como una posible fuente de los rayos cósmicos que llegan hasta la Tierra.

“El estudio abre así nuevas vías para investigar este tipo de sistemas usando rayos gamma, y plantea la necesidad de futuras observaciones para conocer mejor la física extrema que se esconde en el nacimiento de las estrellas más masivas”, asegura Javier Méndez (IAA-CSIC). Y concluye: “Además, abre una nueva ventana para estudiar cómo estos objetos extremos influyen en la evolución del medio interestelar y en la dinámica de nuestra galaxia”.

JWST descubre un inmenso chorro protoestelar en los confines de la Vía Láctea

EL DESCUBRIMIENTO HA PERMITIDO AL EQUIPO INVESTIGADOR PONER A PRUEBA LAS TEORÍAS SOBRE LA FORMACIÓN DE ESTRELLAS MASIVAS

En las primeras etapas de su vida, las estrellas expulsan al espacio chorros de gas muy veloces —supersónicos respecto al gas circundante— que pueden alcanzar varios años luz de longitud. Estos chorros protoestelares son una de las manifestaciones más espectaculares del nacimiento estelar y constituyen una pieza clave para entender cómo las estrellas jóvenes regulan su crecimiento.

El Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) participa en un estudio que ha identificado un chorro protoestelar de 8 años luz de extensión —casi el doble de la distancia entre el Sol y el sistema estelar más cercano, Alfa Centauri—. “Gracias a nuestros modelos hemos calculado que la masa de la protoestrella que impulsa este chorro es de unas diez veces la del Sol”, señala Rubén Fedriani, investigador del IAA-CSIC y uno de los principales autores del estudio. “Este resultado es muy relevante porque aún no está claro cómo se forman las estrellas masivas, y la morfología de su chorro nos puede dar pistas sobre este proceso”.

El hallazgo, captado por el telescopio espacial James Webb (JWST) fue fortuito, según explica el Yu Cheng, investigador en el Observatorio Astronómico Nacional de Japón y autor principal del estudio.

LOS LÍMITES DE LA VÍA LÁCTEA

En concreto, el chorro se ha identificado en una región de formación estelar conocida como Sharpless 284, situada en la periferia de la Vía Láctea. Esta localización es especialmente interesante, ya que en estas zonas galácticas la metalicidad —la proporción de elementos más pesados que el helio, fundamentales para la formación de planetas— es considerablemente más

baja que en el resto de la Galaxia. Aunque este parámetro tiende a aumentar con el tiempo cósmico, a medida que sucesivas generaciones de estrellas liberan productos de fusión nuclear mediante vientos estelares y supernovas, la baja metalicidad de Sharpless 284 refleja su carácter relativamente primitivo. Esto la convierte en un análogo local de los entornos del universo temprano, también pobres en elementos pesados.

“Nuestro descubrimiento está arrojando luz sobre el mecanismo de formación de estrellas masivas en entornos de baja metalicidad, de modo que podemos usar esta estrella como un laboratorio para estudiar qué sucedía en la historia cósmica temprana”, explica Cheng.

El Instituto de Astrofísica de Andalucía ha desempeñado un papel clave en el diseño de la parte técnica de las observaciones realizadas con el telescopio James Webb. En particular, el investigador del IAA-CSIC Rubén Fedriani, especialista en formación estelar y chorros protoestelares, incorporó el filtro específico de hidrógeno molecular que dio lugar al descubrimiento del chorro protoestelar, lo que resultó decisivo para llegar a uno de los resultados principales del estudio.

“Según observamos en el chorro de Sharpless 284, todo hace indicar que la formación de esta protoestrella masiva es una versión escalada de la formación estelar de baja masa”, señala Rubén Fedriani (IAA-CSIC)

TRAS EL RASTRO DE LAS ESTRELLAS MASIVAS

Durante más de tres décadas, la formación de estrellas masivas ha sido objeto de un intenso debate en la comunidad astronómica. Existen dos modelos teóricos principales que intentan explicar este proceso. Por un lado, la teoría de acreción

por núcleo propone que estas estrellas se forman de manera ordenada, mediante la acumulación de material a través de un disco denso y relativamente estable que rodea a la protoestrella, similar a la formación de estrellas como el Sol. Por otro, la teoría de acreción competitiva sugiere un escenario mucho más caótico, en el que la protoestrella crece al atraer material desde distintas direcciones, sin un eje definido, lo que daría lugar a una estructura menos simétrica y más irregular.

“Una de las primeras cosas que nos sorprendió al analizar las observaciones fue el grado de simetría y colimación del chorro”, explica Rubén Fedriani (IAA-CSIC). Esta morfología sugiere que la formación de la protoestrella ha sido un proceso altamente organizado, en consonancia con lo que postula la teoría de acreción por núcleo. Si el proceso de crecimiento hubiera sido más caótico, como propone el modelo de acreción competitiva, cabría esperar un chorro con curvas, desviaciones o cambios de orientación. Sin embargo, en Sharpless 284 se ha observado un chorro estable, cuyos dos lados están prácticamente alineados a 180 grados.

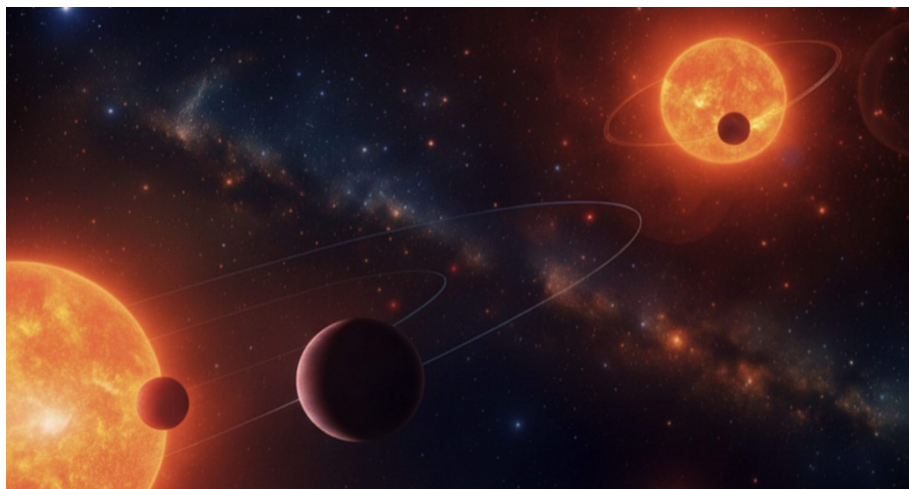
Este hallazgo supone un avance importante en la comprensión de cómo se forman las estrellas masivas.



El JWST capturó recientemente una imagen de un chorro estelar de gran tamaño en las afueras de nuestra galaxia, la Vía Láctea, en el protocúmulo Sh2-284. Su detección proporciona evidencia de que los chorros aumentan con la masa de sus estrellas anfitrionas. Créditos: NASA, ESA, CSA, STScI, Yu Cheng (NAOJ)

Descubren por primera vez un sistema binario con planetas de tipo terrestre transitando en ambas estrellas

EL IAA-CSIC HA COLIDERADO UN ESTUDIO QUE REVELA PLANETAS DEL TAMAÑO DE LA TIERRA ORBITANDO AMBAS ESTRELLAS DE UN SISTEMA BINARIO EXTREMADAMENTE COMPACTO



Representación artística de TOI-2267. Créditos: Mario Sucerquia (Univ. Grenoble Alpes)

Los sistemas binarios —formados por dos estrellas que orbitan en torno a un centro común— son muy frecuentes en nuestra galaxia. Sin embargo, encontrar planetas en ellos resulta un auténtico reto: la atracción gravitatoria de dos soles complica tanto su formación como su estabilidad. Por eso, cada nuevo hallazgo en este tipo de entornos ofrece pistas clave sobre cómo y dónde pueden formarse los planetas.

En este contexto, el IAA-CSIC ha coliderado el descubrimiento de un sistema formado por dos estrellas muy pequeñas y frías, de tipo M5 y M6, que orbitan inusualmente cerca entre sí. Lo más sorprendente es que se han hallado indicios sólidos de que planetas de tamaño terrestre transitan frente a ambas estrellas, un resultado sin precedentes en este tipo de sistemas.

“Hasta ahora, en los sistemas binarios con planetas conocidos, estos se encontraban siempre alrededor de una sola estrella o, en casos muy puntuales, alrededor de ambas, pero en esos sistemas las estrellas estaban muy separadas entre sí”, explica Francisco J. Pozuelos, investigador del IAA-CSIC y colíder del estudio. “Nunca antes se había observado un caso como el de TOI-2267.”

Este hallazgo resulta especialmente relevante porque aporta nuevos datos sobre la formación y estabilidad de planetas

en entornos de estrellas dobles, considerados durante mucho tiempo hostiles para el desarrollo de sistemas planetarios complejos.

UN LABORATORIO NATURAL PARA EL ESTUDIO DE PLANETAS

TOI-2267 es un sistema binario compacto situado a unos 190 años luz de la Tierra, formado por dos estrellas que orbitan a una distancia muy reducida entre sí. Desde nuestra perspectiva, parecen separadas por lo que equivale a unas ocho veces la distancia entre la Tierra y el Sol. Esta medida se denomina “separación proyectada” y representa la distancia mínima aparente en el cielo, aunque la separación real podría ser algo mayor.

Este tipo de sistemas genera un entorno gravitatorio complejo, poco favorable para la formación de planetas. Sin embargo, los investigadores han identificado tres cuerpos de tamaño similar a la Tierra en órbitas muy cortas, un hallazgo que desafía varios modelos clásicos de formación planetaria.

La contribución del IAA-CSIC ha resultado determinante en este descubrimiento: gracias a su propio software de búsqueda de exoplanetas, llamado SHERLOCK, el equipo pudo detectar dos de los tres planetas de este sistema incluso antes que la misión TESS de la NASA, accediendo a los datos que esta había hecho públicos.

Este hallazgo temprano permitió planificar observaciones de seguimiento desde telescopios en Tierra con más de un año de ventaja sobre otros equipos internacionales, lo que resultó fundamental para liderar el estudio. Entre estas observaciones, destacan las realizadas con el telescopio de 1,5 metros del Observatorio de Sierra Nevada (OSN), gestionado científicamente por el IAA-CSIC, cuyos datos fueron esenciales para comprender en detalle la naturaleza de este sistema planetario tan singular.

La confirmación definitiva de que se trataba de planetas requirió una intensa campaña en varios observatorios. Entre ellos, los telescopios SPECULOOS y TRAPPIST, liderados por la Universidad de Lieja (Bélgica), jugaron un papel importante.

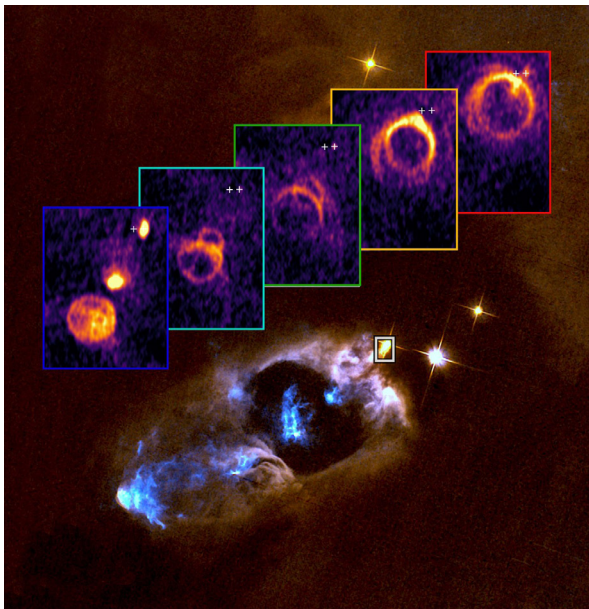
“Este descubrimiento nos permite poner a prueba los límites de los modelos de formación planetaria en entornos complejos y comprender mejor la diversidad de arquitecturas planetarias posibles en nuestra galaxia”, señala Sebastián Zúñiga-Fernández, miembro del grupo EXOTIC en la Universidad de Lieja y autor principal del estudio junto a Pozuelos.

NUEVAS PREGUNTAS Y FUTURAS INVESTIGACIONES

El hallazgo plantea numerosas preguntas sobre la formación de planetas en sistemas binarios y abre la vía a nuevas observaciones, en particular con el telescopio espacial James Webb (JWST) y con la próxima generación de telescopios gigantes terrestres. Estos instrumentos permitirán medir con mayor precisión las masas, densidades y quizá, incluso la composición atmosférica de estos mundos lejanos.

“Este hallazgo nos obliga a replantearnos las teorías actuales de formación planetaria en sistemas binarios, que hasta ahora no permitían que mundos parecidos a la Tierra pudieran surgir y mantenerse estables en sistemas tan complejos. Y lo más importante, abre una ventana completamente nueva para entender cómo se forman y evolucionan los planetas en entornos extremos”, concluye Pozuelos.

La interacción entre el jet de una estrella joven y su entorno, reconstruida con un detalle inédito gracias al telescopio ALMA



Visión "tomográfica" obtenida por ALMA que revela cómo el jet protoestelar supersónico de SVS 13 interactúa con el medio ambiente circundante. Como fondo, se muestra una imagen obtenida por el telescopio espacial Hubble (HST) en la que se aprecia la cavidad excavada por el jet, junto con la luz azulada de los objetos "Herbig-Haro" 7-11, especialmente llamativos en longitudes de onda ópticas. El recuadro en la imagen del HST indica la región mostrada en las imágenes de ALMA. El color de los marcos de estas imágenes indica la velocidad, comprendida entre 35 km/s (rojo) y 97 km/s (azul). Créditos: Guillermo Blázquez-Calero, Mayra Osorio, Guillem Anglada (IAA-CSIC). Créditos de la imagen de fondo: ESA/Hubble & NASA, Karl Stapelfeldt.

UN EQUIPO DEL IAA-CSIC HA OBTENIDO IMÁGENES CON UN DETALLE SIN PRECEDENTES QUE MUESTRAN "CORTES" DEL JET DE UNA ESTRELLA JOVEN, REVELANDO SU ESTRUCTURA INTERNA Y CÓMO INTERACTÚA CON EL ENTORNO

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

ESTALLIDOS ESTELARES Y JETS: UN NACIMIENTO TURBULENTO

Las estrellas similares al Sol nacen en el interior de inmensas nubes de gas y polvo. En torno a cada estrella se forma un disco que la alimenta y donde, con el tiempo, se originan los planetas. Pero este escenario dista de ser apacible: durante sus primeras etapas, las estrellas experimentan estallidos que calientan y remodelan el disco, y lanzan potentes chorros de material —jets— que atraviesan el espacio interestelar a velocidades hipersónicas. Estos fenómenos influyen tanto en la evolución de la futura estrella como en la configuración de los sistemas planetarios que se formarán a su alrededor.

Un estudio, liderado por el IAA-CSIC, presenta una secuencia de imágenes en forma de anillo que muestra, en una especie de tomografía cósmica, el comportamiento de la sección transversal de un jet a medida que varía su velocidad. Esta técnica permite reconstruir cómo el material eyectado interactúa con su entorno con un nivel de detalle sin precedentes. El resultado ofrece, por primera vez, una sólida validación de un modelo teórico planteado hace tres décadas sobre la dinámica interna de los jets.

"Estos resultados obtenidos con el radiotelescopio ALMA arrojan luz sobre cómo se expulsa material desde las inmediaciones de una estrella joven, cuál es su relación con los estallidos que se observan en estas primeras etapas de la vida de una estrella y cómo el chorro de material expulsado interactúa con el medio in-

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

OBSERVANDO CON DETALLE EL SISTEMA SVS 13

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

terestelar a grandes distancias", señala Guillermo Blázquez Calero, investigador del IAA-CSIC que lidera el trabajo.

ECOS DE LUZ POLARIZADA REVELAN UN PASADO MÁS ACTIVO EN LA GALAXIA GSN 069

EL ESTUDIO SE CENTRA EN GSN 069, UNA GALAXIA CONOCIDA POR SER LA PRIMERA FUENTE EN LA QUE SE IDENTIFICARON ERUPCIONES CUASI-PERIÓDICAS (QPE), BREVES Y ENERGÉTICOS DESTELLOS DE RAYOS X ASOCIADOS A UN AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO

La galaxia GSN 069, situada a unos 250 millones de años luz de la Tierra, es bien conocida por la comunidad astronómica debido a su comportamiento extremo. En su centro alberga un agujero negro supermasivo que produce extrañas explosiones de rayos X cuasi-periódicas —conocidas como QPE, por sus siglas en inglés—, un fenómeno poco común y aún no del todo comprendido.

Ahora, un nuevo estudio en el que participa el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), publicado en *Astronomy & Astrophysics Letters*, ha logrado asomarse al pasado de esta galaxia y reconstruir cómo fue la actividad de su núcleo hace miles de años mediante una aproximación inédita. “Es la primera vez que se utiliza la polarización óptica para rastrear la actividad pasada del núcleo de una galaxia que presenta erupciones cuasi-periódicas en rayos X”, explica Beatriz Agís González, investigadora del *Institute of Astrophysics (IA)* del *Foundation for Research and Technology – Hellas (FORTH, Grecia)*, autora principal del trabajo y que desarrolló parte de su trayectoria científica en el IAA-CSIC. “Hasta ahora, no se había conseguido detectar un incremento en la cantidad de luz polarizada conforme nos alejamos del centro la galaxia y que este incremento se atribuya a la acción del agujero negro supermasivo central”.

ECOS DE LUZ DE SU ACTIVIDAD PASADA

El trabajo muestra que GSN 069 no siempre fue tan tranquila como parece hoy en el rango óptico. A partir del análisis de la luz polarizada, el equipo ha detectado lo que pueden considerarse “ecos de luz” de su antigua actividad. Esta radiación, emitida por el núcleo de la galaxia en el pasado, se dispersó en el gas y el polvo que lo rodean y ha tardado más tiempo en llegar hasta nosotros que la luz directa. Gracias a este retraso, los investigadores han

podido observar señales de un episodio anterior en la historia de la galaxia, cuando su agujero negro central estaba activo de forma sostenida.

Los resultados aportan una nueva evidencia a uno de los principales debates en torno a GSN 069. Hasta la fecha, no estaba claro si la energía liberada en el pasado proviene de un núcleo galáctico activo (AGN) convencional o a una sucesión de eventos extremos en los que estrellas eran destruidas al acercarse demasiado al agujero negro. Este estudio apunta a la primera opción: “GSN 069 albergó en el pasado un núcleo galáctico activo ‘normal’, lo que ayuda a comprender mejor el entorno en el que se producen las enigmáticas erupciones cuasi-periódicas”, señala Sara Cazzoli, investigadora del IAA-CSIC que participa en el estudio.

UN ANÁLISIS COMPLETO DE LA LUZ POLARIZADA

Para llegar a estos resultados, el equipo utilizó el instrumento FOR2, instalado en una de las unidades del Very Large Telescope (VLT) del Observatorio Europeo Austral (ESO), combinando

dos técnicas complementarias. Por un lado, la polarimetría de imagen permitió localizar dónde se concentra la luz polarizada en la imagen de la galaxia. “En GSN 069 observamos que el centro, donde se encuentra el agujero negro, no muestra polarización, mientras que esta aumenta progresivamente hacia regiones más externas, una señal característica de luz dispersada”, explica la autora principal del trabajo.

La espectropolarimetría permitió profundizar en el estudio al analizar cómo se organiza esa luz polarizada. Aunque no se encontraron cambios significativos entre los distintos colores de la luz, este análisis confirmó que la señal procede del núcleo de la galaxia y se dispersa en regiones con una estructura irregular.

“El trabajo abre una nueva vía para estudiar la historia pasada de galaxias con agujeros negros supermasivos y sugiere que la luz polarizada puede convertirse en una herramienta clave para reconstruir episodios de actividad que, de otro modo, permanecerían ocultos”, concluye Beatriz Agís (IA).



Representación artística de una galaxia activa. Crédito: Triff/Shutterstock.com

Cartografían “autopistas” magnéticas en los vientos de una galaxia con estallidos de formación estelar

POR PRIMERA VEZ, ALMA RASTREA LUZ POLARIZADA PARA CARTOGRAFIAR LOS CAMPOS MAGNÉTICOS EN LOS VIENTOS DE ALTA VELOCIDAD DE ARP 220, UNA GALAXIA INFRARROJA ULTRALUMINOSA

Arp 220 es una galaxia infrarroja ultraluminosa formada por dos galaxias espirales en las fases finales de su fusión. Al tratarse del ejemplo más cercano de este tipo de sistemas, actúa como una poderosa máquina del tiempo: lo que ocurre hoy en Arp 220 probablemente refleja lo que sucedía en las primeras generaciones de galaxias masivas y ricas en polvo hace más de 10.000 millones de años.

Un equipo internacional, con participación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha utilizado el observatorio Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) para cartografiar una “autopista” magnética que impulsa un potente viento galáctico en Arp 220. “El estudio revela por primera vez que sus rápidos flujos moleculares están fuertemente magnetizados y que probablemente contribuyen a transportar metales, polvo y rayos cósmicos al espacio que rodea la galaxia”, señala Miguel Ángel Pérez Torres, investigador del IAA-CSIC que participa en el trabajo.

Al observar cómo diminutos granos de polvo y moléculas de gas se alinean con estos campos, el equipo ha elaborado el mapa magnético más detallado hasta la fecha de los núcleos ocultos de formación estelar de Arp 220 y de sus flujos de salida. Los resultados ofrecen una nueva forma de entender cómo interactúan la gravedad, el nacimiento de estrellas, los agujeros negros y las fuerzas magnéticas en un entorno cósmico caótico.

Las observaciones del núcleo oeste de Arp 220 revelaron un campo magnético casi vertical que discurre junto a un flujo molecular bipolar que alcanza velocidades de hasta unos 500 kilómetros por segundo, impulsando una potente “autopista” magnética fuera de la galaxia. Aunque se sabe que las fusiones de galaxias y los estallidos de

formación estelar generan vientos intensos capaces de frenar o regular la formación de estrellas al expulsar el gas, estos nuevos resultados muestran que los campos magnéticos son un componente clave —hasta ahora desconocido— en la fuerza de estos vientos.

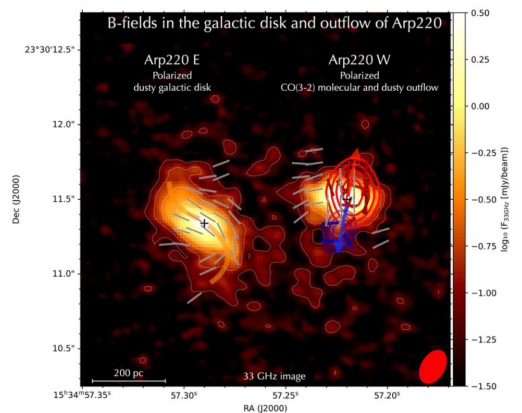
SIGUIENDO LA PISTA DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS

El equipo utilizó ALMA para observar la luz polarizada emitida por el polvo y el gas de Arp 220, lo que les permitió seguir la huella de los campos magnéticos en sus regiones más densas y en los potentes vientos que salen de la galaxia. Estas observaciones ofrecieron una visión detallada de cómo se organizan los campos magnéticos en torno a los núcleos de formación estelar y a lo largo de los flujos de material expulsados al espacio.

“Al combinar esta información con datos sobre el movimiento y la cantidad de gas, logramos estimar la intensidad de los campos magnéticos y analizar su papel en la dinámica de los vientos galácticos” explica Antxon Alberdi (IAA-CSIC). En el núcleo este, ALMA reveló además un patrón magnético en forma de espiral que atraviesa un disco compacto envuelto en polvo, lo que indica que estas estructuras ordenadas pueden mantenerse incluso en las fases más avanzadas de la fusión entre galaxias.

Además, entre ambos núcleos se detectó una “autopista” de polvo fuertemente magnetizado, que podría estar canalizando material y campos magnéticos de una región a otra durante la fusión.

El equipo estima que las intensidades de estos campos magnéticos son cientos o incluso miles de veces superiores al campo magnético medio del disco



Las campos magnéticos del disco galáctico y el flujo de polvo y molecular de la galaxia en fusión Arp 220 observados por ALMA. Los granos de polvo alineados magnéticamente (líneas grises) muestran un campo magnético paralelo al disco en Arp 220 Este, mientras que en Arp 220 Oeste, el campo magnético es paralelo al flujo (contornos rojos y azules) impulsado por la actividad de formación estelar. La emisión molecular de CO muestra un campo magnético colimado (líneas azules y rojas) a lo largo de los rápidos flujos moleculares de Arp 220 Oeste. Créditos: López-Rodríguez, E. (USC; datos de polarización); Girart, J.M. (ICE, CSIC; datos de polarización); Barcos-Muñoz, L. (NRAO; datos de 3 GHz).

de la Vía Láctea. Esto sugiere que los campos comprimidos y amplificadas por la turbulencia ayudan a dirigir el material hacia el medio circungaláctico.

IMPLICACIONES PARA LA EVOLUCIÓN DE LAS GALAXIAS

Dado que Arp 220 es el análogo más cercano de las galaxias extremas, ricas en polvo y con intensa formación estelar del Universo temprano, estos resultados indican que los campos magnéticos fuertes y organizados podrían ser comunes en los estallidos de formación estelar a alto corrimiento al rojo y desempeñar un papel clave en la regulación de la formación estelar y la retroalimentación a lo largo del tiempo cósmico.

Estas observaciones con ALMA demuestran que los campos fuertes y ordenados en sus vientos galácticos actúan como raíles invisibles, guiando metales, polvo y rayos cósmicos hacia la extensa envoltura de gas que rodea al sistema.

Ese material acabará contribuyendo a la formación y el enriquecimiento de futuras generaciones de estrellas y galaxias. A medida que la comunidad astronómica apunte ALMA y futuros telescopios hacia galaxias cada vez más distantes, esperan encontrar “autopistas” magnéticas similares actuando en todo el cosmos.

“Más allá de ser una fusión espectacular, Arp 220 se revela como una pieza fundamental para comprender cómo las galaxias se transforman con el tiempo y cómo esos procesos han dado forma al Universo que observamos hoy”, concluye Pérez Torres (IAA-CSIC).

Una inusual tormenta de polvo revela cómo Marte perdió parte de su agua

EL IAA-CSIC COLIDERA UN ESTUDIO QUE DEMUESTRA EL IMPACTO DE ESTOS EPISODIOS ANÓMALOS EN LA TRANSFORMACIÓN DE MARTE EN EL PLANETA ÁRIDO QUE CONOCEMOS

La imagen actual de Marte como un desierto árido y hostil contrasta con la historia que revela su propia superficie. Canales, minerales alterados por el agua y otras huellas geológicas indican que el planeta rojo fue, en sus primeros tiempos, un mundo mucho más húmedo y dinámico. Reconstruir cómo desapareció ese entorno rico en agua sigue siendo uno de los grandes retos de la ciencia planetaria.

Ahora, un estudio liderado por el IAA-CSIC demuestra, por primera vez, que una tormenta de polvo anómala, intensa pero de escala local, fue capaz de impulsar el transporte de agua hasta las capas más altas de la atmósfera marciana durante el verano del hemisferio norte, una época en la que este proceso no se consideraba relevante.

“El hallazgo abre una nueva vía para entender cómo Marte perdió gran parte de su agua a lo largo del tiempo”, apunta Adrián Brines, investigador del IAA-CSIC y coautor principal del estudio.

EL ESCAPE DE HIDRÓGENO EN EL PLANETA ROJO

Una de las claves para saber cuánta agua ha perdido Marte es medir cuánto hidrógeno ha escapado al espacio. Las mediciones actuales muestran que el planeta ha perdido una enorme cantidad de agua a lo largo de miles de millones de años, suficiente para cubrir gran parte de su superficie con cientos de metros de profundidad.

Al igual que la Tierra, Marte presenta cuatro estaciones debido a una inclinación axial similar. “Sin embargo, su órbita es más elíptica, de modo que durante parte de su año el planeta se encuentra más cerca del Sol y recibe más energía”, explica Brines. A esto se suma una marcada diferencia en la elevación del terreno entre ambos hemisferios, más bajo en el norte que en el sur, lo que provoca que los veranos del hemisferio sur sean mucho más cálidos y dinámicos que los del hemisferio norte.

En este contexto, durante el verano del hemisferio sur —o verano austral— la atmósfera se carga de polvo y se calienta, lo

que favorece que el vapor de agua ascienda hasta capas muy altas, donde la radiación solar lo descompone y permite que el hidrógeno escape al espacio. En cambio, durante el verano boreal, el agua queda confinada a altitudes más bajas y la pérdida es mucho menor. Este ciclo estacional convierte al verano austral en el principal periodo de pérdida de agua de Marte.

UN EPISODIO INESPERADO

Este estudio ha detectado un aumento inusual de vapor de agua en la atmósfera media de Marte durante el verano del hemisferio norte en el año marciano 37 (2022-2023 en la Tierra), provocado por una tormenta de polvo anómala.

El hallazgo se basa en la combinación de datos del TGO de la misión ExoMars de la ESA y su instrumento NOMAD —en cuyo equipo científico participa activamente el IAA-CSIC— con observaciones de otras misiones activas en órbita marciana, como MRO de la NASA y la EMM.

“Gracias a la monitorización constante y sistemática de estas observaciones y a las idóneas herramientas de cálculo del IAA-CSIC para este tipo de estudios atmosféricos, hemos podido estudiar no solo la distribución vertical del vapor de agua, sino también la distribución de polvo en la atmósfera, la formación de nubes de hielo de agua y el escape de hidrógeno al espacio”, detalla Adrián Brines.

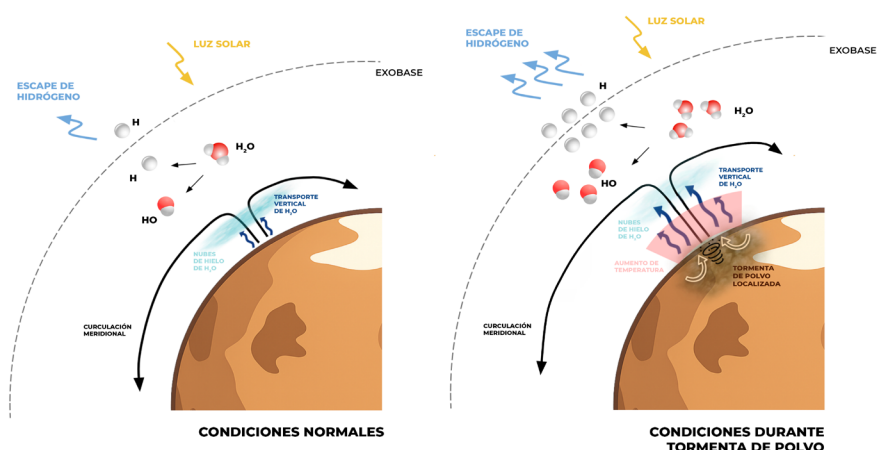
En este caso, una atípica tormenta de

polvo provocó una inyección repentina y muy intensa de vapor de agua que alcanzó alturas de hasta 60–80 kilómetros, especialmente en latitudes altas del hemisferio norte. En esas altitudes, la cantidad de agua fue hasta diez veces mayor de lo habitual, un comportamiento que no predicen los modelos climáticos actuales.

Este exceso de vapor de agua no fue local: se detectó de forma simultánea en todas las longitudes, lo que indica que el agua se distribuyó rápidamente alrededor del planeta. Tras unas semanas, la cantidad de polvo en la atmósfera volvió a niveles normales y, en consecuencia, el vapor de agua volvió a concentrarse en las capas bajas.

El fenómeno no se quedó solo en la atmósfera media. Las observaciones independientes de las misiones EMM y MRO, mostraron que, poco después, aumentó de forma notable la cantidad de hidrógeno en la exobase. Como consecuencia, el escape de hidrógeno al espacio se incrementó aproximadamente 2,5 veces respecto a años anteriores durante la misma estación.

Aunque este episodio fue breve y no tan intenso como los grandes eventos de pérdida de hidrógeno asociados al verano austral y a las tormentas globales de polvo, demuestra que Marte puede perder agua de forma significativa incluso durante periodos.



Esquema que ilustra la respuesta atmosférica a una tormenta de polvo localizada en el hemisferio norte durante la temporada estival local. Las altas concentraciones de polvo aumentan significativamente la absorción de la radiación solar, lo que provoca un mayor calentamiento atmosférico, especialmente en la atmósfera media. Además, el aumento de la circulación atmosférica asociado a la tormenta de polvo refuerza el transporte vertical de vapor de agua desde la baja atmósfera, lo que favorece la inyección de agua a mayores altitudes y aumenta el escape de hidrógeno en la exobase. Crédito: Brines, Aoki et al., 2026, Communications: Earth & Environment.

ACTUALIDAD

LoTSS-DR3, el mayor sondeo radioastronómico del cielo, cartografía el universo con un detalle sin precedentes

EL INVESTIGADOR JAVIER MOLDÓN, DEL IAA-CSIC, PARTICIPA EN LA COLABORACIÓN INTERNACIONAL “LOFAR SURVEYS”, UN KEY SCIENCE PROJECT DE LOFAR QUE HA PUBLICADO EL MAYOR MAPA DEL CIELO A MUY BAJAS FRECUENCIAS OBTENIDO CON ESTE RADIOTELESCOPIO

El IAA-CSIC forma parte de la colaboración internacional que ha utilizado LOFAR (Low Frequency Array) —una red de más de 70.000 pequeñas antenas distribuidas por Europa— para obtener un mapa del cielo en ondas de radio con un nivel de detalle excepcional. El mapa revela 13,7 millones de fuentes cósmicas y ofrece el censo más completo hasta la fecha de agujeros negros supermasivos en crecimiento activo.

Los resultados del estudio muestran una gran diversidad de sistemas impulsados por estos agujeros negros, cuya emisión en radio puede extenderse a lo largo de millones de años luz. El nuevo sondeo LOFAR Two-metre Sky Survey (LoTSS-DR3) marca un hito tanto en la radioastronomía como en la colaboración científica internacional.

“LoTSS-DR3 amplía de forma decisiva la exploración del cielo a muy bajas frecuencias, cubriendo casi todo el hemisferio norte con una sensibilidad y una resolución sin precedentes”, sostiene Javier Moldón, investigador del IAA-CSIC que forma parte del estudio. “Esto nos permite estudiar con un nivel de detalle excepcional los procesos no térmicos asociados a campos magnéticos, choques y plasmas relativistas en una amplia variedad de fuentes astrofísicas”.

UNA NUEVA FORMA DE MIRAR UNIVERSO

Al observar el cielo a bajas frecuencias de radio, el sondeo ofrece una visión del universo radicalmente distinta de la que proporcionan las longitudes de onda ópticas. Gran parte de la emisión detectada procede de partículas relativistas que se desplazan a velocidades cercanas a la luz a través de campos magnéticos, lo que permite rastrear fenómenos energéticos

como los potentes chorros de los agujeros negros supermasivos o las galaxias con formación estelar extrema a lo largo del tiempo cósmico.

Gracias a su elevado nivel de detalle, el sondeo también ha revelado objetos raros y esquivos, como cúmulos de galaxias en proceso de fusión, débiles restos de supernova y estrellas en erupción o en interacción.

El estudio ya está impulsando cientos de nuevas investigaciones en distintos ámbitos de la astronomía, al aportar información novedosa sobre la formación y evolución de las estructuras cósmicas, los mecanismos que aceleran partículas hasta energías extremas y los campos magnéticos cósmicos. Además, pone a disposición pública los mapas en radio de gran área más sensibles obtenidos hasta la fecha a muy bajas frecuencias.

Moldón afirma que “para el IAA-CSIC estos datos son clave en estudios de formación estelar extragaláctica —desde estallidos intensos y galaxias análogas al universo temprano hasta núcleos activos—, así como en el análisis de eventos transitorios y exoplanetas”. Y añade: “Al tratarse de un legado público, LoTSS permite por primera vez realizar análisis multibanda a gran escala, combinando de forma sistemática la información en radio con la del resto del espectro electromagnético”.

DESCUBRIMIENTOS TRANSFORMADORES

Aunque la explotación científica apenas está comenzando, la escala, la sensibilidad y la resolución del sondeo ya están impulsando nuevos estudios en una amplia variedad de entornos cósmicos.

“Podemos estudiar una población diver-

sa de agujeros negros supermasivos y sus chorros en radio en distintas etapas de su evolución, mostrando cómo sus propiedades dependen no solo del propio agujero negro, sino también de la galaxia y del entorno en el que se encuentra”, señala el profesor Martin Hardcastle, de la Universidad de Hertfordshire. Al mismo tiempo, el sondeo ha proporcionado mediciones sólidas de las tasas de formación estelar en millones de galaxias, mostrando cómo estas varían en función de las propiedades galácticas y a lo largo del tiempo cósmico.

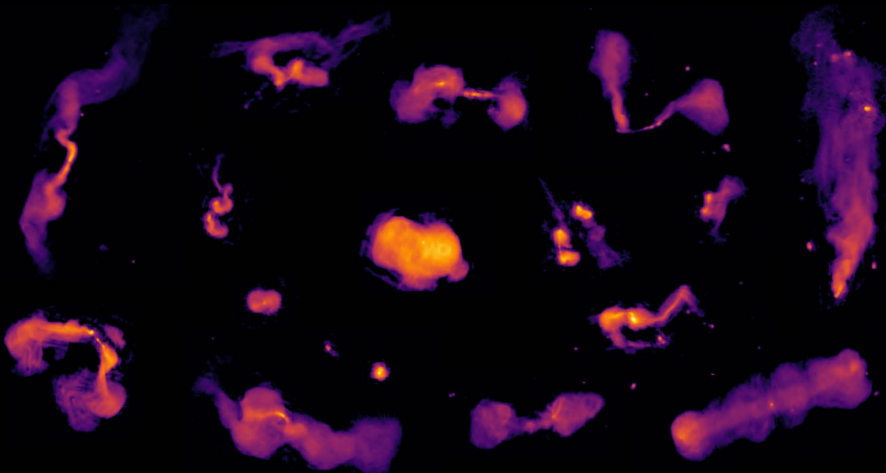
Los datos están siendo analizados cuidadosamente en busca de fenómenos astrofísicos raros, habiéndose identificado ya varios, entre ellos fuentes de radio transitorias y variables o restos de supernova previamente desconocidos.

INNOVACIÓN TÉCNICA

El procesamiento de los datos de LoTSS-DR3 requirió el desarrollo de nuevas técnicas capaces de corregir con precisión las fuertes distorsiones causadas por la ionosfera terrestre, la capa eléctricamente cargada de la atmósfera superior. Para hacer viable el análisis de 13.000 horas de observaciones, estos avances se combinaron con sistemas de automatización robustos y procesos de optimización.

MIRANDO AL FUTURO

Con la actualización a LOFAR 2.0, la colaboración prevé ampliar los resultados de LoTSS-DR3 y aprovechar el incremento en la velocidad de sondeo que ofrecerá el instrumento. Los avances en calibración y procesamiento de datos permiten utilizar las estaciones internacionales para obtener imágenes con una resolución angular mucho mayor, lo que abre la puerta a estudios aún más detallados.



Selección del sondeo de lóbulos de radio alimentados por agujeros negros supermasivos. Crédito: Maya Horton y la colaboración LOFAR Surveys

Una solución matemática a un problema abierto desde hace décadas en el estudio de los exoplanetas

EL TRABAJO, DESARROLLADO POR EL INVESTIGADOR DEL IAA-CSIC LEONARDOS GKOUVELIS, PROPORCIONA UNA BASE TEÓRICA MUCHO MÁS REALISTA PARA ANALIZAR LOS DATOS ACTUALES DEL JWST

Cuando un exoplaneta pasa por delante de su estrella visto desde la Tierra, una pequeña fracción de la luz estelar atraviesa su atmósfera antes de llegar a nuestros telescopios. Este fenómeno, conocido como tránsito planetario, permite a los astrónomos estudiar la composición y la estructura de las atmósferas de mundos situados fuera del sistema solar. Analizando cómo se filtra esa luz es posible identificar la presencia de gases, nubes o brumas, convirtiendo los tránsitos en una de las herramientas más potentes para la caracterización de exoplanetas.

Un nuevo estudio del IAA-CSIC logra, por primera vez, encontrar una solución matemática exacta y relativamente sencilla que describe cómo observamos las atmósferas de los exoplanetas durante los tránsitos.

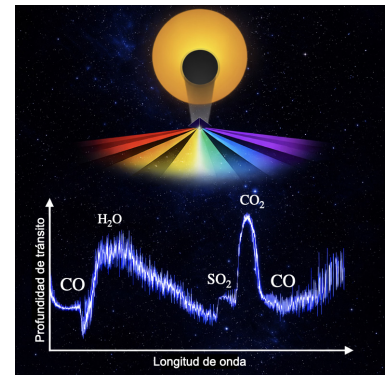
UNA BASE TEÓRICA MÁS REALISTA

Durante décadas, la comunidad asumió que la formulación matemática completa era inabordable, lo que obligó a trabajar con modelos numéricos. Demostrar que existe una solución analítica no solo rompe una barrera conceptual largamente aceptada, sino que

permite describir de forma más fiel qué información llega realmente a los telescopios cuando observamos las atmósferas de exoplanetas.

El trabajo demuestra, además, que esta nueva formulación explica de forma natural por qué muchas atmósferas de exoplanetas muestran señales espectrales más débiles o "apagadas" de lo esperado. Gkouvelis, investigador del IAA-CSIC que ha desarrollado el trabajo, señala que estas atenuaciones no tienen por qué deberse únicamente a nubes o brumas, sino que "pueden surgir de forma intrínseca del propio proceso físico y geométrico de observación durante un tránsito, lo que abre la puerta a reinterpretar resultados que hasta ahora eran difíciles de explicar".

Los resultados del estudio proporcionan una base teórica mucho más realista para analizar los datos actuales del telescopio espacial James Webb, que observa atmósferas de exoplanetas con un nivel de detalle sin precedentes. Este avance permitirá desarrollar métodos más rápidos y fiables para estudiar la composición y la estructura de las atmósferas de otros mundos.

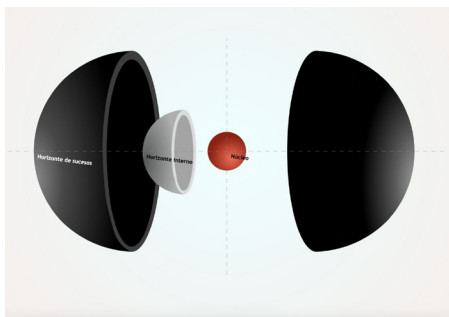


Cuando un planeta pasa por delante de su estrella, una pequeña fracción de la luz estelar atraviesa su atmósfera antes de llegar hasta nosotros. Los distintos gases presentes absorben la luz de manera selectiva, dejando "huellas" características en el espectro. Midiendo cómo cambia la profundidad del tránsito con la longitud de onda, los astrónomos pueden identificar la composición química de la atmósfera. Crédito: IAA-CSIC / L. Gkouvelis.

A medio plazo, este tipo de avances son fundamentales para comprender mejor cómo son los planetas situados fuera del Sistema Solar y para evaluar si algunos podrían presentar condiciones similares a las de la Tierra o resultar potencialmente habitables.

Más allá de Einstein: nuevas ecuaciones para construir la historia completa de los agujeros negros

EL INVESTIGADOR DEL IAA-CSIC RAÚL CARBALLO-RUBIO HA DESARROLLADO UN NUEVO MARCO TEÓRICO PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DEL INTERIOR DE LOS AGUJEROS NEGROS ESFÉRICAMENTE SIMÉTRICOS



Esquema de la estructura estática de un agujero negro esféricamente simétrico. Créditos: Raúl Carballo-Rubio (IAA-CSIC)

La teoría de la relatividad general, formulada por Albert Einstein hace más de un siglo, es el pilar sobre el que se sustenta nuestra comprensión de la gravedad y de los fenómenos más extremos del universo. Sin embargo, sus ecuaciones predicen la existencia de singularidades: regiones donde la densidad y la curvatura del espacio-tiempo se vuelven infinitas y la descripción física deja de ser válida. Este límite ha impulsado la búsqueda de nuevas propuestas capaces de

ir más allá de la teoría original y abordar procesos aún no resueltos, como la formación y la evaporación de los agujeros negros.

En este contexto, un trabajo de Raúl Carballo-Rubio, investigador del IAA-CSIC, propone un nuevo marco teórico para analizar aspectos de la física de los agujeros negros hasta ahora inaccesibles. "Mi trabajo ofrece un conjunto de ecuaciones que establecen nuevas 'reglas' para describir cómo puede comportarse el interior de los agujeros negros esféricamente simétricos", explica Carballo-Rubio. "Mientras que en relatividad general estos objetos presentan una estructura incompleta, este nuevo marco permite describir agujeros negros sin esa limitación".

UNA IDEALIZACIÓN MATEMÁTICA

Los agujeros negros esféricamente simétricos son una idealización teórica: objetos perfectamente "redondos", sin rotación ni deformaciones, cuyas propiedades dependen únicamente de la distancia al centro.

Aunque este modelo reproduce con gran

precisión lo que ocurre fuera del horizonte, conduce inevitablemente a una singularidad central. Allí, la curvatura del espacio-tiempo se vuelve infinita y las trayectorias de partículas y de la luz no pueden prolongarse más allá de cierto punto. Es lo que en términos técnicos se conoce como incompletitud geodésica.

El nuevo marco propuesto por el investigador del IAA-CSIC introduce un conjunto de ecuaciones que permite describir agujeros negros esféricamente simétricos sin esa ruptura interna, abriendo la puerta a una narración física coherente desde su formación hasta su posible evaporación. "Esto requiere combinar elementos de la teoría clásica y de la teoría cuántica de campos con las nuevas ecuaciones que estoy desarrollando", explica.

"El siguiente paso será analizar en detalle las propiedades físicas de estos objetos, tanto desde el punto de vista teórico como mediante simulaciones numéricas que permitan estudiar su comportamiento en distintos escenarios" concluye Carballo-Rubio.

LA ALHAMBRA

ESPEJO DEL FIRMAMENTO Y MANUSCRITO CELESTE

Desde sus orígenes, la experiencia artística y espiritual del islam ha caminado de la mano del firmamento. No se trata únicamente de una necesidad ritual —como la orientación hacia La Meca, el inicio del Ramadán o los cinco rezos diarios—, sino de una cosmovisión profunda donde el universo se entiende como una totalidad armónica. En el mundo antiguo, el macrocosmos influía inevitablemente en el microcosmos, en el ser humano y su destino.

Bajo esta premisa, la Alhambra de Granada no es solo un conjunto de palacios; es una arquitectura que respira al ritmo de los astros. A través de la **Arqueoastronomía**, un área interdisciplinar del conocimiento que estudia cómo las culturas del pasado plasmaron el cielo en sus obras, podemos leer la Alhambra como un “manuscrito celeste” donde ciencia, fe y poder político se entrelazan indisolublemente.

LOS TRES NIVELES DE LA ARQUITECTURA CELESTE

Para comprender la profundidad de este enfoque, debemos analizar la Alhambra en tres niveles fundamentales:

- **La Cosmogonía.** Los relatos de la creación, basados en el agua y la luz como principios vitales, la tierra y los cielos, dictan el programa decorativo y la disposición de los palacios.
- **La Cosmología.** La estructura física del universo se refleja en las proporciones y en las complejas bóvedas estrelladas de mocárabes.
- **La Cosmovisión.** Es la síntesis política. El sultán se legitima como el garante del equilibrio universal, vinculando la ciencia y la fe bajo su mandato.

Esta legitimidad se inscribió en los propios muros. La dinastía nazarí convirtió la astronomía en un emblema de poder, transformando sus estancias en “palacios-cielo”. La decoración de muros y fuentes de la Alhambra presenta además de otros motivos los *qasriyyāt*, textos que narran bellas descripciones de la función del espacio en que se muestran. Son doce los *qasriyyāt* en la Alhambra que contienen referencias a astros y estrellas. Son una mezcla de imaginación y documentación astronómica en forma de metáforas astrales donde el “califato” se presenta como un lugar de reposo para las constelaciones.

EL “JARDÍN FELIZ” Y LA DANZA DE LOS PLANETAS

Uno de los ejemplos más fascinantes de esta integración se encuentra en la Sala de Dos Hermanas. Allí, el poeta y visir Ibn Zamrak dejó plasmados versos que demuestran un conocimiento astronómico excelso.

En su poema, Zamrak menciona cinco “pléyades” que protegen el lugar. Astronómicamente, las Pléyades son un cúmulo en la constelación de Tauro, del cual suelen verse entre cinco y siete estrellas a simple vista. Sin embargo, la metáfora del poeta probablemente alude a los cinco hijos del sultán Muḥammad V, divinizados poéticamente como las estrellas más bellas.

Resulta sorprendente que en el verso séptimo de la poesía se introduzca a la constelación de Orión [que en el poema “saluda” a la cúpula cuando realmente lo hace a la Luna llena que comienza a salir]. La Imagen 1 muestra el cielo sobre la Alhambra el día 8 de mayo de 1377, uno de los años en los cuales se estaba construyendo el ‘Jardín Feliz’, a las 19:21:36 horas. Se ha elegido esta fecha ya que entre los meses de marzo y mayo el planeta Venus se encuentra entre Orión y Taurus y, por ende, de las Pléyades. En ese momento, el Sol va desapareciendo por el oeste y da paso a la entrada de la Luna por el este: y la Luna llena se le acerca para conversar, mientras que Venus queda “en lo alto” tal y como el décimo verso dice: *Extraño no es que a los luceros dejen en lo alto* [de la cúpula] y rebasen el límite fijado.

LA QUBBA REAL DEL PALACIO DE COMARES

Nos dice el poema de la sala:

“Es Quien ha creado siete cielos superpuestos. No ves ninguna contradicción en la creación del Compasivo. ¡Mira otra vez! ¿Adviertes alguna falla?”

La cubierta de la sala, a nivel cosmológico, más que un simple ornamento, constituye una síntesis visual y espacial del pensamiento astronómico vigente en el mundo antiguo y medieval. Si el *logos* del mundo antiguo nos llevó al modelo Ptolemaico, el *mythos*, por su parte, equiparó los 7 astros errantes con deidades que dieron nombre a los 7 días de la semana, habitando cielos superpuestos o jardines celestiales, o distintos profetas en la tradición monoteísta posterior. La octava esfera, la de las estrellas fijas, la morada del Dios Supremo o único, según el caso.

Simétricamente se añadieron 7 niveles del inframundo, y surgieron también las mitologías de viajes de enviados que cruzaban y describían los niveles tanto en la tradición sumeria, zoroastriana, judía, cristiana, hinduista o islámica posteriores. Ya sea Inana, la diosa sumeria, el enviado zoroastriano Wiraz, el profeta Muḥammad en su famoso viaje nocturno a lomos de al-Burāq, o Dante junto a su amada Beatriz, se repiten las descripciones fantásticas o temibles cuando atravesaban el inframundo.



Imagen 1. Cielo sobre la Alhambra. Día 8 de mayo de 1377, a las 19:21:36 horas, obtenida con Stellarium

DECONSTRUCCIÓN

Por Rafael Pérez Gómez y Pablo Romero Küpfer
(síntesis y redacción)

LA GEOMETRÍA OCULTA DE VENUS

Las bóvedas de la Sala de los Abencerrajes y de Dos Hermanas esconden un secreto matemático que puede estar vinculado al planeta Venus. En sus diseños geométricos destacan octógonos con estrellas de cinco puntas en sus vértices. ¿Por qué esta insistencia en los números 5 y 8?

La respuesta puede estar en el ciclo astronómico de Venus. Visto desde la Tierra, Venus tarda 8 años en regresar exactamente a la misma posición respecto a las estrellas fijas. Durante este ciclo de 8 años, Venus realiza 5 conjunciones interiores (momentos de máximo brillo y cercanía a la Tierra). Si trazamos las posiciones de estas 5 conjunciones en el cielo a lo largo de los 8 años, el planeta dibuja un pentagrama perfecto, una estrella de cinco puntas.

Así, las bóvedas nazaries podrían no ser simplemente abstracciones aleatorias. Los octógonos (8 años) y las estrellas de cinco puntas (5 conjunciones) sugieren una representación simbólica y sofisticada del ciclo de Venus, materializando el orden celestial en la yesería.



Imagen 2. Representación del ciclo de Venus en la cúpula de la Sala de Dos Hermanas

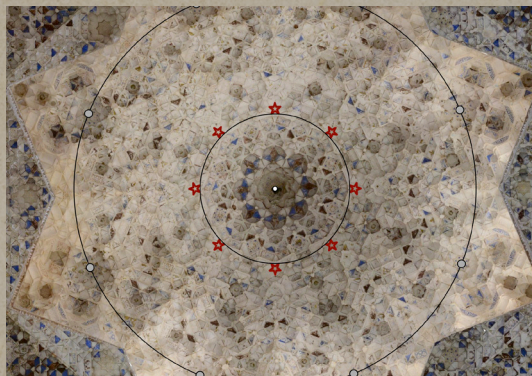


Imagen 3. Representación de astros en la cúpula de la Sala de Abencerrajes

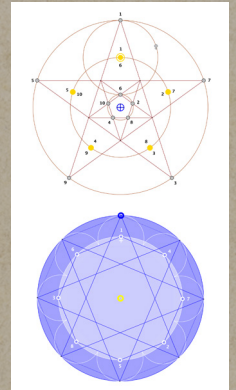


Imagen 4. Conjunciones de Venus (arriba) y su ciclo (abajo) en 8 años terrestres

ASTRONOMÍA PRÁCTICA: EL MIQAT

La astronomía en al-Andalus también tenía una vertiente práctica vital: el miqāt, o control del tiempo para fines religiosos. Orientar correctamente una mezquita hacia La Meca, es decir, determinar la Qibla, requiere resolver complejos problemas de trigonometría esférica. De forma práctica, los astrónomos andalusíes utilizaban el astrolabio, un auténtico "ordenador" analógico medieval que permitía determinar la posición de los astros en el firmamento y, por tanto, orientarse, así como determinar las horas de rezo. En la Tabla 1 se muestran las orientaciones del *mihrāb* de rezo en diferentes oratorios en la Granada nazari.

Oratorio	Siglo	Qibla histórica (°)	Qibla moderna* (°)	Desviación aprox. (°)
Aljama de Granada	XI	141° 22'	100° 32'	+41
Madraza yūsufyya	XIV	138°	100° 32'	+38
Torre de Comares (Alhambra)	XIV	101° 23'	100° 32'	+1 (aprox.)
Mexuar (Alhambra)	XIV	108° 25'	100° 32'	+8
Rawda (Alhambra)	XIV	109° 26'	100° 32'	+9
Aljama (Alhambra)	XIV	124° 27'	100° 32'	+24
Partal (Alhambra)	XIV	129° 28'	100° 32'	+29
Masjid del Sultán (Alhambra)	XIV	130° 29'	100° 32'	+30

Tabla 1. Orientación del *mihrāb*s de la Mezquita Mayor de Granada y los de la Alhambra

*La "Qibla moderna" es la calculada con coordenadas geográficas y procedimientos modernos. Fuentes: Burckhardt, T. (1992). *La civilización hispano-árabe*, Alianza Editorial, p.226 y Rius i Piniés, M. (2000). *La qibla en al-Andalus y al-Magrib al-Aqṣā*, *Anuari de Filologia (Universitat de Barcelona) XXI* (1998-99) B-3, Institut "Millás Vallicrosa" d'Història de la Ciència Arab, pp. 83-85.

En la Granada Nazari encontramos los primeros casos documentados de la profesión de *muwaqqit*, astrónomo al servicio de las grandes mezquitas, en la que tuvieron mucho prestigio Ibn Bāṣūh e Ibn al-Raqqām.

CONCLUSIÓN

El análisis arqueoastronómico nos revela que la belleza de la Alhambra es fruto del conocimiento. Es un puente entre el mundo visible y el invisible, un espacio donde la materialidad del poder nazari se funde con la espiritualidad islámica.

La presencia constante de motivos astrales —Venus, la Luna, las Pléyades— y su traducción en la compleja geometría de mosaicos y mocárabes demuestran que la arquitectura fue concebida como un espejo del universo. En la Alhambra, los poemas, las estrellas y las piedras cantan la misma melodía: una concepción unitaria del saber donde la belleza es, inseparablemente, ciencia y fe.

REFERENCIAS PRINCIPALES

Pérez Gómez, R., & Romero Küpfer, P. (pendiente de publicación). *Arquitectura del firmamento: la Alhambra a la luz de la Arqueoastronomía*. Cuadernos de la Alhambra, 2026

Versos epigráficos de Ibn Zamrak, en Puerta Vélchez, J.M. (2019). *Leer la Alhambra: guía visual del Monumento a través de sus inscripciones*. Granada: Patronato de la Alhambra y Edilux.

Clementina

Y LOS PLANETAS



INTRODUCCIÓN

La ciencia y el arte son formas diferentes de explorar el mundo

¿Por qué cada vez miramos menos las estrellas y ya no nos perdemos en su inmensidad? ¿Qué ocurriría si una niña se embarcase en una odisea en un cosmos lleno de vida? Estas son las ideas que hay detrás de “Clementina y los Planetas”, un proyecto del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y NAUTA TEATRO, con la colaboración de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT) y varios *partners* institucionales y artísticos.

El objetivo del proyecto es divulgar el conocimiento más actual sobre el universo más cercano —estrellas, planetas y cometas— jugando con las tecnologías y visibilizando misiones espaciales como *Rosetta* y *Comet Interceptor*.

Hemos elegido contar la aventura de Clementina por lugares exóticos, en la cual aprenderá sobre la gran di-

versidad del universo: planetas errantes, mundos de lava, oceánicos de roca o... de algodón de azúcar.

Se dice que la vida es un teatro en el planeta Tierra, como en otros planetas. Y eso será clave para Clementina: el teatro le permitirá conocer a los habitantes de estos mundos tan interesantes que pueblan nuestro cosmos lleno de vida.

La plasticidad del teatro de objetos, el de máscaras, títeres y marionetas nos permite crear un imaginario, una estética y unos códigos que nos ayudan a explicar conceptos astronómicos al público más pequeño, sin perder de vista a los adultos. Porque, como las historias, la ciencia también puede viajar a través de las emociones y las emociones no tienen edad.

¿QUÉ ES?

Clementina y los Planetas es un proyecto en el que la CIENCIA es protagonista y no solo un disparador científico con sus metáforas. Es una ciencia que se “personifica, interpreta y representa”.

Las actividades que componen el proyecto permiten acercarse a la astrofísica y al teatro de objetos de forma amena y rigurosa:

ESPECTÁCULO TEATRAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Este combina divulgación científica, teatro físico, música en vivo y títeres para invitar a niños/as y adultos a un viaje poético y divertido por el universo. A través de la aventura de Clementina por distintos sistemas planetarios a bordo de un cometa, la obra acerca la ciencia al público desde el arte y el humor, despertando la curiosidad por la diversidad de un cosmos lleno de vida. La propuesta es una experiencia escénica dinámica y educativa, que se completa con un coloquio final entre el público y el equipo artístico y científico.

CHARLA

Utiliza la idea del viaje como hilo conductor para explorar la ciencia y la ingeniería que estudia el universo más cercano. A través de este recorrido, el público se adentra en el estudio de los exoplanetas, descubre paisajes sorprendentes, como los de los cometas, y conoce la tec-



nología que nos ha permitido desvelarlos. Todo esto sin perder la conexión de los más pequeños, cautivados con un breve cuentacuentos.

TALLER

Convierte el espacio creativo del teatro de objetos en un universo donde los participantes construyen y manipulan títeres de planetas, cometas y otros objetos celestes, con distintos niveles de complejidad según la edad. Utilizando materiales reciclados, la actividad combina arte, ciencia y educación ambiental mientras acompaña a Clementina en su viaje por el cosmos, reflexionando sobre la contaminación y el desarrollo sostenible de los planetas, incluido el nuestro.

OTRAS MIRADAS

UN VIAJE DIFERENTE Y UN COSMOS LLENO DE VIDA

El imaginario del viaje genera una representación del mundo peculiar según el periodo histórico: exploración, huida y memoria. Pero también mudanza. Actualmente vivimos en ciudades y compartimos el mismo planeta, la Tierra. Pero un planeta no es solo un contenedor de ciudades: es salida y meta de viajes en el cosmos.

“Llegó un día en que el planeta Tierra se colmó de guerras. Se confundían las bombas con las estrellas fugaces. No se pedían deseos. No se miraba más hacia arriba. En medio de los escombros, había una niña: Clementina. Le encantaba mirar el universo, su clase favorita era astronomía y soñaba con ser astronauta.

Todos le decían que dejara de soñar, pero ella, sí, soñaba.”

La aventura de Clementina empieza el día en que el gran cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko pasa por su planeta y ella decide escaparse con él. La de Clementina es la historia de una aventura a lomos de un cometa en una diversidad de mundos inesperados: cuatro etapas para cuatro exoplanetas.

La aventura de Clementina es también la nuestra.

Llevamos el proyecto a diferentes comunidades y entornos sociodemográficos, mostrándolo en sus diferen-

tes etapas de creación.

Con Clementina hemos estado en Galicia ¡dos veces!

La primera fue participando en el Festival Galicreques, donde empezamos a crear el universo de Clementina, trabajando con el imaginario del público más joven tanto en el festival como en diferentes escuelas de Santiago de Compostela y A Coruña. Y la segunda etapa fue una muestra de las primeras escenas del espectáculo en Vímianzo. En ambos casos compartimos la ciencia y la pasión de Clementina por el universo con el público más adulto, por ejemplo, en el maravilloso escenario del planetario de A Coruña.

Estamos preparando la tercera etapa: Zaragoza. Allí nos esperan las históricas tablas del Teatro Arbolé. La última etapa será Granada, con el estreno del espectáculo en el Teatro Alhambra, acompañado de diferentes actividades.

Toda odisea tiene sus objetivos, para Clementina, en el espacio, será descubrir dónde la llevará su pasión para el universo y, para nosotros/as, en nuestro planeta, será descubrir la ciencia y la tecnología más avanzada y puntera desarrollada en el IAA-CSIC ... y dejarnos emocionar por la aventura de Clementina.

#11F 2026: LA PALABRA A LAS NIÑAS

Nos unimos a las celebraciones del #11F2026 dando voz a las niñas de ahora, las que aprenden, disfrutan y revolucionarán la ciencia: escuchémoslas, démosles espacio, caminemos junto a ellas.

En las celebraciones del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia (#11F), es frecuente escuchar la historia de mujeres científicas que cuentan sus experiencias en la ciencia. ¿Pero alguna vez nos hemos parado a pensar qué piensan las niñas que exploran la ciencia? Al escucharlas, nos tienen mucho que enseñar.

No solo nos inspiramos por imitación o por caminar a hombros de gigantes, sino también por tener una aliada con la que compartir ciencia y vocación. El #11F necesita todas las miradas, todas las voces, también las de las más jóvenes, las de las niñas. Por eso, a través del proyecto “CON VOZ DE NIÑA” impulsado por la Comisión de Igualdad, Diversidad e Inclusión del IAA-CSIC, en colaboración con NAUTA Teatro, con la colaboración de la Sociedad Española de Astronomía (SEA) y la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT), hemos escuchado y dado voz a las niñas en la ciencia con sus talentos, sueños y miedos.

A través de unos videos, que también son una serie de cápsulas de divulgación de astronomía, usamos el teatro de objetos para contar las aventuras científicas de Clementina: una referente, una cómplice tan joven como las niñas que queremos inspirar celebrando el #11F. Clementina es un espejo para las niñas y las mujeres en la ciencia.

La ciencia no empieza en un laboratorio. Empieza con una pregunta. Porque cuando una niña se ve en la ciencia, la ciencia también se transforma.

Ella es Clementina.

No colecciona muñecas ni cromos.

Clementina colecciona... preguntas.

¿Se puede bailar samba en la Luna?

¿Qué pasa si el Sol cae en un agujero negro?

¿Hay vida fuera de la Tierra?

Clementina es curiosa. Se emociona. Se equivoca.

A veces duda.

Explora el mundo que la rodea y construye cosas.

Hace preguntas incómodas.

¿Por qué hay tan pocas mujeres en los libros de ciencia?



**Por Sara Cazzoli
(IAA-CSIC)**

Las auroras

PILARES

Las auroras son espectaculares fenómenos luminosos que tienen lugar en la alta atmósfera (ionosfera), normalmente cerca de las zonas polares. En el hemisferio norte se denominan "auroras boreales" (o luces del norte) y en el hemisferio sur "auroras australes" (o luces del sur). El término "auroras polares" es quizás más adecuado, pues engloba los dos casos.

Existen ciertas creencias populares sobre las auroras, de las cuales casi todo es erróneo. Por ejemplo:

[1] Las auroras son un fenómeno dentro de la atmósfera terrestre.

[2] Ocurren sólo en invierno porque necesitan aire frío para producirse.

[3] No son visibles todos los días (ni siquiera en los días más fríos del invierno) porque deben darse simultáneamente ciertas condiciones muy especiales de temperatura y humedad.

[4] No pueden darse en latitudes bajas; por ejemplo, en la Península Arábiga, en las Islas Canarias o en Texas.

[5] Son un fenómeno típico de la Tierra, no ocurren en otros planetas.

De los puntos anteriores, sólo el primero es cierto (y con reservas). Vayamos uno por uno.

[1] Sí, las auroras tienen lugar en la atmósfera terrestre, pero no en el sentido que la mayoría de la gente piensa. Generalmente ocurren a una altura entre 80 y 640 kilómetros (la ionosfera comienza aproximadamente a 80 km de altura). Por ejemplo, la Estación Espacial Internacional se mantiene en una órbita con una altitud media de 400 kilómetros (entre 370 y 460 km); aunque sus ocupantes son considerados astronautas, estrictamente se encuentra dentro de la atmósfera terrestre.

Los otros cuatro puntos son completamente falsos.

[2] Aunque las auroras se ven, sobre todo, en los meses de invierno (o próximos al invierno), en realidad son producidas por el Sol; que ocurran no tiene nada que ver ni con las estaciones terrestres ni con condiciones específicas de la atmósfera (temperatura, presión o contenido de humedad). De hecho, a las alturas a las que ocurren, no hay vapor de agua (más del 99% del vapor de agua atmosférico se encuentra en la troposfera). El hecho de que haya mayor probabilidad de verlas cuando hace frío se debe a que en esos meses hay más horas de oscuridad. Las auroras no se pueden ver de día por la misma razón que las estrellas no se ven de día: la atmósfera terrestre dispersa la luz solar, creando un fondo azul brillante mucho más intenso que la luz de las estrellas.

[3] Se ven a veces (y a veces no) porque la actividad magnética del Sol varía con el tiempo; cerca de los máximos de actividad solar es más probable verlas.

Los puntos **[4]** y **[5]** los desarrollaremos en el resto del artículo.



Aurora en Kiviniemi (Finlandia) el día 3 de abril de 2025. Crédito: Bastian Fähnrich

El Sol emite radiación electromagnética (luz visible, pero también ondas de radio, radiación infrarroja y ultravioleta, rayos X y, ocasionalmente, rayos gamma). Aparte de radiación electromagnética, el Sol emite un flujo continuo de partículas llamado "viento solar".

La mayor parte de la luz solar nos llega de la fotosfera, que se corresponde aproximadamente con la "superficie" visible del Sol, con una temperatura efectiva de unos 5.800 K (Kelvin). Por encima de la fotosfera se encuentra la cromosfera, menos densa, donde la temperatura asciende desde los 4.000 K en su base hasta unos 20.000 K o más. La parte más externa de la atmósfera del Sol, con una densidad aún menor (de unas 10^6 partículas/cm³ o menos), se denomina corona. En la década de 1940 quedó claro que la corona solar tenía una temperatura de más de 10^6 K. Esto resultó al principio bastante extraño, pues la corona se encuentra por encima de dos capas, la fotosfera y la cromosfera, más frías que la corona.

En el año 1958 Eugene N. Parker, un joven físico solar de la Universidad de Chicago, propuso un modelo de corona solar que predecía la existencia de un flujo continuo de partículas cargadas eléctricamente procedentes de la corona, la cual no se encuentra en equilibrio hidrostático. En el año 1962 la sonda Mariner 2 verificó *in situ* la existencia del viento solar, con velocidades entre 400 y 800 km/s a la distancia de la órbita terrestre y una densidad (numérica) de 3 a 10 partículas/cm³, tal como había predicho Parker en base a argumentos teóricos. A partir de entonces Parker se convirtió en el físico solar más famoso (hasta su muerte en 2022).

El viento solar está constituido principalmente por protones, núcleos de helio (las llamadas "partículas α ") y electrones, aunque también hay trazas de iones más pesados, que son acelerados desde la corona solar hacia el medio interplanetario a altas velocidades, que –excepcionalmente– pueden llegar hasta una décima parte de la velocidad de luz (0,1 c). Al tratarse de partículas cargadas, no se mueven en línea recta,

sino que son guiadas por las líneas del campo magnético (estas son líneas imaginarias, introducidas por Faraday, que representan gráficamente la dirección, sentido e intensidad de un campo magnético). Parker demostró que, en una primera aproximación, las partículas del viento solar siguen curvas espirales, que forman la llamada "espiral de Parker" en el medio interplanetario; esta estructura domina la heliosfera.

Un resultado importante de la Física del Plasma, que necesitamos mencionar aquí, es que un gas ionizado altamente conductor de la electricidad arrastra consigo las líneas de campo magnético. Esto es precisamente lo que ocurre con el viento solar: transporta líneas de campo magnético desde la corona hacia el espacio interplanetario. Cuando estas líneas de campo magnético interactúan con el campo magnético terrestre (que es aproxi-

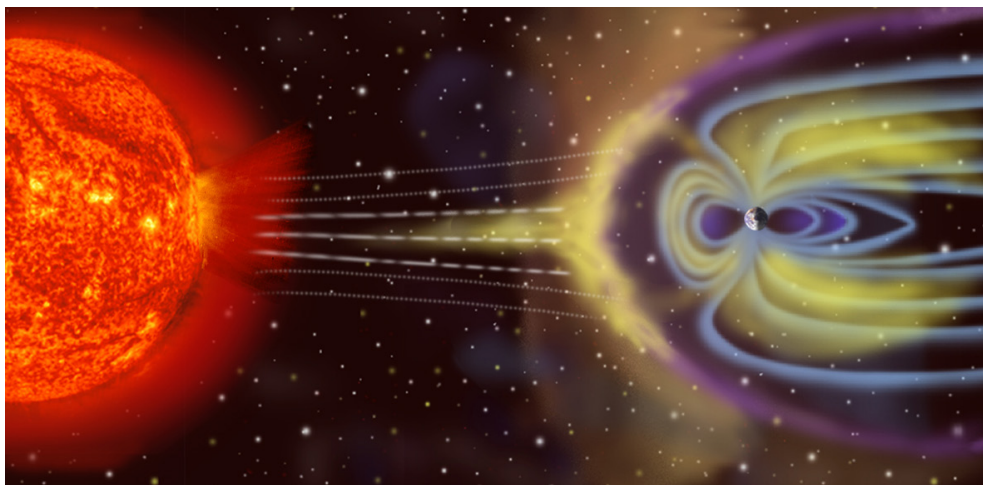


Imagen artística de la magnetosfera terrestre y su interacción con el viento solar. Crédito: NASA

madamente dipolar), se crea alrededor de la Tierra una estructura magnética llamada "magnetosfera". La magnetosfera comienza a unos 65.000 km del lado diurno del planeta y forma una especie de escudo de fuerza natural que nos protege del viento solar y también de los rayos cósmicos¹.

El campo magnético de la magnetosfera actúa como un embudo que canaliza las partículas cargadas del viento solar hacia regiones en forma de rosquilla (llamadas "óvalos aurorales") centradas alrededor de los polos geomagnéticos. Es importante resaltar que cuando hablamos de "polos" en el contexto de las auroras nos estamos refiriendo a los polos geomagnéticos (que difieren en alrededor de 10° de los polos geográficos). Esto explica por qué las auroras son visibles sobre todo en lugares como Alaska, Canadá, Escandinavia, norte de Siberia y la Antártida.

La energía de ionización es la cantidad mínima de energía necesaria para separar de un átomo o molécula el electrón más débilmente ligado (es decir, sobre el que se ejerce la menor fuerza de atracción). En el caso del nitrógeno y del oxígeno (los dos gases más abundantes de la atmósfera), esta es 14,53 eV y 13,62 eV respectivamente. Las partículas del viento solar que logran penetrar en la alta atmósfera en las regiones próximas a los polos poseen una energía cinética entre 0,5 y 10 keV (1 keV = 1000 eV), que es mucho mayor que la necesaria para ionizar los átomos y moléculas del aire mediante colisiones. Cuando los átomos y moléculas ionizados recuperan el o los electrones perdidos (proceso que se denomina "recombinación"), emiten fotones. Si la longitud de onda de estos fotones cae dentro del espectro visible, la luz emitida se percibe como una aurora. También puede haber auroras en el ultravioleta (UV), pero no son visibles a simple vista. Obviamente, las auroras sólo son visibles desde la superficie si no está nublado, y las noches frías del invierno suelen coincidir con cielos despejados.

Las auroras son, pues, la luz emitida en los procesos de recombinación que ocurren con posterioridad a los procesos de ionización producidos por el impacto de las partículas del viento solar sobre los átomos y moléculas de la atmósfera terrestre (normalmente a altitudes por encima de los 80 km).

El viento solar (la corona solar en expansión) es un flujo continuo de partículas procedentes del Sol; siempre está ahí, pero no siempre hay auroras. Las auroras ocurren sólo cuando el viento solar es suficientemente intenso (en términos de velocidad y de densidad numérica de partículas), pero esto -a su vez- viene determinado por el magnetismo solar. Es sabido que existe un ciclo de actividad magnética solar de aproximadamente 11 años. En los años próximos a los máximos, el Sol está más activo magnéticamente (como ahora mismo, marzo de 2026) y la probabilidad de ver auroras es mayor. A veces sobre el viento solar de fondo, que siempre existe, se superpone una "eyección de materia coronal" como resultado de explosiones que ocurren en la corona solar, en las cuales se liberan grandes cantidades de energía que estaba almacenada en estructuras magnéticas (como las protuberancias) y se lanza materia al espacio interplanetario a altas velocidades. En estos casos excepcionales, las regiones alrededor de los polos geomagnéticos en las cuales se producen las auroras pueden extenderse hasta latitudes muy alejadas de los polos (como en la Península Ibérica, tal como ocurrió en noviembre de 2025).

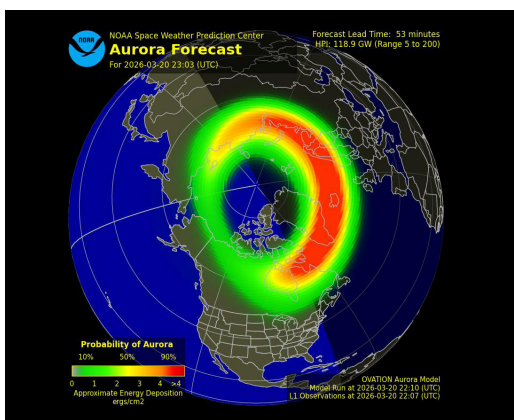


Aurora en Ivalo (Laponia, Finlandia) el día 2 de abril de 2024.
Crédito: Pablo Amilibia Munárriz

¿Qué información necesitamos para saber si se va a producir una aurora? Existen cuatro parámetros del viento solar que son determinantes. Son medidos desde el satélite DSCOVR (*Deep Space Climate Observatory*) de la NOAA, lanzado en 2015 y situado en el llamado punto de Lagrange L1, a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra en dirección al Sol.

Estos parámetros son: velocidad del viento solar (en km/s), densidad (en partículas por cm³), B_t y B_z ; conjuntamente determinan el grado en que el viento perturba el campo magnético terrestre. $B_t = \|\mathbf{B}\|$ es la intensidad (módulo) del vector campo magnético expresada en nanoteslas (nT). B_z es la componente del campo magnético \mathbf{B} según el eje z elegido (que, por sencillez de exposición, podemos suponer perpendicular al plano de la eclíptica). B_z puede ser positivo o negativo; cuanto menor sea el valor de B_z (es decir, cuanto más negativo sea), mejor para que ocurran auroras. De estos cuatro parámetros, B_z es generalmente el más importante. La potencia mínima que debe ser aportada por el viento solar a la alta atmósfera para producir auroras observables se estima en alrededor de 20 GW (gigavatios) por hemisferio.

Finalmente, las auroras no son exclusivas de la Tierra. En planetas que poseen un campo magnético propio y una atmósfera (como Júpiter y Saturno) también existen auroras, controladas igualmente por la actividad magnética del Sol.



Prognóstico a corto plazo de la ubicación e intensidad de la aurora, con una previsión de entre 30 y 90 minutos (que corresponde al tiempo que tarda el viento solar en viajar desde el punto de observación L1 hasta la Tierra). El brillo y la ubicación de la aurora se representan como un óvalo centrado aproximadamente en los polos magnéticos (de ambos hemisferios). El verde de los óvalos se vuelve de color amarillo o rojo donde se pronostica que la aurora será más intensa. Crédito: Space Weather Prediction Center de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

INCERTIDUMBRES

Para que ocurran las auroras es fundamental que el campo magnético canalice las partículas cargadas del viento solar hacia los "óvalos aurorales" centrados sobre los polos geomagnéticos. Pero la magnetosfera es una estructura dinámica, que se está remodelando continuamente en respuesta al viento solar y a la reconexión de las líneas de campo magnético solar (que llegan arrastradas por el viento solar) con las líneas de campo magnético terrestre. Esto es un proceso muy complejo cuyos detalles no se entienden aún del todo.

Tampoco se puede predecir cuándo van a ocurrir auroras (y tormentas magnéticas), pues ello depende de la actividad magnética solar, que no podemos predecir con detalle. Sabemos que la probabilidad de que ocurran auroras varía con un ciclo de 11 años asociado

al Sol. Con la información proporcionada por el satélite DSCOVR se pueden dar alertas tempranas de auroras con 30 a 90 minutos de antelación. De las observaciones solares podemos saber si hay una alta probabilidad de que haya una tormenta geomagnética (con las consiguientes auroras) aproximadamente entre 1 y 2 días antes de que vayan a ocurrir, pero no más.

Necesitamos conocer mejor la dinámica interna del interior solar (convección, rotación diferencial y circulación meridional) para poder entender a fondo el magnetismo solar y los fenómenos asociados a él, tales como la aparición de las manchas, la ocurrencia de llamaradas solares y las eyecciones de materia coronal -que son, en última instancia, las responsables de que haya auroras.

¹ "Los rayos cósmicos: Una nueva ventana al universo", A. Ferriz Mas y J.A. Garzón Heydt, IAA: Información y Actualidad Astronómica, No. 54, 2018

Carole Jordan, primera catedrática de Astrofísica del Reino Unido



Cuando en 1983, yo aterricé en la astronomía en la Universidad de Sussex (Reino Unido) y constaté la inexistencia de mujeres en esta área, tanto en el Departamento de Astronomía de la universidad como en el *Royal Greenwich Observatory*, al que estaba asociado, todo el mundo me decía “no es así en general en el Reino Unido, en Oxford está Carole Jordan”.

En febrero de 2026 recibimos con profunda tristeza la noticia de su fallecimiento, y sentí que debía dedicarle unas líneas en esta revista para que otras generaciones supieran de la existencia de esta mujer poderosa que tuvo su lugar en la astronomía británica cuando la presencia de mujeres era un hecho raro. Ella fue la primera mujer presidenta de la *Royal Astronomical Society*, entre 1994 y 1996, y la tercera galardonada con la medalla de oro de la *Royal Astronomical Society* en 2005, subiéndose al podio de las previamente galardonadas: Caroline Herschel en 1826 y Vera Rubin en 1996. En 2006 fue tan alto su prestigio que la Reina de Inglaterra la nombró Dama Comandante de la Orden del Impero Británico por su servicio a la física y la astronomía.

Una vez situada en la elitista sociedad británica, voy a intentar dar unas pinceladas de quién era ella como mujer y científica. Nació el 19 de julio de 1941, hija de Reginald Jordan y Ethel. Tras cursar sus estudios en el *Harrow County Grammar School for Girls*, estudió Física en

el *University College* de Londres (UCL), donde, siendo estudiante universitaria, escribió un trabajo sobre cómo podrían deformarse los cráteres de la Luna. Tras graduarse en 1962, comenzó un doctorado en astrofísica bajo la dirección del astrónomo australiano C. W. Allen, que completó, tras pasar una temporada en la *University of Colorado Boulder*, mientras trabajaba en la división de espectroscopia de la Autoridad de Energía Atómica del Reino Unido en *Culham*. Su tesis, titulada «La abundancia relativa de silicio, hierro y níquel en la corona solar», se publicó en 1965.

Carole Jordan comenzó su carrera académica como profesora adjunta de astronomía en la UCL (1966-1969). De 1969 a 1971 fue asistente de investigación en la Unidad de Investigación de Astrofísica de *Culham*, donde permaneció hasta 1976, ocupando el cargo de directora científica a partir de 1973. En 1976 se trasladó a la Universidad de Oxford como profesora de Física y se incorporó al *Somerville College* como tutora de Física y becaria tutorial Wolfson en Ciencias Naturales, cargos que ocupó hasta su jubilación en 2008. En 1996 se convirtió en una de las primeras mujeres catedráticas de Astronomía, y fue directora del *Rudolf Peierls Center for Theoretical Physics* de Oxford entre 2003 y 2008.

Tanto con su propio ejemplo como desde los puestos de liderazgo que ocupó, Carole Jordan contribuyó en gran medida a animar a las chicas a estudiar materias técnicas, aunque, en una entrevista concedida en 1987, reconoció la presión del grupo de iguales en contra de ello, afirmando que «las chicas no quieren sentirse diferentes a los 13 o 14 años». Sus estudiantes sabían que, aunque su enfoque de la materia cursada era intelectualmente exigente, era una mujer amable, paciente y comprensiva con quienes tenían dificultades para estar a la altura de sus altos estándares. Siempre estuvo preocupada por la falta de oportunidades para que las mejores alumnas continuaran en la vida académica. Un compañero tutor de Física en *Somerville*, Roman Walczak, recordaba que, tras jubilarse, ella siempre le hacía la misma pregunta: «¿Cuántas de nues-

tras alumnas continúan con el doctorado?». Y, ante su respuesta, ella siempre le decía lo mismo: «Esfuérzate más».

Su trayectoria científica estuvo centrada en el uso de espectros de rayos X y UV como diagnósticos del plasma. Fue pionera en el cálculo de las densidades relativas de elementos químicos en diferentes estados de ionización. Sus observaciones del espectro UV con *SkyLab* ayudaron a entender los iones como el helio, conocidos como átomos de dos electrones.

Como resultado de estas primeras investigaciones, jugó un importante papel en el desarrollo de observaciones de espectros estelares con satélites como el *International Ultraviolet Explorer* (IUE) y el *Hubble Space Telescope* (HST). Ella fue la primera en identificar los orígenes atómicos y moleculares de una gran variedad de líneas de emisión, entre las que se incluyen las líneas moleculares por fluorescencia observadas en estrellas frías, lo que revelaba la estructura homogénea de la cromosfera. Su reputación internacional como una autoridad en el estudio de la corona solar y de estrellas frías no tiene discusión alguna.

Durante su brillante carrera investigadora ocupó diferentes cargos al servicio de la comunidad: editora de *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *Solar Physics*, y *The Observatory*, académica de la *Royal Society* desde 1990 y miembro de sus Consejos Científicos de Ingeniería, Física de Partículas y Astronomía. En el *Scientific and Engineering Research Council* (SSRC), la agencia estatal de investigación en UK, fue presidenta del comité de Física Solar.

En su obituario de la *Royal Astronomical Society* se destaca que su compañero, Walczak, considera que la prioridad de Jordan en ciencia siempre había sido la “promoción de las mujeres”.

Acabará con mi más sincera gratitud a Carole Jordan por su preocupación y consejos a todas las instituciones de las que formó parte de que la ciencia, sin mujeres, no es posible.

POR JOSEFA MASEGOSA GALLEGO (IAA-CSIC)

ISABEL MÁRQUEZ, NUEVA PRESIDENTA DE LA ALIANZA SOMMA



El 27 de febrero de 2026, en Asamblea General extraordinaria, se hizo efectivo el relevo en la presidencia de SOMMA.

Isabel Márquez, directora científica del proyecto Severo Ochoa de nuestro centro, asumió el liderazgo de la Alianza, que reúne a los centros y unidades acreditados con los programas de excelencia Severo Ochoa y María de Maeztu, sustituyendo a Antonio Molina (CBGP/UPM/INIA-CSIC).

Con este relevo se renuevan también las vicepresidencias de la Alianza. Javier Aramayona, director del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT, CSIC-UAM-UC3M-UCM), pasa a ser vicepresidente primero, y se incorpora como vicepresidenta segunda Amparo López, directora del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC).

RECOMENDADOS

11F: ¿ESA PREGUNTA ES PARA MÍ?



Otro año, más preguntas, esta vez del alumnado del CEIP Alcazaba. Y cuatro valerosas investigadoras que las respondieron.

En esta ocasión, contamos con la inestimable ayuda de Mabel Ruiz, Ana Conrado, María Álvarez y Mirjana Pović.

¿Habrán superado el reto? ¡Mira y el vídeo y juzga tú!



Enlace al vídeo
de YouTube en este QR

'EN BUSCA DE NUEVAS TIERRAS', UNA EXPOSICIÓN DEL IAA-CSIC SOBRE LA MISIÓN PLATO (ESA)

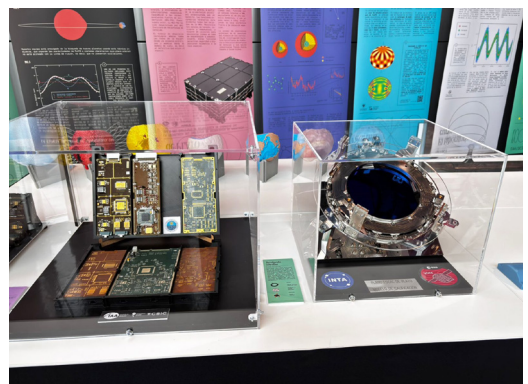
La exposición temporal 'En busca de nuevas Tierras', dedicada a la misión espacial PLATO de la Agencia Espacial Europea (ESA), acerca al público uno de los grandes retos actuales de la astrofísica y la exploración espacial: la búsqueda y caracterización de exoplanetas similares a la Tierra. A través de paneles divulgativos, maquetas, modelos tridimensionales y piezas reales de ingeniería, la exposición presenta los objetivos científicos de la misión PLATO y el complejo desarrollo tecnológico que la hace posible, poniendo en valor la contribución española a esta misión europea.

La exposición se organiza en 15 paneles: ocho de ellos conforman la parte general de la muestra, dedicada a contextualizar la ciencia exoplanetaria, los objetivos científicos de la misión y los métodos empleados para la detección de exoplanetas, e incluyen códigos QR que permiten acceder a audio-descripciones y a una plataforma web con contenidos ampliados. El resto de los paneles están dedicados a la contribución científica y tecnológica de los distintos grupos que integran el consorcio PLATO España.

La propuesta se completa con una maqueta a escala de la nave espacial PLATO cedida por la ESA y con vitrinas que albergan componentes tecnológicos desarrollados en centros españoles implicados en la misión. Entre ellos se incluyen modelos de la Main Electronic Unit (MEU), desarrollada en el IAA-CSIC, con algunas tarjetas electrónicas originales en distintas fases de desarrollo—incluida la fuente de alimentación diseñada en el IAC—y la Focal Plane Unit (FPU), desarrollada en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Estos elementos permiten mostrar al público el trabajo de ingeniería que sustenta la obtención y el procesamiento de los datos científicos del satélite.

La muestra ha sido desarrollada por el IAA-CSIC, con la colaboración del resto de centros que integran el consorcio PLATO España: la Universidad de Granada (UGR) y la Universitat de Valencia (UV), el Centro de Astrobiología (CAB), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC); y el apoyo de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Ha podido visitarse en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) y está disponible para todo el país, bajo solicitud.

El IAA-CSIC juega un papel destacado en los ámbitos científico y tecnológico, tanto en este proyecto expositivo como en la misión PLATO en su conjunto. Su participación incluye el desarrollo de elementos clave de la electrónica de a bordo del satélite, así como una contribución relevante a la explotación científica de los datos que la misión obtendrá tras su lanzamiento, previsto para enero de 2027.



Visita la web de la exposición
platonuevastiemras.iaa.es



MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



INSTITUTO DE
ASTROFÍSICA DE
ANDALUCÍA



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA



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



@iaa_csic



@iaa.comunicación



@iaacsic.bsky.social



@iaaudc