

IAA

65

OCTUBRE DE 2021
revista.iaa.es

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

El Sol en el IAA: investigación integral de nuestra estrella



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

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

La página web de esta revista ha sido financiada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA).

Copyright: © 2018 CSIC. Esta es una revista de acceso abierto distribuida bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

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

SUMARIO

La física solar en el IAA: investigación integral de nuestra estrella ...	3
El imaginario del planeta rojo a través del arte ...	8
Deconstrucción. La covid-19 y los rayos de tormenta ...	12
El Moby Dick de ... David Martínez-Delgado (IAA-CSIC) ...	14
Historias ... Accidente en Marte ...	16
Actualidad ...	17
Pilares e incertidumbres ...	23

DESPEDIDA

José María Jerónimo, Chema en el IAA y Pepe para su familia, ha sido y es parte inseparable del IAA desde su incorporación en 1981. Su saber en electrónica y sus buenas maneras de trabajar se han recogido en sucesivos proyectos de exploración espacial entre los que cabe destacar desde el desarrollo de las cargas útiles de los

cohetes para el estudio de la alta atmósfera hasta su participación en *NOMAD-Exomars*, pasando por HASI en *Huygens* y en GIADA, a bordo de *Rosetta*.

Los resultados de su trabajo están físicamente presentes en la Tierra, en Titán, en la superficie del cometa Churyumov-Gerasimenko y en dos naves orbitando Marte,

pero sobre todo están y seguirán estando entre quienes hemos tenido la suerte de haberlo conocido y compartido multitud de vivencias a lo largo de estos casi 40 años.

¿Quién puede ofrecer tanto?

José Juan López Moreno (IAA)



La física solar en el IAA: investigación integral de nuestra estrella

EL GRUPO DE FÍSICA SOLAR DEL IAA ESTUDIA EL SOL DESDE EL TRIPLE PUNTO DE VISTA DE LA TEORÍA, LA OBSERVACIÓN Y LA INSTRUMENTACIÓN

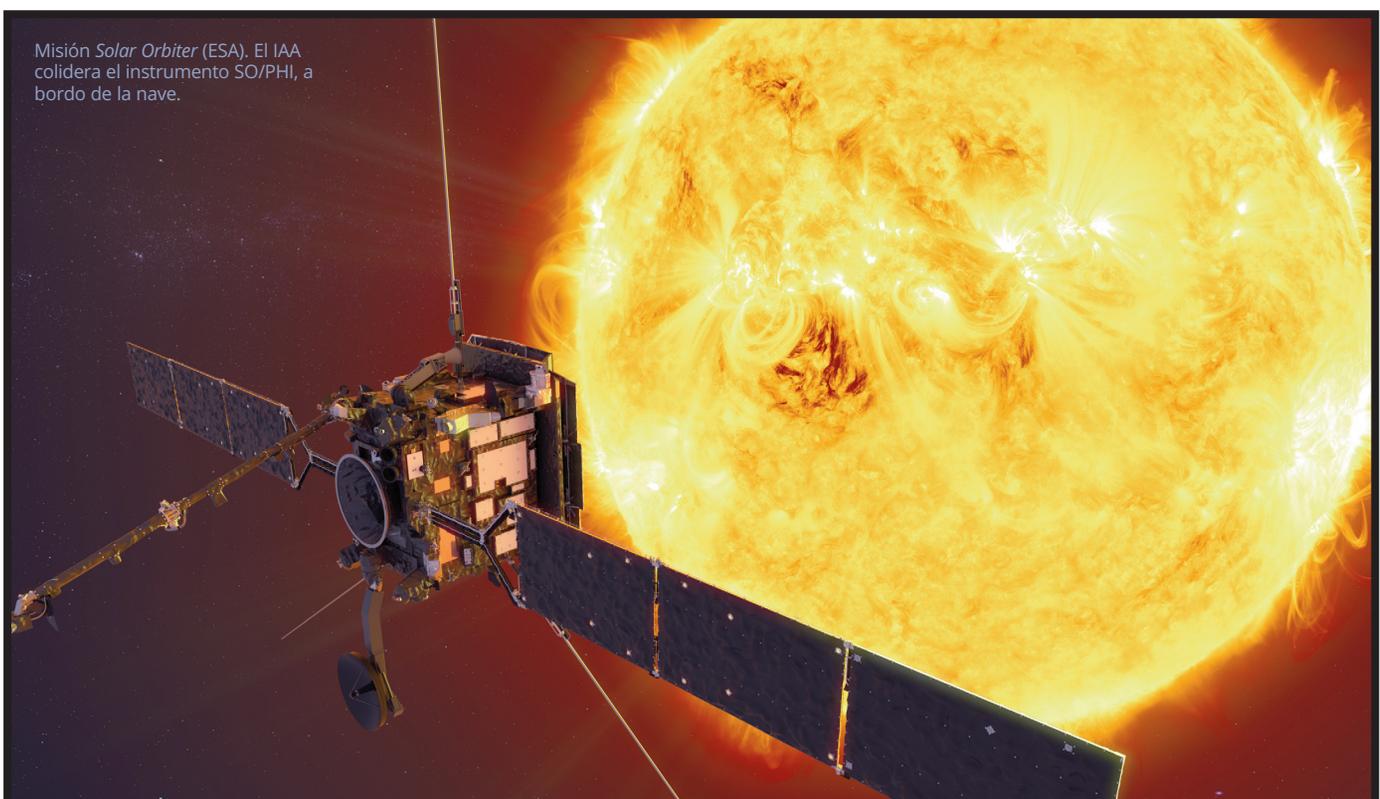
Jose Carlos del Toro Iniesta
(IAA-CSIC)

Como seres humanos y habitantes del planeta Tierra, nuestra relación con el Sol no puede calificarse sino de especial. Nuestra propia existencia depende

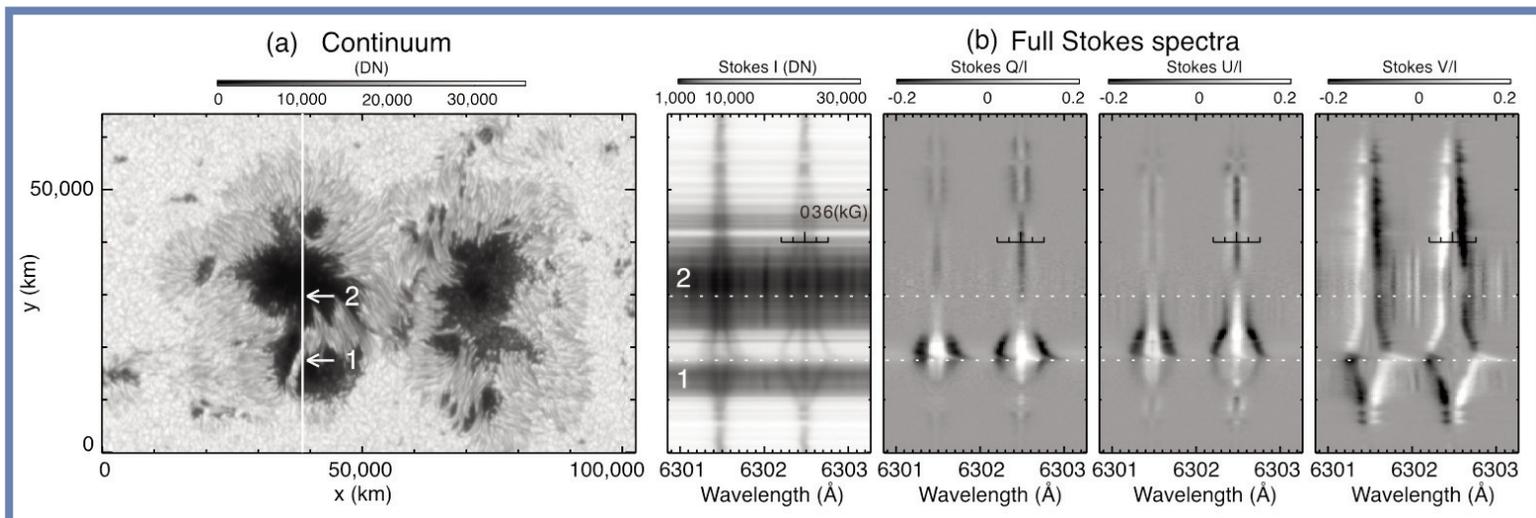
de la situación de nuestro hábitat con respecto a la estrella central del Sistema Solar y la energía que consumimos tiene su origen último en el interior de esa estrella —en cualquier otro aspecto vulgar— que ilumina nuestros días periódicamente. La mirada al cielo que cualquier astrónomo realiza no puede abstraerse de la contemplación de la única estrella que resulta observable con detalle y de la que, por tanto, podemos extraer no pocos aprendizajes para comprender el funcionamiento de otras estrellas. Pero es que, además, nuestra estrella es el único objeto en el que se pueden cotejar con el mínimo detenimiento muchos otros fenómenos físicos que ocurren en el universo. El Sol resulta así crucial para desentrañar la física que tiene lugar en otros cuer-

pos celestes. Nuestra estrella es un formidable laboratorio de física atómica, de magnetohidrodinámica, de convección y de física del plasma. Además, la atmósfera extendida de nuestra estrella, la heliosfera, abarca nuestro propio planeta en su conjunto: vivimos en el Sol. Lo que ocurre en él tiene relevancia directa sobre nuestra propia vida y actividades en la Tierra.

Un instituto como el IAA-CSIC, que abarca prácticamente toda la astrofísica e, incluso, la propia atmósfera de la Tierra, no podía quedar huérfano de un Grupo de Física Solar (SPG por sus siglas en inglés) que se dedique al estudio de nuestra estrella. Obviamente, el abanico de fenómenos y estructuras que el Sol ofrece al investigador excede con mucho las capacidades de un grupo



Misión Solar Orbiter (ESA). El IAA colidera el instrumento SO/PHI, a bordo de la nave.



finito de personas que, aun siendo grande, unas veinticinco, no puede aspirar a abarcarlos todos. Nos tenemos que dedicar a un puñado de temas suficientemente corto pero suficientemente rico como para realizar una andadura fructífera. Lo que sí caracteriza dicha andadura es el hecho de que la investigación la llevamos a cabo desde el triple punto de vista de la teoría, la observación y la instrumentación. El SPG tiene a gala ser un grupo de investigación integral en el que se conjugan armónicamente esos tres pilares de la astrofísica moderna.

EL CAMPO MAGNÉTICO SOLAR Y LA ESPECTROPOLARIMETRÍA

Si pedimos a cualquier físico solar que destaque la importancia de un solo parámetro físico que refleje el estado de nuestra estrella, con mucha probabilidad, contestará que el campo magnético. Este no solo sirve de vínculo de acoplamiento de las distintas capas de la atmósfera de nuestra estrella y de “canal” por el que el transporte de energía en ellas no es exclusivamente radiativo, sino que en él se encuentra el origen de la mayoría de efectos observables de nuestra estrella. Incluso de la inmensa mayoría de aquellos que tienen un final con influencia en la Tierra, los fenómenos que constituyen lo que se ha dado en llamar “el tiempo espacial”. Así pues, estudiar el campo magnético solar es, en gran medida, ocuparse de una magnitud física fundamental de nuestra estrella y a ello dedicamos la mayoría de nuestros esfuerzos en el seno del SPG.

Comprender el origen de todas las estructuras magnéticas que, a muy

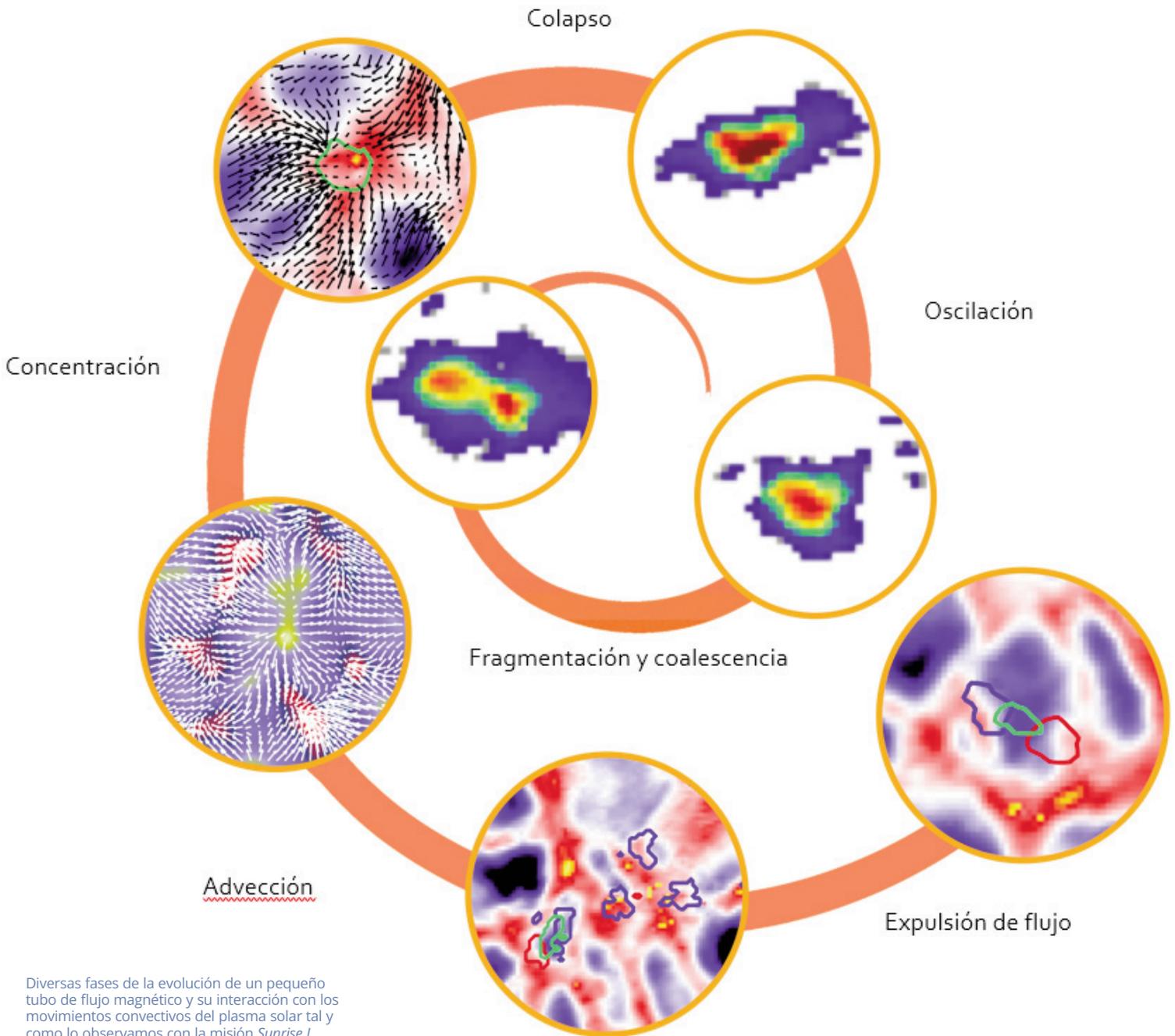
Imagen de un grupo de manchas solares en el continuo cercano a las líneas de Fe I a 630 nm observado con el satélite Hinode (panel (a)). En los paneles (b) se muestra el espectro de dichas líneas en los cuatro parámetros de Stokes de la luz que pasa por la rendija blanca del panel (a). En el eje Y tenemos la dirección espacial solar a lo largo de la rendija y en el eje X, la longitud de onda. Como se puede observar, a la altura de la granulación circundante, las líneas son únicas y no polarizadas (no aparecen en el espectro de Q/I, U/I y V/I) mientras que, en el interior de la mancha, las líneas se desdoblán y muestran una clara polarización. Imagen tomada de Okamoto y Sakurai (2018, ApJ 852, L16). Cortesía de *The Astrophysical Journal*.

diversas escalas, se distinguen en la atmósfera solar no es sencillo y aún poseemos solo conocimientos básicos sin llegar a alcanzar un modelo completo. La variación periódica (11 años) en el número de manchas solares que aparecen en la superficie se explica grosso modo con un modelo teórico de efecto dinamo: la combinación de rotación diferencial del plasma solar con la convección genera en la base donde tiene lugar esta última, a un 30 % de la profundidad o a un 70 % del radio solar, unos tubos de flujo magnético que, por flotación, emergen a la superficie. La posterior reestructuración de dichos tubos elimina de la misma tanto las estructuras magnéticas como parte del material que las alberga. Precisamente, el estudio magnetohidrodinámico teórico de este efecto dinamo es la ocupación de uno de nuestros miembros y, más en concreto, la investigación de alteraciones episódicas que, con distintos periodos, hemos sido capaces de observar en este llamado ciclo de actividad solar. Recientemente¹, por ejemplo, hemos encontrado indicios de un posible origen en fenómenos de resonancia estocástica en las fuerzas de marea de los grandes planetas de la aparición de grandes mínimos de actividad solar que, con cierta periodicidad, tienen lugar. El más conocido de ellos es el mínimo de

Maunder, entre 1645 y 1715, en el que las manchas casi desaparecieron por completo y que coincide con un periodo conocido como “pequeña edad de hielo” en la Tierra, unos años de excepcionales fríos en los que, por ejemplo, se sabe que el Támesis se congeló.

Para poder medir y comprender estos campos magnéticos necesitamos recurrir a la espectropolarimetría, la medida del estado de polarización del espectro de la radiación electromagnética. Si bien estamos familiarizados con el espectro, o la composición en distintos colores o longitudes de onda de la luz, la polarización es una característica tan común e importante, aunque menos familiar: tiene que ver, por así decirlo, con la orientación del plano de vibración del campo eléctrico que asociamos a dicha luz. La razón de su importancia reside en que distintos mecanismos físicos como el efecto Zeeman, el Hanle, o la dispersión de luz, dejan en el espectro su huella polarizada, esto es, un estado de polarización bien definido. Así pues, medir la polarización del espectro nos permite comprender “el mensaje” que el campo magnético deja impreso en la luz solar (véase la imagen superior).

Comprender ese mensaje significa entender cómo se genera la luz en la atmósfera de nuestra estrella y cómo se propaga a su través, es decir, entender el transporte



Diversas fases de la evolución de un pequeño tubo de flujo magnético y su interacción con los movimientos convectivos del plasma solar tal y como lo observamos con la misión *Sunrise I*. Debajo, el telescopio solar *Sunrise* antes del despegue.

de luz polarizada en presencia de campos magnéticos. Ahí es donde el SPG emplea la mayoría de sus esfuerzos, puesto que presta mucha dedicación al análisis teórico del transporte radiativo y la interpretación de las observaciones del mismo (inversión de la ecuación de transporte radiativo²), al estudio observacional de todo tipo de estructuras magnéticas como las manchas³ y otras de la más pequeña escala que aparecen en el Sol en calma⁴ o en capas cromosféricas⁵, y al desarrollo instrumental (véase más abajo). Pero, además, también realizamos estudios teóricos enfocados al desarrollo instrumental en espectropolarimetría⁶. El estudio del transporte radiativo de luz polarizada en presencia de campos



magnéticos es apasionante. Actualmente contamos con una ecuación que describe el fenómeno de forma satisfactoria: dado un modelo de atmósfera solar, somos capaces de reproducir el espectro

polarizado emergente. Sin embargo, el problema de índole práctica, aquel en el que implicamos la interpretación de las observaciones, es más complejo porque “conocemos la solución de la ecuación, pero no los coeficientes de la misma”; es decir, conocemos el espectro polarizado porque lo medimos, pero a nosotros nos interesa saber cuáles son los parámetros físicos de una determinada zona del Sol. Así pues, no nos basta con la ecuación, sino que tenemos que “invertirla” (cambiar parámetros conocidos por desconocidos) y ese es un problema en sí mismo. Pero, además, resulta que la ecuación de transporte radiativo tan solo es válida per se en determinadas circunstancias.

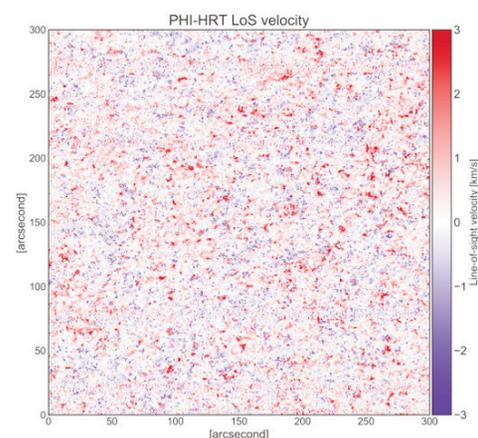
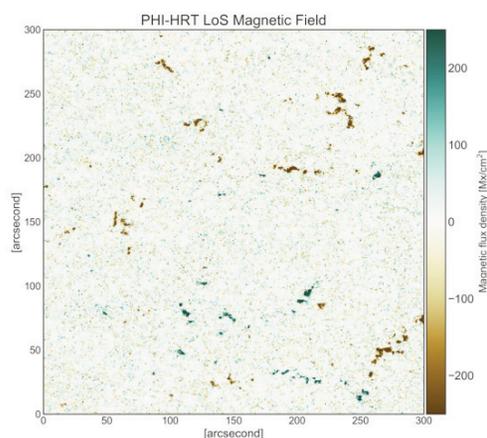
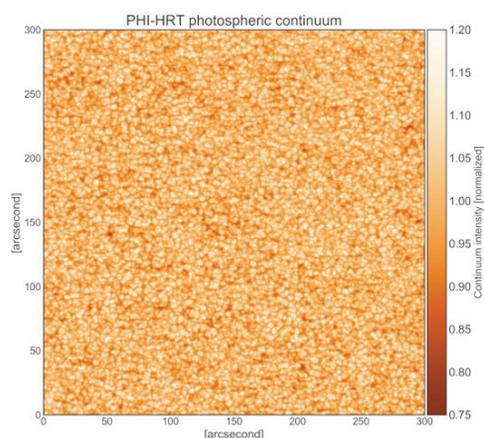


Imagen de una zona del Sol en luz del continuo (panel izquierdo), mapa de la componente longitudinal del campo magnético (panel central) y mapa de las velocidades a lo largo de la línea de visión (panel derecho) de la misma zona. Los mapas central y derecho son los primeros obtenidos por la humanidad de forma autónoma y a bordo de una nave espacial. *Solar Orbiter* se encontraba a 0,5 unidades astronómicas del Sol, es decir, a la mitad de distancia entre la Tierra y nuestra estrella.

En otras precisamos resolver de forma casi simultánea las conocidas como ecuaciones del equilibrio estadístico y el problema se vuelve formidable. Buena parte de nuestros esfuerzos se centra en desarrollar técnicas que cumplan con ese cometido de “correa de transmisión” entre las observaciones y la física de las múltiples estructuras solares.

En cuanto a la observación, empleamos tanto telescopios e instrumentos terrenos como espaciales. Sería prolijo contar los muchos problemas científicos específicos, pero baste mencionar aquí dos que tienen que ver con la evolución de las estructuras magnéticas y, por tanto, con observaciones continuadas en el tiempo. El primero es la contribución a la red fotosférica de los campos de su interior y las consecuencias en las capas cromosféricas de las interacciones entre red e interior⁷. El segundo es la fuerte dependencia que tiene la evolución de los

tubos de flujo magnético a la más pequeña escala de los movimientos convectivos circundantes⁸ (véase imagen superior).

DESARROLLO INSTRUMENTAL

Aunque lo destaquemos en un apartado especial, nuestra tarea instrumental se encuentra igualmente orientada al estudio de los campos magnéticos con técnicas espectropolarimétricas. Desde 2002, año en que empezamos nuestra andadura tecnológica con el desarrollo del magnetógrafo IMAx (*Imaging Magnetograph eXperiment*) hasta la actualidad, el esfuerzo y, por qué no decirlo, el éxito, han sido continuados. Todos nuestros trabajos se han desarrollado en el seno de lo que hemos dado en llamar la Red Española de Física Solar Espacial (S³PC, de las singlas inglesas *Spanish Space Solar Physics Consortium*), equipo cuyo liderazgo ostentamos desde

2013 y que incluye al Instituto de Técnica Aeroespacial, el Instituto de Microgravedad Ignacio da Riva de la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad de Valencia y el Instituto de Astrofísica de Canarias.

ImaX⁹ voló dos veces (2009 y 2013) en las misiones *Sunrise I* y *II*, colaboraciones entre la agencia espacial alemana DLR, la sociedad Max Planck, la NASA y el Programa Nacional de Espacio español. Se trata del primer magnetógrafo solar desarrollado fuera de Estados Unidos y del primer instrumento aeroespacial íntegramente concebido, diseñado, fabricado y operado por instituciones españolas. El éxito de las tecnologías propuestas en el desarrollo de este instrumento motivó a la ESA a aprobar el desarrollo del magnetógrafo y tacógrafo SO/PHI (*Polarimetric and Helioseismic Imager for Solar Orbiter*) como uno de los instrumentos de sondeo remoto a bordo de la misión *Solar Orbiter*, lanzada en febrero de 2020 y que, tras más de un año y medio de navegación, estrenará su primera órbita científica a partir de



Foto de parte del Grupo de Física Solar del IAA.

noviembre de 2021. SO/PHI está coliderado por el Max-Planck-Institut für Sonnensystemphysik (MPS; Gotinga, Alemania) y el SPG@IAA-CSIC. De entre sus novedosas tecnologías, cabe destacar el desarrollo en el seno de nuestro grupo del inversor electrónico de la ecuación de transporte radiativo, dispositivo único en el mundo y que, por primera vez, realiza a bordo de la nave y de forma autónoma la inversión de la ecuación de transporte, cerrando así la triple vertiente teórica, observacional e instrumental que constituye nuestra visión como grupo. El inversor lleva a cabo en quince minutos a bordo de la nave un análisis que, en otros instrumentos semejantes como HMI, a bordo de la misión *Solar Dynamics Observatory* de la NASA, ocupa a cincuenta ordenadores trabajando en paralelo durante una hora en Tierra. Sin este avance tecnológico —un chip especialmente diseñado por nosotros— no podríamos enviar a la Tierra toda la información recabada por el instrumento, dada la lejanía de la nave a nuestro planeta y su especial órbita que la sitúa, a veces, al otro lado del Sol con lo que las comunicaciones se hacen literalmente imposibles. La imagen superior muestra un ejemplo de los resultados de este inversor electrónico en su panel central y en el derecho en los que, respectivamente, contemplamos los primeros mapas del campo magnético longitudinal y de velocidad a lo largo de la línea de visión de una zona solar obtenidos automáticamente a bordo de una nave espacial y a 0,5 unidades astronómicas de distancia al Sol.

Actualmente, nuestro grupo lidera el desarrollo y construcción de TuMag (*Tunable Magnetograph*) y colidera — junto a nuestros colegas del *National Solar Observatory of Japan*— el desarrollo y construcción de SCIP (*Sunrise Chromospheric Infrared Polarimeter*). Ambos instrumentos volarán en la tercera edición de la misión estratosférica *Sunrise* en 2022. TuMag es de nuevo íntegramente español y lo desarrollamos junto a nuestros compañeros del S³PC. Es el primer magnetógrafo solar sintonizable que vuela en una plataforma aeroespacial (en nuestro caso un globo estratosférico). Además de su capacidad de sintonizar la línea espectral de estudio, y de embarcar elementos de calibración a bordo por primera vez en un instrumento semejante, las tecnologías básicas de TuMag son las mismas que las de IMAx como espectropolarímetro imaginador: retardadores ópticos de cristal líquido para el análisis de polarización y un etalón sólido Fabry-Pérot de Li NbO₃ para el análisis espectral. SCIP, a diferencia de TuMag, realiza el análisis polarimétrico con una lámina retardadora rotante y el análisis espectral con un espectrógrafo convencional de rendija. Así mismo, hemos comenzado junto a nuestros colegas alemanes del MPS el desarrollo de PMI (*Photospheric Magnetic field Imager*) para la misión LAGRANGE de la ESA. El magnetógrafo y tacógrafo PMI es una evolución, simplificada en algunos aspectos y más completa en otros, de SO/PHI. La misión LAGRANGE es, a su vez, la primera misión espacial europea dedicada al estudio del tiempo espacial.

Como tal representa un reto en sí misma y ahí nos encontramos los miembros del SPG junto a nuestros compañeros del S³PC en la vanguardia del desarrollo de uno de los instrumentos cruciales para la misión.

El éxito de nuestros desarrollos aeroespaciales ha motivado el interés de nuestros colegas que desarrollan grandes telescopios para Tierra, que nos han invitado a participar en los dos desarrollos más importantes de la física solar terrena mundial: el telescopio americano *Daniel K. Inouye Solar Telescope* (DKIST; operaciones a partir de 2022) y el Telescopio Solar Europeo (EST; primera luz en 2027). Para el primero desarrollamos InFact (*Inversion Factory*), una evolución mucho más potente de nuestro inversor electrónico de la ecuación de transporte radiativo y para el segundo lideramos el consorcio europeo (España, Italia, Alemania y Suecia) que desarrolla los espectropolarímetros imaginadores sintonizables que trabajarán en EST a distintos rangos de longitud de onda. Nuestras ambiciones no terminan aquí. Tenemos algún que otro proyecto en fases incipientes de los que esperamos informaros en este foro si tenemos la oportunidad de hacerlos fraguar. Como siempre en investigación, lo mejor es lo que está por venir. Eso esperamos de forma continua en el Grupo de Física Solar del Instituto de Astrofísica de Andalucía.

REFERENCIAS

1. Albert et al. 2021, ApJ 916, L9.
2. Del Toro Iniesta y Ruiz Cobo 2016, LRSP 13, 4.
3. Esteban Pozuelo et al. 2016, ApJ 832, 170.
4. Bellot Rubio y Orozco Suárez, LRSP 16, 1.
5. Orozco Suárez et al. 2015, ApJ 803, L18.
6. Bailén et al. 2019, ApJS 241, 9; 2019, ApJS 242, 21; 2020, ApJS 246, 17; 2021, ApJS 254, 18.
7. Gošić et al. 2014, ApJ 797, 49; 2015, ApJ 820, 35; 2018, ApJ 857, 48.
8. Requerey et al. 2014, ApJ 789, 6; 2017, ApJS 229, 14; 2017, ApJS 229, 15.
9. Martínez Pillet, Del Toro Iniesta et al. 2011, Sol. Phys. 268, 57.

El imaginario del planeta rojo a través del arte

Por Sofía López Martín // @sofialomart

“MARTE MANTUVO UN DOMINIO INQUEBRANTABLE EN LA IMAGINACIÓN HUMANA DURANTE MILES DE AÑOS. MIENTRAS LOS ANTIGUOS ASTRÓNOMOS OBSERVABAN CÓMO LAS ESTRELLAS SE EXTENDÍAN MAJESTUOSAMENTE EN LA OSCURA BÓVEDA CELESTE, CENTRARON SU ATENCIÓN EN UN EXTRAÑO OBJETO ROJIZO QUE NO SEGUÍA LAS LEYES DE LOS CIELOS.

CASI TODAS LAS ESTRELLAS PARECÍAN MOVERSE A LO LARGO DEL MISMO ARCO, PERO MARTE ERA UNA DE LAS POCAS ESTRELLAS QUE NO SEGUÍAN LA TRAYECTORIA ADECUADA. LOS GRIEGOS LLAMABAN A ESTOS OBJETOS PLANĒTĒS, QUE SIGNIFICA ERRANTES”.

Las palabras del escritor Paul Raeburn nos hacen ver que la relevancia de Marte en la historia es innegable, y tanto el simbolismo que encierra –su nombre, Marte, por el dios romano de la Guerra– como su color brindan al planeta de un magnetismo que atrapa a todos los curiosos.

Ya desde la antigüedad era evidente que la órbita de ese pequeño punto pálido rojo no era como los demás errantes.

Habría que esperar a las observaciones de los astrónomos del siglo XVII para comenzar a perfilar y definir la superficie de este planeta. Con figuras como las del célebre Giovanni Schiaparelli fuimos conscientes de una serie de manchas que se extendían por todo el planeta, como si se tratase de canales.

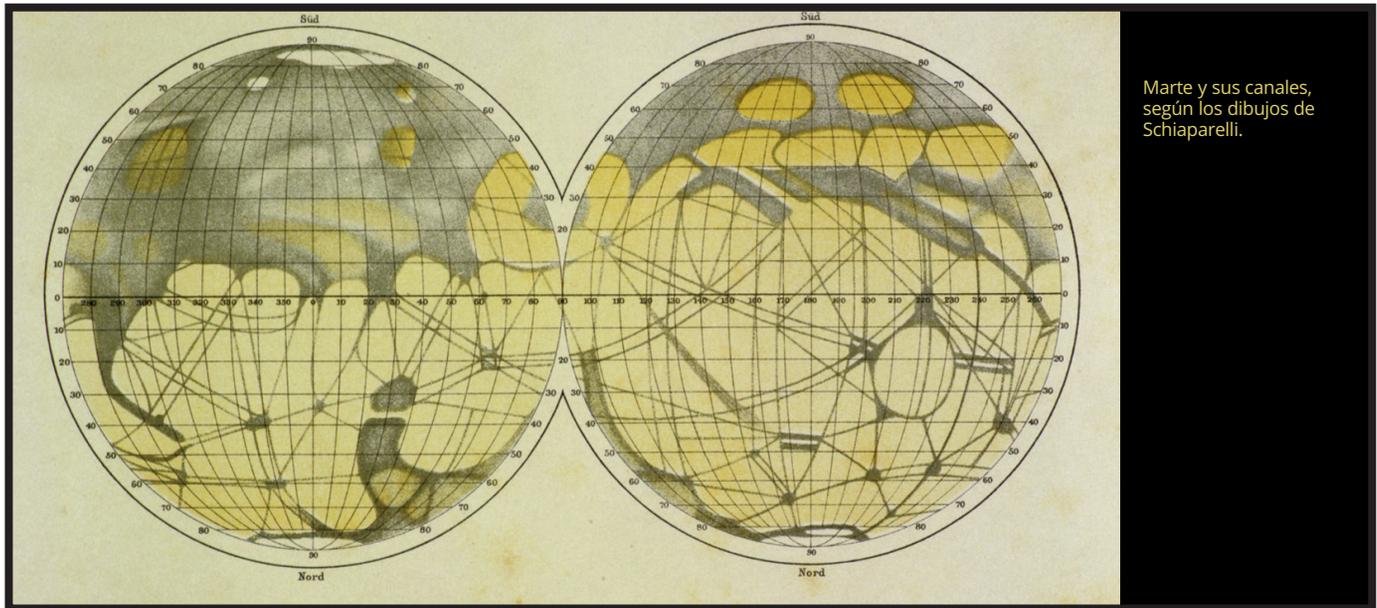
Las ilustraciones de Schiaparelli son tremendamente llamativas y sirvieron para despertar la curiosidad de muchos más

astrónomos y artistas. Las formas en que se representa el planeta rojo irán oscilando y plasmándose prácticamente en todas las teorías que se planteen, acaben siendo acertadas o erróneas. Pasando por los canales de Schiaparelli, las ilustraciones de Percy Lowell, Étienne Léopold Trouvelot, Scriven Bolton o Camille Flammarion. El arte es el soporte en el que estas hipótesis se sostienen hasta que son desmentidas o corroboradas.

Dando un salto hasta el siglo XX, en pleno auge de la carrera espacial, el planeta rojo se presenta como la meta más cercana (con permiso de la Luna) para la humanidad, y los artistas se lanzarán a representarlo e idealizarlo. La conquista de Marte debe ser, por lo tanto, el siguiente gran paso de la humanidad, y una vez conseguido, se convertirá de manera indudable en uno de los eventos

Marte - Ludek Pesek





Marte y sus canales, según los dibujos de Schiaparelli.

más importantes de nuestra historia.

El motor que impulsará estas motivaciones, tanto para ingenieros como para artistas, será la imparable curiosidad que los humanos llevan cultivando desde que hemos podido alzar la vista al cielo. En el caso de los artistas, el peso es mayor, ya que representar el planeta más cercano será algo que les fascinará, pero servirá para que el gran público también perciba a Marte como ese destino soñado e idealizado, la próxima meta de los exploradores del Sistema Solar.

Ahora, en pleno siglo XXI, si bien todavía no hemos conseguido llevar humanos a Marte, el salto es inminente. Consideramos entonces un éxito la evolución de las representaciones del planeta rojo, ya que han ido sembrando las semillas para asumir este salto, desde las meras estimaciones, pasando por representaciones de una superficie repleta de vegetación y de canales hasta llegar a la actualidad más inmediata con las imágenes de la *Perseverance* y el *Ingenuity*, elementos que sirven para corroborar las creencias que el arte espacial había ido estimando a lo largo del siglo.

La mejor forma de resumir las representaciones de Marte en la pintura espacial sería remontándonos a la tradición pictórica del realismo americano, a los elementos de la pintura romántica, a lo sublime. Los artistas del siglo XIX comenzaron a observar el mundo con otros ojos. Los paisajes y la vastedad de

los mismos comenzaban a postularse como elemento predilecto en la tradición pictórica. Los artistas estadounidenses, más concretamente los de la *Hudson River School*, exploraron y cayeron rendidos ante la naturaleza indómita y desproporcionada que encontraban a su paso.

Los parques de Yellowstone y Yosemite llevaron a estos artistas a querer formarse como geólogos y botánicos, siempre con el fin de poder transmitir la mayor verosimilitud posible en unos paisajes que habían conseguido conmovernos y aturdirnos. Aquí empezamos a ver los rasgos que el arte espacial hereda

directamente, cambiando los parques naturales por las superficies también rocosas de Marte y, por lo tanto, encontraremos multitud de rasgos similares a los que vemos en la pintura de célebres artistas decimonónicos como Johan Christian Dahl o Caspar David Friedrich.

¿Qué significa que estos artistas espaciales se hayan inspirado en artistas de la escuela más tradicional? Que, como ya hemos visto, han seguido los pasos de una corriente que representaba paisajes que sobrepasaban la escala humana, tan inmensos y amplios que nos parecen inconcebibles para la razón humana. Si



Mastcam-Z views 'Santa Cruz' on Mars

trasladamos estas sensaciones a Marte, vemos que no hay mejor forma de plasmar un horizonte naranja, rojizo, extremadamente erosionado, repleto de rocas de todos los tamaños y formas, con impresionantes cañones y precipicios, además de llanuras que se extienden

hasta donde alcanza la vista, que con este lenguaje pictórico.

Vemos entonces que es innegable la relación de esta pintura con la tradición romántica del paisaje sublime. En ella, la desolación, las grandes escalas y la idea de que son espacios deshabitados, a

millones de kilómetros del ser humano, producen la placentera sensación de lo sublime terrorífico que desarrollan teóricos como Edmund Burke. De hecho, por esencia, cualquier paisaje espacial es sublime, ya que pone de manifiesto la pequeñez humana como ningún paisaje terrestre lo consigue.

Cuando, a finales de la década de 1970, las sondas *Viking* empezaron a devolver imágenes de la superficie de Marte, se verificó que muchos de los elementos que habían configurado la tipología pictórica del planeta se mantenían y, por tanto, confirmaban. Los artistas, muy cercanos a los conocimientos científicos del momento, habían conseguido crear un imaginario donde Marte había sido tremendamente fiel a la realidad. Así que no hay mejor forma de comprobar esta afirmación que lanzándonos a comprobarlo.

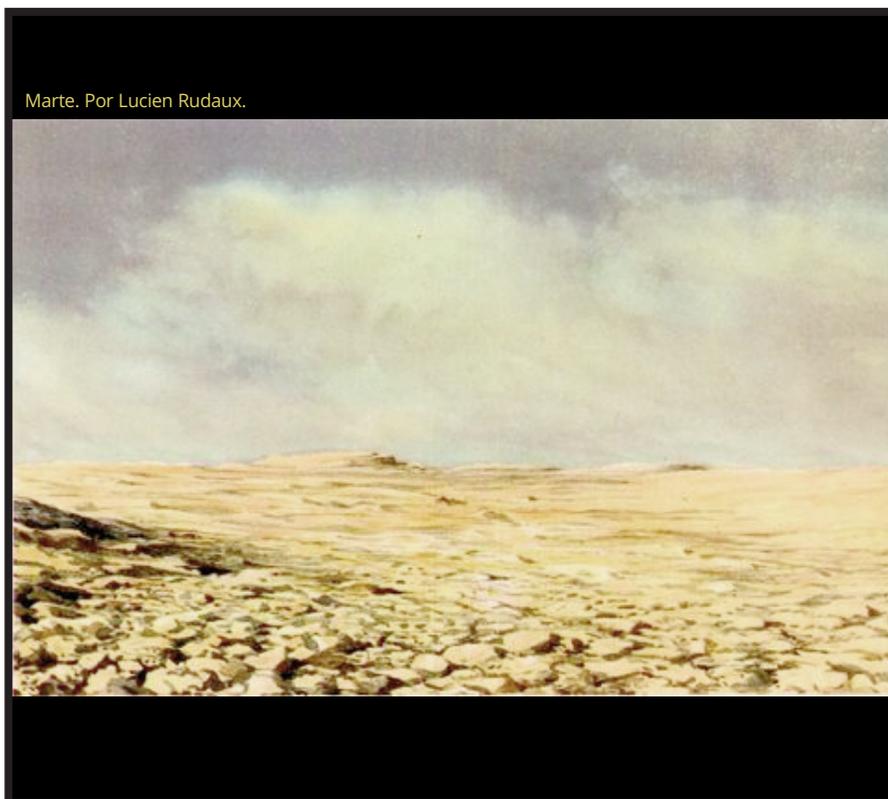
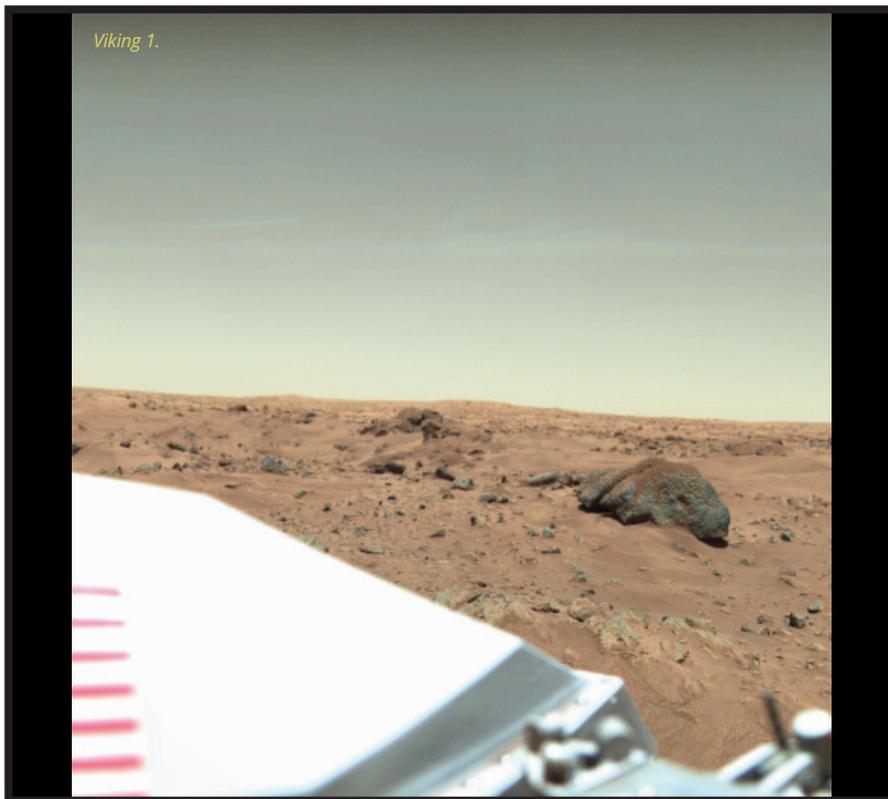
Las sondas *Viking*, que además estuvieron acompañadas de una gran cantidad de ilustraciones durante su lanzamiento y preparación, tanto de las sondas como de su labor (al igual que con la sonda *Map 3*), nos devolvieron las primeras imágenes desde la superficie del planeta.

En la imagen de la izquierda, tomada el 25 de agosto de 1976, en el Sol 35 de la *Viking 1*, la similitud con imágenes de artistas como Chesley Bonestell, Ludek Pesek o Ron Miller es innegable. Las rocas esparcidas a lo largo del paisaje, cubierto de polvo rojizo, habían estado difundiéndose desde la década de los años 1930, de la mano de figuras como Lucien Rudaux.

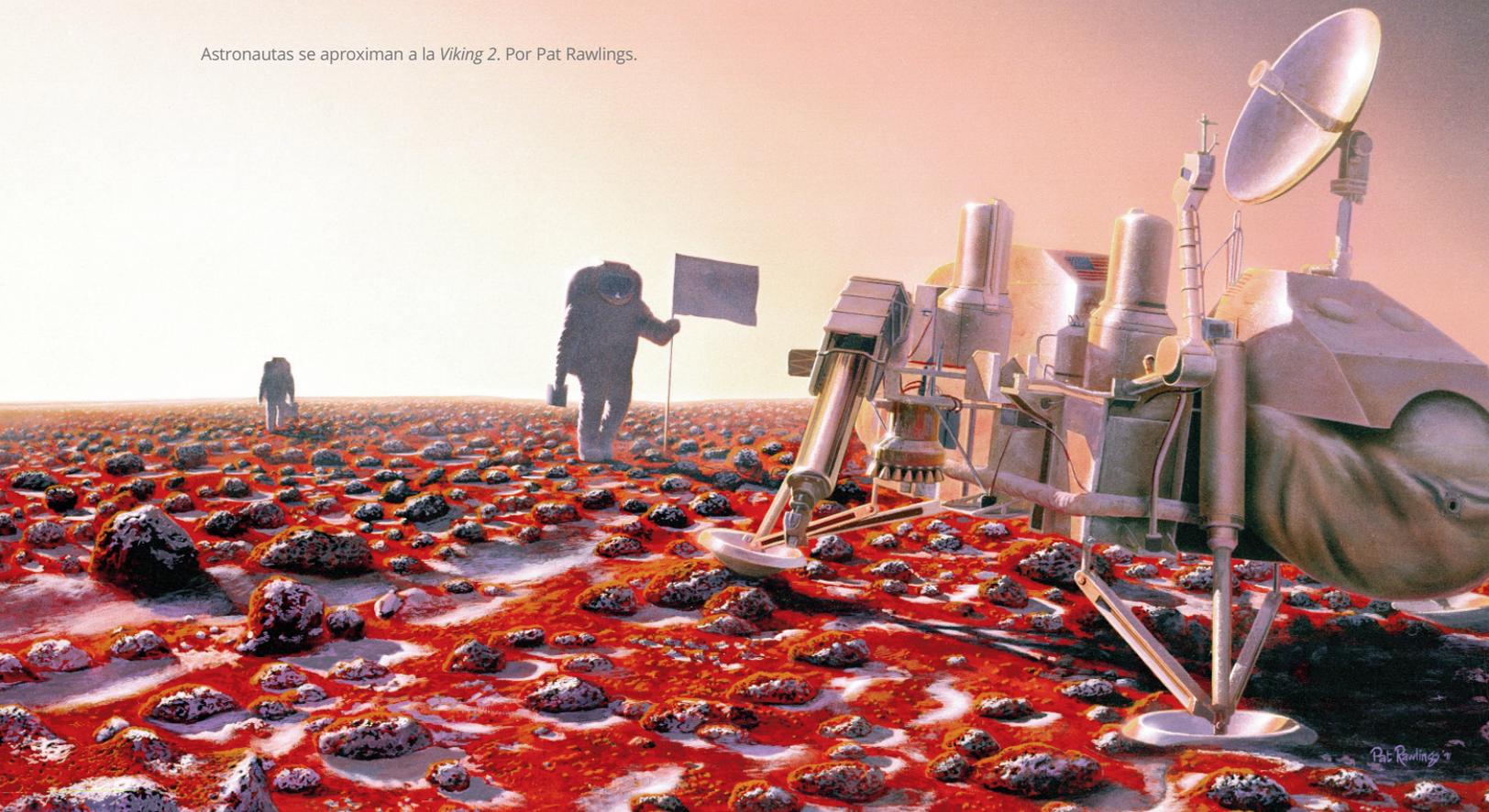
En el ejemplo de este artista, reconocemos un horizonte que casi no difiere del que nos devolvieron las *Viking*.

Un ejemplo, clave a la hora de representar los avances en la carrera espacial es tan sencillo que a veces ni siquiera nos percatamos. Si las cámaras fotográficas se encuentran en las sondas o los Rovers, necesitamos ilustraciones para entender cómo interactúa este elemento con su entorno. Un ejemplo que tiene lugar en otro cuerpo del Sistema Solar, será la maniobra de la sonda *Cassini* precipitándose sobre Saturno, donde los vídeos e imágenes que se utilizaron para enseñar la maniobra no salían de las propias cámaras de *Cassini* sino de los artistas que, basándose en las imágenes recibidas, pudieron aproximarse a estos últimos instantes.

De igual manera, el artista Pat Rawlings



Astronautas se aproximan a la *Viking 2*. Por Pat Rawlings.



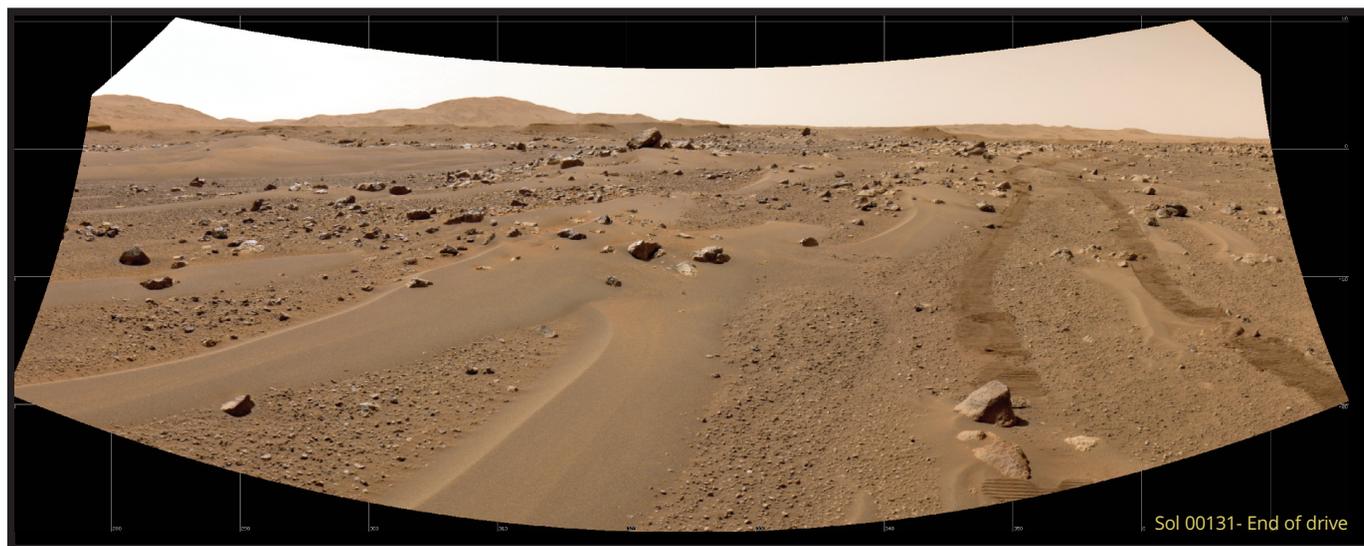
recibió un encargo de NASA a principios de nuestro siglo para representar lo que un equipo de astronautas experimentaría en su visita al planeta rojo, incluyendo un encuentro con los diferentes elementos que ya se han enviado con anterioridad, como es este ejemplo de un grupo de astronautas junto a la *Viking 2*.

En el encargo a Rawlings, encontramos además representaciones de campamentos, incluso de misiones de exploración que se sitúan en elementos geográficos

del planeta que ya conocemos, como el cañón Noctis Labyrinthus.

Las imágenes que nos devuelven tanto la sonda Perseverance como el Ingenuity nos acercan visiones de Marte que antes solo alcanzábamos a teorizar y a representar, pero que ahora podemos percibir. Si bien, aunque se encuentren en la absoluta vanguardia de las representaciones, siguen dependiendo de las ilustraciones para representarnos lo que nos depara el futuro más inmediato, como

son los campamentos, zonas habitadas por humanos o incluso hangares para despegar las naves que volverán a la Tierra. La conclusión a la que podemos llegar es que las representaciones de elementos de nuestro Sistema Solar van a seguir dependiendo de las ilustraciones de los artistas, ya que hasta que la fotografía esté tan extendida como ocurre en la Tierra, gran parte de las representaciones seguirán dependiendo de los artistas.



LA COVID-19 Y LOS RAYOS DE TORMENTA

¿PUDO LA COVID-19 CONTRIBUIR A UNA REDUCCIÓN DE LOS RAYOS EN EL NORTE DE ITALIA? ACABAMOS DE PUBLICAR UN ARTÍCULO EN EL QUE MOSTRAMOS QUE SÍ

NUESTRO ESTUDIO, UNA COLABORACIÓN ENTRE EL DLR (CENTRO AEROSPAZIAL ALEMÁN, *DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT*) Y EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC), SE CENTRA EN EL VALLE DEL PO, LA ZONA CON MÁS ACTIVIDAD ELÉCTRICA DE EUROPA, CON GRANDES EMISIONES DE AEROSOL-ES CONTAMINANTES Y, CASUALMENTE, UNA DE

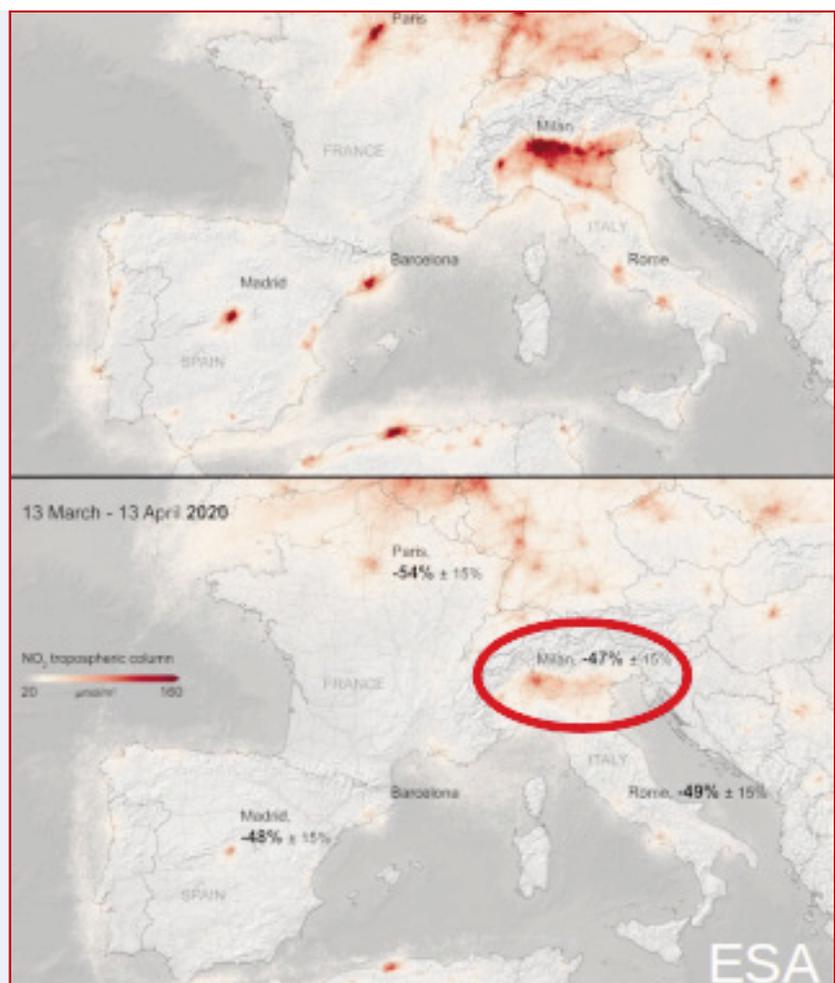
LAS MÁS IMPACTADAS POR LA COVID-19. ENTRE MARZO Y JUNIO DE 2020, DURANTE EL DURO CONFINAMIENTO, EL NÚMERO DE RAYOS SE REDUJO APROXIMADAMENTE DIEZ VECES RESPECTO A AÑOS ANTERIORES. ¿CASUALIDAD MERAMENTE EXPLICADA POR LA METEOROLOGÍA, O QUIZÁS ALGO CONECTADO AL CONFINAMIENTO? EMPECEMOS POR LO BÁSICO.

LOS AEROSOL-ES

La actividad industrial y los medios de transporte emiten aerosoles, que son pequeñas partículas (de hasta diez micras en nuestro estudio) que quedan suspendidas en el aire. Estas partículas pueden ser elevadas hasta las nubes e intervenir en toda la física que allí ocurre. Pero, ¿cómo intervienen? Las partículas de aerosoles (naturales o artificiales) actúan como núcleos de condensación. Es decir, sirven a las pequeñas gotitas de agua como centro donde aglutinarse para formar gotas mayores (coalescencia), dando lugar a los conocidos hidrometeoros.

Es fácil entonces entender que el número de aerosoles que lleguen a la nube influirá en las características de los hidrometeoros que contiene. A más aerosoles, más hidrometeoros podrá haber en la nube, aunque también más pequeños.

Concentración de óxido nítrico, un gas comúnmente emitido por actividades humanas, medida sobre Europa por el instrumento TROPOMI entre marzo y abril de 2019 (panel superior) y de 2020 (panel inferior). Se aprecia una reducción del 47% en la concentración de óxido nítrico sobre el Valle del Po. Crédito: ESA.



DECONSTRUCCIÓN

JAVIER PÉREZ INVERNÓN
CENTRO AEROSPAZIAL ALEMÁN (DLR)

NUBES CON CARGA ELÉCTRICA

Estos hidrometeoros, al viajar en la nube, congelarse, formar nieve, etcétera, acaban colisionando entre ellos. Al colisionar, generan carga eléctrica (como cuando frotamos un globo con una tela). Comienza entonces a cargarse la nube. El hielo, en general, se suele cargar positivamente (+). Al ser poco pesado, las corrientes de aire lo elevan a capas altas de las nubes. Por el contrario, el granizo o la nieve se suelen cargar negativamente. Al ser más pesados, la gra-

vedad los transporta a capas bajas. Se genera así una estructura de cargas macroscópica en la nube a punto de descargar.

Cuando las cargas se han acumulado lo suficiente, se alcanza el campo de ruptura del aire. Los electrones se aceleran y se produce una onda de ionización que no deja de avanzar en forma de ramas hasta conectar las capas de las nubes, o una de ellas al suelo. ¡Tenemos un rayo!

PARAMETRIZANDO RAYOS

Pues bien. Ya hemos visto que los aerosoles son la “semilla” de los rayos, por lo que no es descabellado pensar que, si reducimos la cantidad de aerosoles antropogénicos que “se comen” las nubes, también tendremos menos rayos... Aunque, por otra parte, para tener rayos también necesitamos unas condiciones meteorológicas específicas, como inestabilidad atmosférica, existencia de nubes o movimientos ascendentes de aire.

¿Cómo podemos discernir si la reducción del número de rayos observada se debe a la meteorología o a la caída en el número de aerosoles? Por suerte, existen las parametrizaciones de rayo. ¿Cómo son?

Las parametrizaciones de rayos son modelos “sencillos”

que usamos para estimar el número de rayos que se producirá en una tormenta según algunas variables meteorológicas. Son muy útiles para los modelos atmosféricos y para la predicción de ocurrencia de rayos y, por tanto, deberían también ser útiles en nuestro estudio. Las parametrizaciones de rayos pueden decirnos si la meteorología explica la reducción de rayos observada, o si hay algo más.

Nuestra propuesta ha sido usar parametrizaciones de rayos para calcular cuánto debería haber caído el número de rayos respecto a años anteriores según la meteorología. Al comparar cálculos y observación, vemos que el 40% de la caída no puede explicarse solo con la meteorología (¡!).

LAS CONCLUSIONES

En concreto, ni la variación en 2020 de la altura de las nubes, ni de la precipitación, ni de la energía convectiva, ni de la cantidad de hielo contenida en las nubes ni de los movimientos de aire ascendentes pueden explicar más del 60% de la reducción de rayos observada. Los datos de concentración de aerosoles en varias ciudades del Valle del Po nos dicen que las emisiones de aerosoles cayeron significativamente durante esos meses, lo cual explicaría el restante

40% en la reducción del número de rayos observada. Por tanto, hay que tener en cuenta la reducción en las emisiones de aerosoles debida al confinamiento para explicar la reducción observada en el número de rayos. Esto es importante porque da información básica sobre el proceso de carga de las nubes y pone de manifiesto la influencia de la actividad humana en fenómenos tan complejos como los rayos de tormenta.

EL ARTÍCULO: F.J.Pérez-Invernón et al. *Influence of the COVID-19 lockdown on lightning activity in the Po Valley. Atmospheric Research, Volume 263, 2021.*

EL MOBY DICK DE...

...DAVID MARTÍNEZ-DELGADO (IAA-CSIC)

LA CORRIENTE ESTELAR DE LA GALAXIA ENANA DE SAGITARIO

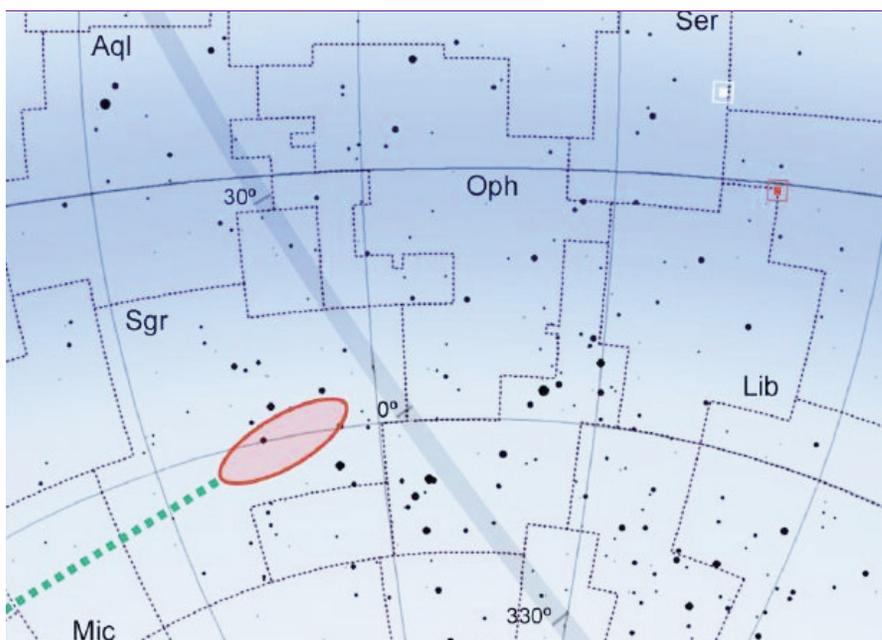


Investigador Talentia Senior en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC). En las últimas dos décadas su carrera investigadora ha transcurrido entre España y Alemania, incluyendo un contrato Ramón y Cajal en el IAC y uno de investigador A. *Humbolt for Advance Research* en el MPIA (Heidelberg). En 2018 recibió el I Premio Javier Gorosabel de colaboración ProAm en Astrofísica de la SEA por su trabajo sobre corrientes estelares con su grupo internacional de astrofotógrafos.

En el verano de 1998, mi director de tesis me hizo una proposición que era difícil de rechazar. En lugar de asistir a un congreso en Sudáfrica para presentar los primeros resultados de mi tesis, me pidió que fuera a cubrir a una compañera (que también quería asistir) en una campaña de observación de galaxias enanas del Grupo Local en el Observatorio de Las Campanas en Chile. Uno de mis sueños desde que era niño era contemplar el cielo del hemisferio sur y no dudé de que esta era una oportunidad única para hacerlo con el esplendor que ofrece uno de los lugares más oscuros de la Tierra. Así que, por supuesto, acepté.

Mi primera impresión del cielo austral fue sobrecogedora. Las regiones más densas y espectaculares de la Vía Láctea, situadas en la dirección del Centro Galáctico en la constelación de Sagitario, culminan a medianoche a primeros de septiembre. La visión de la constelación de Sagitario dominando el firmamento chileno me trajo a la memoria el descubrimiento de la galaxia enana Sagitario por Rodrigo Ibata pocos años antes (en 1994). Se trataba de la primera evidencia observacional de una galaxia satélite siendo “devorada” por la fuerza gravitatoria de la Vía Láctea. Los estudios más recientes habían encontrado que esta galaxia enana (la más cercana conocida) se extendía más de 20 grados y sus límites podrían estar muy lejos de la constelación de la que toma su nombre. Me pareció por lo tanto un objetivo muy interesante para cubrir las primeras horas de la noche en las que no tenía ningún objeto en el programa.

Volví a la cúpula y decidí enviar un mensaje a mi colega Mario Mateo, un profesor de la Universidad de Michigan que había obtenido el primer diagrama color-magnitud de la galaxia Sagitario un par de años antes. Le propuse observar la periferia de Sagitario con la cámara de



La posición del resto de la galaxia enana de Sagitario descubierto en la constelación de Virgo durante nuestra primera campaña con el INT-WFC en La Palma. La cola sur descubierta por Mario Mateo es marcada con puntos verdes. La elipse roja la extensión del progenitor de la corriente reportada a primeros del 2000. Crédito: Martínez-Delgado et al. 2001.

gran campo del telescopio Swope de un metro con objeto de delimitar su verdadero tamaño. La respuesta de Mario fue rápida. En su mensaje incluía un borrador de su último artículo, donde presentaba el descubrimiento de la corriente estelar de marea de Sagitario extendiéndose más de 35 grados al sur de su centro. Inmediatamente imaginé que podría existir una cola simétrica en dirección norte y le pregunté a Mario si podíamos buscarla en esa dirección. Mario se mostró muy reacio a hacerlo, argumentando que en esa dirección la corriente atraviesa el plano galáctico y sería casi imposible encontrarla debido a la alta densidad estelar y la extinción del polvo de nuestra Galaxia. Como alternativa, Mario me propuso buscar estrellas variables RR Lyrae en la corriente sur recién descubierta, con objeto de medir su dis-

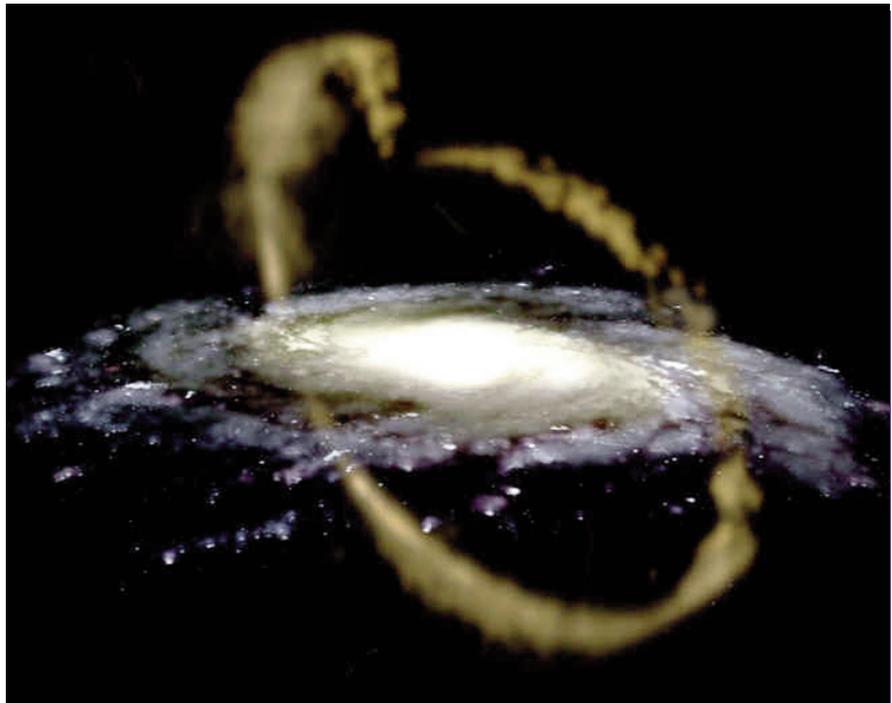
tancia y determinar su orientación espacial. Esa tarea me llevó varias noches, en las que descubrí varias variables y, por fortuna, un asteroide (44821 Amadora, dedicado a mi esposa).

Mario Mateo no pudo convencerme aquella noche de que la detección de la corriente norte era inviable y, al volver a España, empecé a planear una estrategia para encontrarla. La semana que regresé al IAC se celebraba en La Laguna la Reunión Científica de la SEA. Allí me encontré con la investigadora María Ángeles Gómez-Flechoso, que presentaba uno de los primeros modelos dinámicos de N-cuerpos de la destrucción de la galaxia Sagitario por la Vía Láctea. Su modelo confirmaba que Sagitario debería formar una corriente gigantesca de estrellas que envuelve todo el hemisferio norte. Además, este modelo predecía

aproximadamente su posición en el cielo y su distancia, justo lo que necesitaba para guiar mi búsqueda.

A finales de los noventa, ya con mi tesis terminada, llegó al Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma la “herramienta” que nos faltaba: la cámara de gran campo (WFC) instalada en el telescopio Isaac Newton 2.5 metros. Aunque esta cámara era una de las pocas que proporcionaban entonces un campo de visión cercano a una luna llena (30 minutos de arco), el área del cielo que teníamos que explorar era enorme. El modelo también predecía que la corriente de Sagitario se alejaba rápidamente hacia el hemisferio norte, alcanzando unos 50 kilopársecs en su apocentro en el halo de la Vía Láctea. No eran buenas noticias.

Nuestra estrategia para buscar la corriente norte de Sagitario consistía en obtener diagramas color-magnitud de campos estelares del cielo donde el modelo predecía su posición. El objetivo era detectar el punto de separación de la secuencia principal (o etapa adulta) de su población estelar vieja, que aparece como una especie de “gancho” sumergido en la región azul del diagrama entre las estrellas de fondo de la Vía Láctea. Su presencia indicaría que existe un escombros de bajo brillo superficial de una galaxia enana en esa dirección del cielo. Sin embargo, la corriente de Sagitario solo tiene unos pocos grados de anchura aparente, por lo que no era difícil que falláramos en cazarla en nuestros apuntados. Por esa razón decidimos que no era posible tomar todos los datos de la campaña y volver a casa con las citas DAT para reducirlos a posteriori: había que obtener los diagramas color-magnitud en tiempo real en la sala de control del telescopio e ir variando la estrategia de búsqueda noche tras noche durante una campaña de casi una semana. Por la mañana, Mariángeles actualizaba su modelo con la información que las detecciones negativas nos iban proporcionando con objeto de darnos nuevos apuntados más precisos para buscarla. El primer fragmento de la corriente lo encontramos en la última noche de la campaña en el INT. Se encontraba en la constelación de Virgo, a unos 60 grados del núcleo de Sagitario y en una posición cercana a la prevista por el modelo para el apocentro de su órbita. La separación



Una representación artística de una perspectiva externa de la corriente estelar de Sagitario envolviendo el disco de la Vía Láctea, basada en nuestras observaciones y el modelo actualizado de Sagitario de M.A. Gómez-Flechoso. Crédito: G. Pérez/D. Martínez-Delgado.

angular era tan grande que no estuvimos seguros de si se trataba realmente de un resto de Sagitario o el descubrimiento de otro satélite de la Vía Láctea desconocido. Recuerdo que tuvimos que usar un mapa de constelaciones (imagen página anterior) para ilustrar su posición en nuestro artículo en *The Astrophysical Journal Letters* publicado en 2001.

Para confirmar que lo que encontramos era la cola norte de Sagitario, volvimos al telescopio INT en junio de 2001 para buscar más fragmentos, tomando como referencia para nuestros apuntados un modelo actualizado con nuestra nueva detección. Encontramos dos fragmentos más en la posición prevista, confirmando sin ninguna duda que estábamos observando una corriente gigantesca de estrellas que cruzaba todo el cielo. Para la nota de prensa de nuestro artículo preparamos una visión artística sobre una perspectiva externa de Sagitario y la Vía Láctea basada en el modelo de Mariángeles. Esta imagen fue publicada en *NASA Astronomy Picture of the Day* en 2003 y ha ilustrado algunos libros de texto (imagen superior).

Nuestra búsqueda de la corriente de Sagitario a primeros de este siglo, antes

de que llegaran los datos de los cartografiados a gran escala del cielo (2MASS, Sloan Digital Sky Survey), fue muy parecido a buscar los restos de un barco en el fondo del mar. Esos cartografiados digitales del cielo revelaron finalmente la visión espectacular de la corriente de Sagitario envolviendo el disco de la Galaxia, confirmando todas nuestras detecciones y mostrando un excelente acuerdo con el modelo de Mariángeles. Este trabajo sobre Sagitario también inspiró mi búsqueda de corrientes estelares en otras galaxias similares a la Vía Láctea, que encontré por primera vez en 2007 mediante observaciones muy profundas obtenidas con telescopios amateurs. Podemos decir que aquella noche en Las Campanas, contemplando a Sagitario dominando el cielo chileno, fue el verdadero comienzo de mi carrera profesional.

REFERENCIAS

- Martínez-Delgado, D. et al. *The Astrophysical Journal*, 549, L199 (2001).
- Martínez-Delgado, D. et al. *The Astrophysical Journal*, 601, 242 (2004).

FÍSICA O FATALIDAD. HISTORIAS DE GRANDES FRACASOS DE LA CIENCIA TÉCNICA Y EXPERIMENTAL

Apreciadas amigas, queridos amigos del IAA, me presento, soy Murphy, y soy el duende napolitano del fracaso científico. A lo largo de la historia he tenido muchos nombres: fatalidad, adversidad, infortunio, mala suerte, desventura, desgracia, fracaso... Los griegos me llamaban Ate, los nórdicos, Wynd; los romanos, Nefas. Para los gitanos soy el mal fario o malaventura, y para los napolitanos, la jattura o mala-ciorta. Pero soy más conocido en el mundo entero con el nombre de Murphy. Ya sabéis, si algo puede salir mal... saldrá mal. Esta es mi misión, esta es mi diversión.

Accidente en Marte

POR SEBASTIANO DE FRANCISCIS
(MURPHY INSTITUTE OF CALAMITY, MIC)
Y EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

Nos contaron que las medidas no importan, pero las unidades de medida SÍ.

23 de septiembre de 1999. Qué día más glorioso, fue una de mis obras maestras: sala de control de la Lockheed Martin, la principal compañía estadounidense de la industria aeroespacial y militar; ese día había que coordinar la misión espacial de la *Mars Climate Orbiter*, una sonda construida por encargo de la NASA. ¡Veréis qué delicia!

OPERADORA NASA: Aquí equipo de control de JPL NASA en Pasadena. Comenzamos proceso de inserción en órbita marciana de la misión *Mars Climate Orbiter*. Nos reciben. Cambio.

OPERADOR LOCKHEAD: Sí, aquí equipo de control de la misión en el centro Lockheed Martin de Astronáutica, en Colorado. Recibido. Ha sido casi un año de viaje, pero nuestro pájaro por fin llega al nido. ..je...je.. eh .. cambio.

OPERADORA NASA: Ejecutando orden de aproximación a órbita marciana de la *Mars Climate Orbiter*. Encendiendo cohetes propulsores.

OPERADORA NASA: Esperando lectura de nueva órbita.

CONTROL: Pi ..Pi..Pi... Pirrrr [Silencio]

OPERADOR LOCKHEAD: Eh... NASA... aquí centro Lockheed. Mira, a lo mejor es cosa nuestra, pero creo que hemos perdido señal de la sonda. No la escuchamos... cambio.

OPERADORA NASA: Nosotros tampoco recibimos señal. Hemos perdido comunicación con la misión. No entendemos. Las órdenes enviadas para la nueva trayectoria de inserción han sido las correctas. Cambio.

OPERADOR LOCKHEAD: Sí. Lo confirmamos. A los cohetes propulsores se les ha comunicado un impulso de 3.32 libras-fuerza por segundo. Cambio.

OPERADORA NASA: ¿Qué? Perdón, con-

trol Lockheed... ¿podría repetir el dato? Cambio.

OPERADOR LOCKHEAD: Sí, que los cohetes han recibido un impulso de 3.32 libras-fuerza por segundo. Vamos, que la sonda debe estar ahora a una órbita 223 millas de Marte, moviéndose a unos 23.2 pies por segundo, y soltando unas 123 onzas de combustible por yarda avanzada... Vamos, que si todo va bien, en un rato estamos celebrándolo con unas pintas en el bar, ¡viva! Cambio.

OPERADORA NASA: [Silencio].

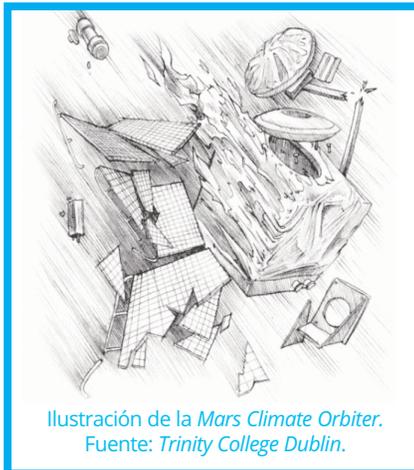


Ilustración de la *Mars Climate Orbiter*.
Fuente: Trinity College Dublin.

Acabáis de ser testigos de uno de los momentos más bochornosos de la historia de la exploración espacial. La empresa Lockheed había desarrollado los sistemas para controlar la *Mars Climate Orbiter*, una sonda que iba a orbitar el planeta rojo, pero lo hizo en el sistema anglosajón de medida. ¡El sistema del imperio! ¡viva el mal, viva el capital!

Pues el Jet Propulsion Laboratory de Pasadena, encargado de programar los sistemas de navegación, desarrollaba sus proyectos con el sistema métrico decimal (milímetros, metros, kilómetros y kilos) para realizar sus cálculos, mientras que el Lockheed Martin Astronautics de Denver, que diseñó y construyó la *Mars Climate Orbiter*, emple-

aba el sistema inglés (pulgadas, pies y libras). Sin embargo, los datos de navegación no fueron convertidos de un sistema a otro antes del lanzamiento al espacio de la sonda.

La nave sufrió una esquizofrénica confusión, que le llevó a alcanzar Marte en una posición de órbita inestable, por lo que se estrelló.

Hay 1,6 kilómetros en una milla y 2,2 libras en un kilogramo, una diferencia abismal para cualquier actividad humana, y no digamos para una de alta precisión como es la navegación espacial.

Cuando la NASA perdió contacto con la sonda, la *Mars Climate Orbiter* tenía previsto acercarse al planeta a una distancia mínima de 87 millas (139 km), pero lo hizo a 37 millas (60 km).

El artefacto se perdió y ahora es chatarra espacial. Imaginad, una chatarra que costó a los contribuyentes norteamericanos la friolera de 125 millones de dólares.

¿Y cómo sale de esta Edward Weiller, director adjunto de la agencia estadounidense (que, pese a todo, logró colocar a seres humanos en la Luna hace ya tres décadas), en la primera rueda de prensa tras el accidente?: “A los periodistas: cierto que el contrato de la NASA con la empresa LOCKHEED especificaba claramente que en todo momento las unidades debían ser las del sistema métrico decimal, cosa que no fue así. Pero, en cualquier caso, la NASA asume toda la responsabilidad. La gente a veces comete errores. Nuestro trabajo es detectar esos errores. El problema más grave no fue el error en sí, sino el fracaso de los servicios de ingeniería de la NASA y de sus mecanismos de detección y comprobación. Esa es la razón por la que perdimos la nave”. Y el dinero del contribuyente, añadido yo.

Los fracasos son imprescindibles, aunque nos gustaría que las cosas salieran bien a la primera. Pero la ciencia no funciona así. Así que yo, fatalidad, soy muy necesaria.

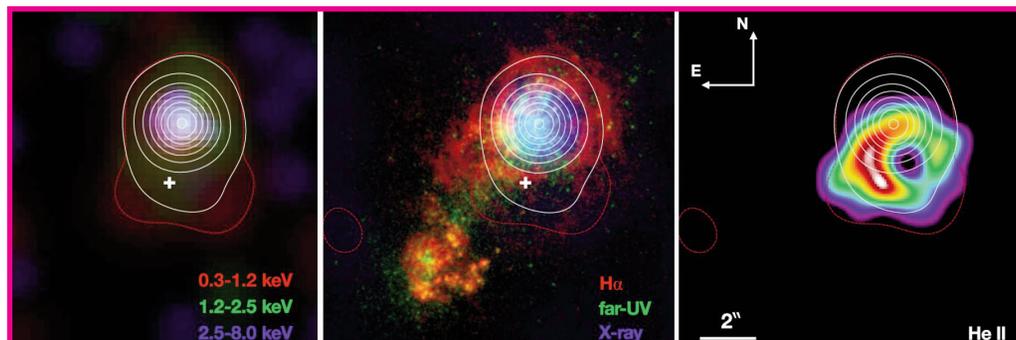
Cari miei, ha sido todo un placer... y recordad: “*errare humanum est, perseverare autem diabolicum*”. ¡Arrivederci!

Persiste la incógnita en torno a qué enciende los halos de helio de las galaxias primigenias

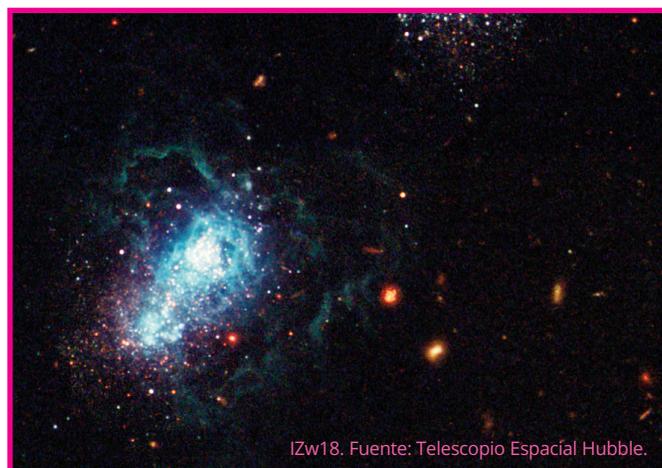
UN ESTUDIO BUSCA EN LA GALAXIA IZW18, ANÁLOGA A LAS PRIMERAS GALAXIAS QUE APARECIERON EN EL UNIVERSO, EL ORIGEN DE LA RADIACIÓN QUE PRODUCE UN HALO DE HELIO A SU ALREDEDOR

Hace unos trece mil trescientos millones de años se formaron las primeras galaxias, compuestas casi en su totalidad por hidrógeno y helio, los elementos primordiales que surgieron tras el Big Bang. Pobladas por un tipo de estrellas ya extintas, se hallan fuera de nuestra capacidad de observación, y en la actualidad se emplean galaxias “análogas” a aquellas primigenias para determinar sus propiedades, entre ellas el origen de unos extensos halos de helio ionizado comunes en las galaxias primitivas. IZw18, una galaxia cercana empleada como análogo desde hace décadas, muestra que estos halos siguen siendo, de momento, inexplicables.

“La galaxia enana IZw18 es una de las galaxias más pobre en metales (en astrofísica, los elementos más pesados que el hidrógeno y el helio) del universo cercano, y una de las que más se asemeja a las primeras galaxias. De modo que su estudio nos permite atisbar las condiciones que se daban en el universo primordial”, destaca Carolina Kehrig, investigadora del IAA-CSIC que encabeza una investigación que analiza las propiedades de IZw18. En 2015 esta investigadora lideraba el hallazgo, en torno a la pequeña galaxia IZw18, de una región muy extensa de helio ionizado, una estructura frecuente en galaxias muy distantes y con poca abundancia de metales, y



Arriba: contornos de la emisión en rayos X en la galaxia IZw18, producida por una única binaria de rayos X. Las cruces de las imágenes izquierda y central marcan la emisión máxima en helio ionizado (en la imagen derecha en rojo), que no coincide con la posición del sistema binario.



IZw18. Fuente: Telescopio Espacial Hubble.

que sumaba una coincidencia más entre IZw18 y las galaxias primitivas. La ionización del helio requiere la presencia de objetos que emitan una radiación lo suficientemente intensa como para arrancar los electrones de los átomos de helio. Y se calculó que las fuentes de ionización convencionales, como estrellas Wolf-Rayet –estrellas muy masivas con vientos estelares muy intensos– o los choques generados por remanentes de supernova, no proporcionaban la energía necesaria para generar el halo de helio ionizado de IZw18.

En el trabajo actual se estudian los efectos que muestran los rayos X en la ionización del helio en esta galaxia enana, dominada por una única fuente: una binaria de rayos X, o un sistema formado por una estrella simi-

lar al Sol que gira en torno a un centro de masas común con un objeto compacto, bien una estrella de neutrones o un agujero negro.

“Las binarias de rayos X de alta masa son una fuente de radiación de alta energía y han sido propuestas en la literatura como un posible mecanismo de ionización del helio en galaxias con formación estelar masiva –apunta Kehrig (IAA-CSIC)–. Investigamos por primera vez la variabilidad temporal de la binaria de rayos-X de IZw18 y hallamos que su bajo nivel de emisión de rayos X, así como sus pequeñas variaciones en los últimos treinta años, resultan insuficientes para generar el halo de helio ionizado de la galaxia”. La morfología extendida del halo de helio, así como la distancia entre su máximo de emisión y la posición de la

binaria de rayos X, revelada por primera vez en este estudio, refuerzan la hipótesis de que los fotones de rayos X no pueden ser responsables de la formación del halo ionizado del helio en IZw18.

En el trabajo anterior, este grupo investigador proponía que estrellas extremadamente calientes, como estrellas supermasivas de baja metalicidad o bien estrellas masivas prácticamente sin metales, podrían esconder la clave para resolver el problema de la excitación del helio en IZw18. Se trataría de estrellas muy calientes análogas a las estrellas de primera generación (conocidas como estrellas de Población III) y que, según los modelos teóricos, estarían compuestas solo por hidrógeno y helio y podrían tener cientos de veces la masa del Sol.

“Sin embargo, la existencia de estrellas de este tipo aún no ha sido confirmada observacionalmente en ninguna galaxia. De modo que, descartadas las fuentes convencionales y las de rayos X, seguimos sin saber qué ioniza los halos de helio en las galaxias”, concluye Carolina Kehrig (IAA-CSIC).

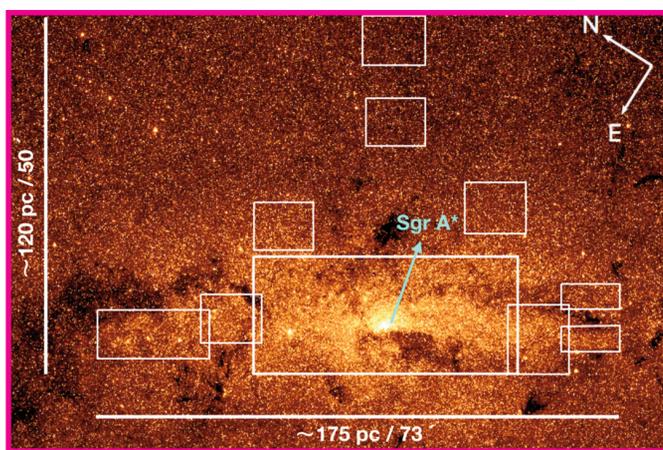
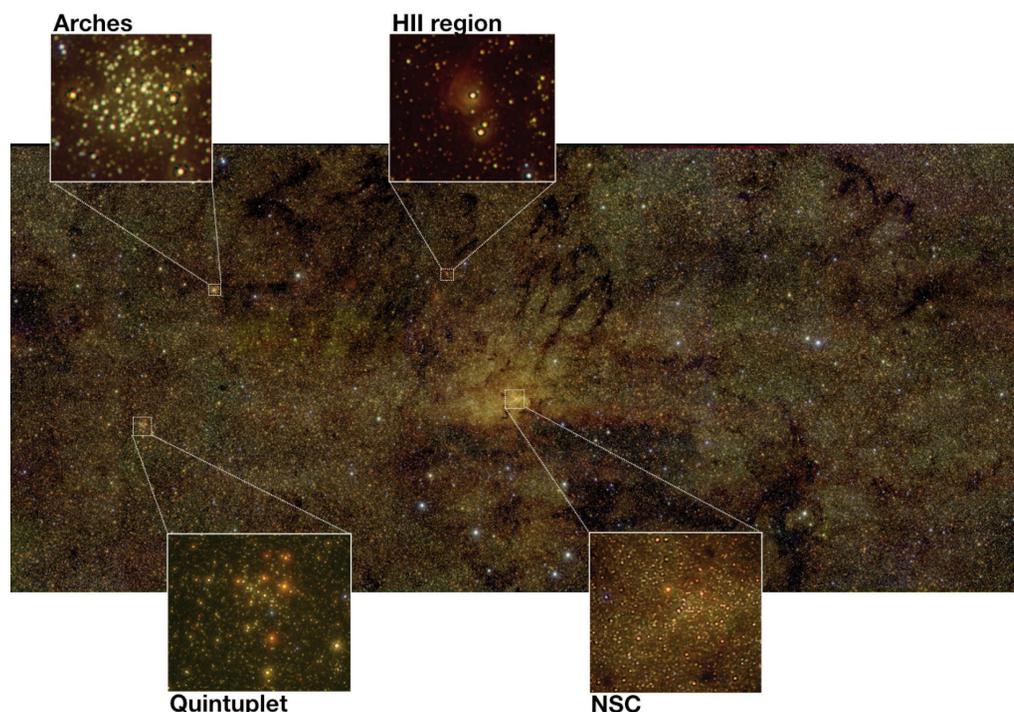
Investigadores del IAA publican el catálogo de estrellas más detallado del Centro Galáctico

EL PROYECTO GALACTICNUCLEUS PERMITIRÁ ESTUDIAR LA POBLACIÓN ESTELAR QUE RODEA AL AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO DEL CENTRO GALÁCTICO CON UN DETALLE SIN PRECEDENTES

La base de datos del Observatorio Europea Austral (ESO) ha publicado el más extenso catálogo de estrellas del Centro Galáctico elaborado hasta la fecha. El centro de la Vía Láctea alberga un agujero negro supermasivo de unos cuatro millones de masas solares, Sagitario A*, cuyo descubrimiento protagonizó el premio Nobel de Física en 2020. A su alrededor se halla un cúmulo estelar excepcionalmente denso y el conjunto representa una región con un alto interés científico, para cuyo conocimiento a fondo se diseñó el proyecto GALACTICNUCLEUS.

Esta región, con una densidad de estrellas muy superior a la del entorno de nuestro Sistema Solar, es representativa de otros núcleos galácticos cercanos. "Su singularidad reside en el hecho de que, al ser la más próxima, se puede estudiar con mayor detalle. Debido a sus características (el agujero negro central, la gran densidad de estrellas, la intensa radiación ultravioleta, etc.) el Centro Galáctico constituye un laboratorio único donde estudiar, entre otros, fenómenos como la formación estelar en entornos extremos, o la interacción de estrellas con un agujero negro supermasivo", afirma Rainer Schödel, astrónomo del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) e investigador principal de GALACTICNUCLEUS.

Sin embargo, no es sencillo observar el Centro Galáctico. Las densas nubes



de gas y polvo situadas entre nuestro planeta y el centro de la Vía Láctea causan un enrojecimiento y una extinción extrema en la luz visible emitida en el núcleo de la Vía Láctea. Por ello, las estrellas en esta región solo se pueden estudiar en el infrarrojo, rango menos sensible a estos efectos (en este caso, se empleó la cámara infrarroja HAWK-I del telescopio Very Large Telescope (VLT) del

Observatorio Europeo Austral).

Por otro lado, la altísima densidad de estrellas en esta región requiere obtener unas imágenes con muy alta resolución angular: la influencia de la atmósfera terrestre produce imágenes borrosas en las que resulta imposible observar las estrellas individualmente, y el equipo de GALACTICNUCLEUS ha empleado una técnica específicamente desarrollada para este proyecto

que reconstruye imágenes nítidas a partir de cientos de exposiciones cortas (de alrededor de un segundo).

Así, GALACTICNUCLEUS ha cartografiado esta zona con un detalle sin precedentes: se han detectado del orden de cien veces más estrellas que con los muestreos anteriores, que permitirán comprender los procesos de formación estelar en este entorno extremo y reconstruir la historia de la formación de estrellas en el centro de nuestra Galaxia.

El proyecto GALACTICNUCLEUS ha sido financiado por el programa europeo del Consejo Europeo de Investigación (ERC), que promueve la ciencia de excelencia a través de sus Consolidator Grants. Las observaciones para el proyecto fueron adquiridas dentro de lo que se conoce como ESO Large Programmes (grandes programas de ESO), que requieren muchas horas de telescopio y pueden conducir a un gran avance en el campo de estudio.

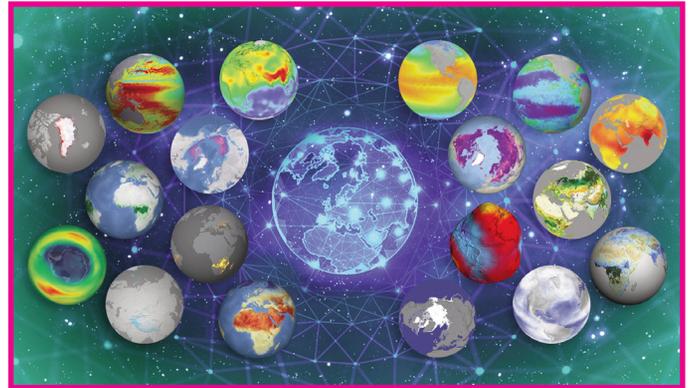
La misión CAIRT, candidata para el programa Earth Explorer 11 (ESA)

LA MISIÓN SE CENTRARÁ EN LOS PROCESOS QUE COMBINAN LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA, LA COMPOSICIÓN, LA METEOROLOGÍA ESPACIAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL

Los gases contaminantes y de efecto invernadero, así como los procedentes de fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, generan un impacto en la atmósfera de la Tierra. Estudiar estos procesos en detalle es el objetivo del concepto del satélite CAIRT, desarrollado por un grupo científico encabezado por el Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT) y en el que participa el IAA-CSIC. La Agencia Espacial Europea ha seleccionado a CAIRT como uno de los cuatro candidatos para su próxima misión de observación científica de la Tierra. Tras los estudios de prefactibilidad de las cuatro propuestas, solo una se seleccionará en 2025, y posteriormente se lanzará como Earth Explorer 11 en 2031 o 2032.

“Hoy en día sabemos que la atmósfera es un sistema acoplado: los procesos que actúan en sus regiones altas pueden influir en el tiempo y el clima cerca de la superficie y viceversa –señala Bernd Funke, investigador del IAA-CSIC que forma parte del grupo científico de la misión–. CAIRT será la primera misión que permita observar toda la atmósfera desde la parte superior de las nubes, a unos cinco kilómetros de altura, hasta la termosfera inferior, a unos ciento quince kilómetros, brindando así una oportunidad sin precedentes para estudiar el acoplamiento atmosférico de manera holística”.

CAIRT, acrónimo en inglés de Explorador de Tomografía Infrarroja de Atmósfera Cambiante, busca proporcionar las observaciones necesarias para estudiar los importantes cambios que se están produciendo en la atmósfera global, así como los procesos subyacentes. Por ejemplo, CAIRT permitirá desentrañar los posibles impactos de la meteorología espacial en el clima de la superficie regional al rastrear los cambios químicos causados por la precipitación de partículas cargadas en la atmósfera superior y las perturbaciones dinámicas inducidas hasta la troposfera.



Comprender los cambios en la composición atmosférica resulta fundamental, ya que afectan, junto con los cambios en la circulación, al clima y a la calidad del aire. CAIRT aportará datos para entender cómo esos cambios en la circulación, producidos esencialmente por los gases de efecto invernadero y críticamente relacionados con la recuperación de la capa de ozono, pueden afectar, por ejemplo, a las temperaturas en la superficie de la Tierra, a las sequías o a los eventos de precipitación extrema.

TOMOGRAFÍA DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE

“Gracias a su capacidad de generación de imágenes, CAIRT podrá pro-

porcionar imágenes tomográficas en 3D de estructuras atmosféricas muy pequeñas con una resolución espacial asombrosa. En particular, la propagación de ondas a pequeña escala, las llamadas ondas de gravedad que se producen por topografía, convección, o frentes meteorológicos en la atmósfera inferior: se pueden rastrear con CAIRT hasta la mesopausa, a unos ochenta y cinco kilómetros, donde se rompen y fuerzan movimientos a gran escala de toda la atmósfera. Estas ondas de pequeña escala son muy difíciles de modelar y actualmente representan la principal fuente de incertidumbre en los modelos climáticos actuales”, concluye Funke (IAA-CSIC).

RECONOCIMIENTO

Rocco Lico, investigador del IAA-CSIC y miembro de la Colaboración EHT, ha sido galardonado con uno de los premios *Early Career* del Telescopio del Horizonte de Sucesos (Event Horizon Telescope, EHT) de este año.

La destacada labor de Rocco Lico como gestor de las TIC y secretario del equipo de gestión del EHT, así

como otras importantes contribuciones científicas a los análisis científicos del EHT, han sido reconocidas en la segunda edición de los premios *Early Career* y *Outstanding PhD Awards* del EHT por “su dedicación y contribución positiva a los procesos y la estrategia de gestión del EHT, reconociendo su talento único para combinar actividades de gestión y ciencia innovadora”.



CARMENES halla dos nuevos sistemas planetarios

EL IAA-CSIC ENCABEZA LA DETECCIÓN DEL DOS SISTEMAS FORMADOS POR TIERRAS Y SUPERTIERRAS

La era de la detección de planetas fuera de nuestro Sistema Solar, que comenzó hace menos de tres décadas, se ha saldado hasta la fecha con más de cuatro mil planetas detectados. Su asombrosa variedad ha mostrado que la estructura de nuestro Sistema Solar, con planetas rocosos en las regiones internas y gaseosos y helados en las externas, no es tan típica como se creía, y que otras configuraciones parecen más habituales, como planetas gaseosos gigantes muy próximos a sus estrellas o sistemas con varias supertierras en torno a estrellas enanas. En este contexto, una nueva detección de dos sistemas planetarios por parte del instrumento CARMENES, que opera en el Observatorio de Calar Alto (CAHA, Almería), refuerza la idea de que las estrellas enanas tienden a albergar planetas rocosos.

“Nuestra concepción actual sobre la formación de planetas de baja masa en órbitas muy cercanas a estrellas



pequeñas apunta a que son muy abundantes, con una media de al menos un planeta por estrella. A pesar de esta abundancia, apenas disponemos de datos sobre la densidad de estos planetas que nos permita deducir su composición”, apunta Pedro J. Amado, investigador del IAA-CSIC que encabeza el trabajo.

En nuestro Sistema Solar, la Tierra, Marte, Mercurio y Venus se catalogan como planetas terrestres o rocosos. Para los planetas extrasolares, aquellos con entre la mitad y el doble del tamaño de la Tierra se consideran tierras, en tanto que los que cuentan con hasta diez veces la masa de la Tierra se clasifican como supertierras, términos que no presentan implicaciones sobre las condiciones en superficie o habitabilidad. De hecho, si bien la composición de los exoplanetas de tipo

terrestre sí podría ser similar a la de los planetas rocosos del Sistema Solar, la composición de las supertierras puede abarcar también otras combinaciones de gas, roca, hielo o agua.

Los nuevos sistemas se hallan alrededor de las estrellas enanas rojas (o enanas M) G 264-012 y Gl 393. En torno a la primera se han hallado dos planetas con una masa mínima de 2.5 y 3.8 veces la terrestre, que giran en torno a su estrella cada 2.3 y 8.1 días. Por su parte, el planeta de Gl 393 cuenta con una masa mínima de 1.7 masas terrestres y gira alrededor de su estrella cada siete días. Los tres planetas entran en la categoría de tierras y supertierras calientes, y alcanzan temperaturas que impiden la presencia de agua líquida en superficie.

“Para comprender cómo se forman y evolucionan los distintos sistemas pla-

netarios que estamos observando necesitamos estadísticas robustas sobre la cantidad de planetas que existen, así como información sobre la arquitectura de los sistemas y la densidad de los planetas. Así podremos explicar aquellos que no encajan en los mecanismos conocidos, como el sistema GJ 3512 que también hallamos con CARMENES y que presenta un planeta gigante en torno a una estrella enana, o confirmar la tendencia de las estrellas enanas a albergar sistemas múltiples”, indica Pedro J. Amado (IAA-CSIC).

En este sentido, este trabajo ha permitido además detectar un nuevo factor que parece influir en las detecciones, ya que el planeta en torno a la estrella Gl 393 había pasado desapercibido en campañas anteriores. Las estrellas enanas rojas muestran una intensa actividad en forma de fulguraciones que puede enmascarar la señal de los posibles planetas, y el equipo investigador advirtió que la no detección del planeta de Gl 393 podría deberse a que las observaciones anteriores se llevaron a cabo durante un pico de actividad. Así, concluyen que los planetas pueden detectarse más fácilmente en estrellas enanas con actividad moderada o fuera de los máximos del ciclo de actividad de la estrella.

MeerKAT halla grupo de galaxias escondido en una región muy estudiada

SU ABUNDANCIA EN HIDRÓGENO NEUTRO APUNTA A QUE LAS GALAXIAS ESTÁN EN PROCESO DE FORMACIÓN

La mayoría de las galaxias que presentan formación estelar intensa se hallan

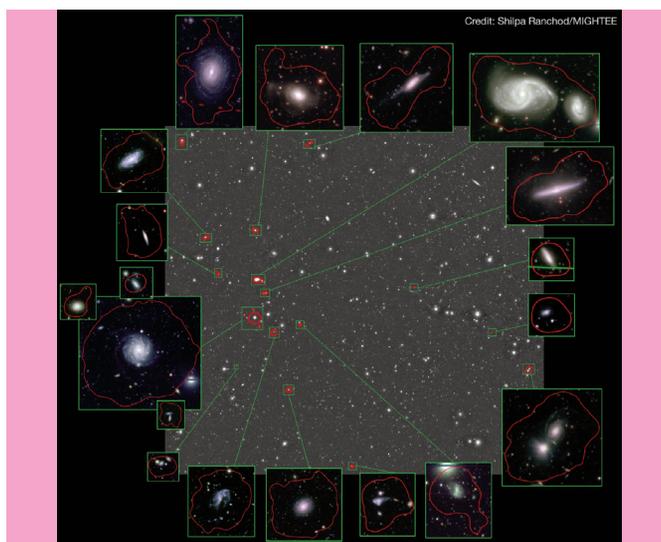
dentro de una nube de hidrógeno neutro frío, que actúa como el combustible a partir del que se formarán nuevas estrellas. Se trata de un gas difuso, extremadamente débil, que solo puede detectarse en longitudes de onda de radio y que se extiende más allá de la región visible de la galaxia. La observación de este gas permite comprender

los procesos evolutivos que tienen lugar en las galaxias, y un equipo científico con participación del IAA-CSIC ha hallado, con el radiotelescopio MeerKAT, un objeto de estudio idóneo: el grupo de galaxias más rico en hidrógeno neutro conocido.

“La distribución del hidrógeno neutro en estas galaxias ha revelado intere-

santes morfologías perturbadas que sugieren que las galaxias del grupo se influyen entre sí. Por ejemplo, encontramos un par de galaxias que interactúan y que potencialmente se fusionarán para formar una nueva galaxia con una apariencia completamente transformada”, señala Shilpa Ranchod, investigadora de la Universidad de

Pretoria que encabeza el estudio. El hallazgo ha sido posible gracias al telescopio MeerKAT (Sudáfrica), el precursor sudafricano del Square Kilometre Array (SKA). Este nuevo grupo de galaxias se encuentra en una zona del cielo que se ha estudiado en profundidad con otros radiotelescopios, pero solo con MeerKAT ha sido posible observar con tanta claridad la estructura del grupo. El entorno de las galaxias afecta en gran medida a cómo crecen y evolucionan las galaxias, y las observaciones del hidrógeno neutro con MeerKAT ofrecen una nueva ventana de observación de estas estructuras.



“Este es solo un avance de lo que nos va a mostrar MeerKAT, y a su vez de los descubrimientos que realizaremos con el SKA. Se trata de un caso de especial interés para la línea de investigación que coordino en el IAA ya que, a diferencia de los grupos densos de galaxias con alta deficiencia en gas atómico con los que solemos trabajar y que, según propusimos, serían más evolucionados, en este caso se ha detectado mucho gas, lo que sugiere que estamos ante un grupo en formación”, señala Lourdes Verdes-Montenegro, investigadora del IAA que participa en el estudio y que coordina la participación española en el SKA.

El enigmático proceso de ensamblaje de la galaxia del Sombrero

LA GALAXIA DEL SOMBRERO, UN EXTRAÑO HÍBRIDO ENTRE GALAXIA ESPIRAL Y ELÍPTICA, HA SIDO OBSERVADA EN DETALLE PARA BUSCAR INDICIOS SOBRE SU PROCESO DE FORMACIÓN

Según el modelo cosmológico más actualizado, las grandes galaxias espirales como la Vía Láctea crecieron absorbiendo galaxias menores, en una especie de canibalismo galáctico del que son testigos unas gigantescas estructuras, las corrientes de marea estelares, que se observan a su alrededor y que constituyen los restos de sus galaxias satélite. Pero aún se desconoce la historia completa en la mayoría de los casos, ya que estas corrientes de estrellas son muy tenues y solo se han podido detectar los restos de las fusiones más recientes. Un estudio encabezado por el IAA-CSIC ha observado en detalle una gran corriente de marea en la galaxia del Sombrero, cuya extraña morfología carece de una explicación definitiva.

La galaxia del Sombrero (o M104) muestra características de los dos tipos de galaxias predominantes en el universo, las espirales y las elípticas. Así, con brazos espirales y un bulbo central muy brillante, la galaxia del Sombrero parece un híbrido de ambas.

“Nuestra motivación para obtener estas imágenes profundas de la galaxia del Sombrero (Messier 104) fue la búsqueda de los restos de su fusión con una galaxia muy masiva. Esta posible colisión fue sugerida recientemente por estudios de la población estelar de su extraño halo obtenidos por el telescopio espacial Hubble”, señala David Martínez-Delgado, investigador Talentía Senior del IAA-CSIC que encabeza el trabajo y que coordina un proyecto para la detección de corrientes de marea estelares que ha mostrado la gran variedad de formas de estas estructuras, desde grandes anillos alrededor de la galaxia a nubes, cascarones o chorros formados por estrellas.

Las observaciones del Hubble mostraron en 2020 que el halo, una extensa y débil región que rodea la galaxia del Sombrero, muestra gran cantidad de estrellas ricas en metales, o elementos



Concepción artística de la corriente de marea de la galaxia del Sombrero (M104). Crédito: Jon Lomberg para el Stellar Tidal Stream Survey.

más pesados que el hidrógeno y el helio. Se trata de un rasgo típico de estrellas de generaciones recientes, que suelen encontrarse en los discos de las galaxias, y muy inusual en los halos de las galaxias, poblados por estrellas viejas. Para explicar su presencia se propuso lo que se conoce

como fusión “húmeda”, un escenario en el que una gran galaxia elíptica se vio rejuvenecida con grandes cantidades de gas y polvo procedentes de otra galaxia masiva, que alimentaron la formación del disco que hoy observamos.

“No hemos encontrado ninguna evidencia en nuestras imágenes que apoye esta hipótesis, aunque no podemos descartar que ocurriera hace varios miles de millones de años y sus escombros se hallen completamente disueltos en la actualidad –indica David Martínez-Delgado (IAA-CSIC)–. En nuestra búsqueda sí hemos podido trazar por primera vez la corriente de marea completa que envuelve el disco de esta galaxia, y nuestras simulaciones teóricas han permitido reconstruir su formación en los últimos tres mil millones de años a partir del canibalismo de una galaxia enana satélite”.

El grupo investigador descarta así que esta gran corriente estelar de marea, conocida desde hace tres décadas, pueda estar relacionada con el evento que produjo la extraña morfología de la galaxia del Sombrero y que, si se tratara de una fusión húmeda, requiere de la intervención de dos galaxias de gran masa.

El EHT localiza el agujero negro central de la galaxia Centaurus A

LA COLABORACIÓN DEL EHT, EN LA QUE PARTICIPA EL IAA-CSIC, MUESTRA CON UN DETALLE ÚNICO EL CORAZÓN DE CENTAURUS A, DESDE DONDE EMERGEN UNOS GIGANTESCOS CHORROS DE MATERIA QUE LE DAN SU APARIENCIA CARACTERÍSTICA

Un equipo internacional, encabezado por la colaboración del Telescopio de Horizontes de Sucesos (EHT), conocida por haber captado la primera imagen de un agujero negro en la galaxia M87, ha difundido imágenes del corazón de la radiogalaxia cercana Centaurus A con un detalle sin precedentes. Centaurus A se encuentra a una distancia cuatro veces menor que M87, de modo que la resolución de las observaciones es cuatro veces mejor y se detectan regiones de tan solo 0.6 días luz. El equipo científico ha determinado la ubicación del agujero negro supermasivo central y revela cómo nace de sus cercanías un gigantesco chorro que muestra una extraña característica: parece emitir radiación solo en los bordes externos, lo que desafía los modelos teóricos.

La galaxia Centaurus A muestra una apariencia sorprendente. En el rango óptico, el que pueden ver nuestros ojos, se observa como una galaxia normal, con una forma alargada y una región central algo más brillante. Sin embargo, si se observa en radio se aprecian dos enormes lóbulos perpendiculares al disco —un chorro bipolar— que emergen del corazón de la galaxia y que la superan en tamaño.

De hecho, Centaurus A es uno de los objetos más grandes y brillantes en radio del cielo nocturno. Tras su identificación como una de las primeras fuentes de radio extragalácticas conocidas en 1949, ha sido estudiada

exhaustivamente por diversos observatorios de radio, infrarrojos, óptico, de rayos X y de rayos gamma. En el centro de Centaurus A se encuentra un agujero negro con una masa de unos 55 millones de soles, que se halla en una escala de masas intermedia entre el agujero negro de Messier 87, con unos seis mil quinientos millones de masas solares, y el del centro de nuestra propia galaxia, con unos cuatro millones de soles.

En un artículo publicado en *Nature Astronomy*, la colaboración EHT difunde observaciones de Centaurus A con un detalle sin precedentes, que permiten ver de cerca cómo nace un chorro gigantesco lanzado por un agujero negro supermasivo.

Las imágenes del EHT permiten visualizar el chorro de Centaurus A con una frecuencia diez veces mayor y una resolución dieciséis veces más nítida que las observaciones realizadas hasta ahora (aun así, observar la sombra del agujero negro en Centaurus A requeriría una resolución unas cuarenta veces mejor). Ahora podemos relacionar las enormes escalas de

estos lóbulos, que equivalen a dieciséis veces el diámetro de la Luna en el cielo, con su origen cerca del agujero negro en una región de apenas el ancho de una manzana en la Luna cuando se proyecta en el cielo: un factor de aumento de mil millones.

OBJETOS DESCONOCIDOS

Los agujeros negros supermasivos que residen en el centro de galaxias como Centaurus A se alimentan de gas y polvo, que son atraídos por su enorme fuerza gravitatoria. Este proceso, que libera grandes cantidades de energía, es lo que determina que una galaxia se clasifique como galaxia activa. La mayor parte de la materia que se halla cerca del borde del agujero negro termina por caer en él, pero parte del material escapa y es expulsado al espacio: así nacen los chorros, una de las estructuras más enigmáticas y energéticas conocidas.

A día de hoy se manejan diferentes modelos sobre el comportamiento de la materia cerca del agujero negro para comprender mejor este proceso, pero aún no se conoce exactamente

cómo se lanzan los chorros desde la región central y cómo pueden extenderse a escalas mayores que las galaxias anfitrionas sin dispersarse. El EHT pretende resolver este misterio.

La nueva imagen muestra que el chorro lanzado por Centaurus A es más brillante en los bordes que en el centro, un fenómeno conocido en otros objetos similares pero que nunca se había visto de forma tan pronunciada. “Por primera vez tras décadas de estudio, el EHT nos revela cómo es posible extraer energía de los agujeros negros para formar estos gigantes chorros de materia que vemos asociados con galaxias que presentan una actividad inusual. Entender por qué los bordes del chorro en Centaurus A brillan mucho más nos permitirá acotar nuestros modelos teóricos”, comenta José Luis Gómez, miembro del Consejo Científico del EHT y líder del grupo del EHT en el IAA-CSIC, del que forman parte también los investigadores Rocco Lico, Guang-Yao Zhao, Antonio Fuentes, Ilje Cho, Thalia Traianou, y Antxon Alberdi.

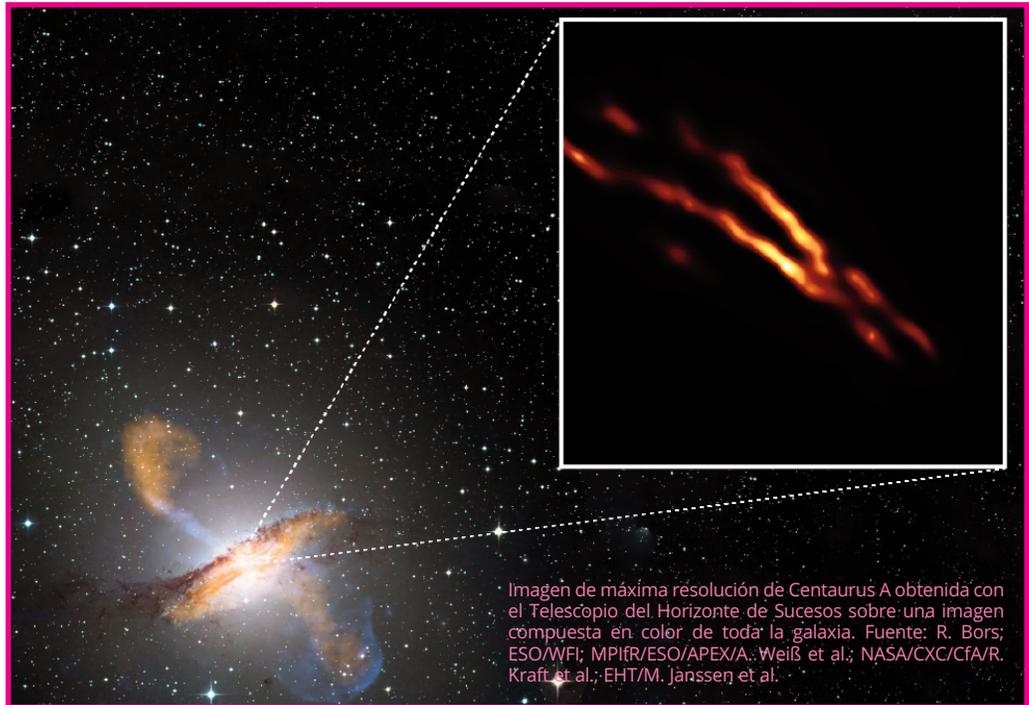


Imagen de máxima resolución de Centaurus A obtenida con el Telescopio del Horizonte de Sucesos sobre una imagen compuesta en color de toda la galaxia. Fuente: R. Bors; ESO/WFI; MPIfR/ESO/APEX/A. Weiß et al.; NASA/CXC/CfA/R. Kraft et al.; EHT/M. Janssen et al.

Cómo pueden afectar los planetas al Sol

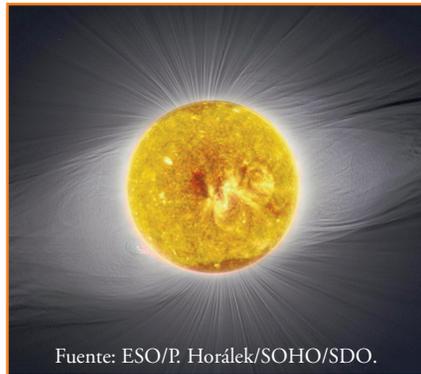
PILARES

En 2012, un trabajo en el que participaba el Instituto de Astrofísica de Andalucía publicó la hipótesis de que los planetas podrían influir en el Sol: se reconstruyó la actividad magnética solar durante los últimos diez mil años analizando la concentración de berilio-10 y carbono-14 en hielos de la Antártida y Groenlandia y se comparó con el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Se hallaron coincidencias que sugerían un vínculo, un resultado opuesto a la convicción generalizada de que la influencia

de los planetas sobre el Sol resulta insignificante. Recientemente se ha publicado una explicación teórica de cómo podría ocurrir, un nuevo modelo que, si se confirma, permitirá predecir con más precisión los fenómenos solares.

Un equipo científico internacional formado por investigadores del IAA-CSIC, de la Universidad de Vigo, del EAWAG de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich (ETH) y de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zúrich (ZHAW) propone una explicación de cómo el pequeño efecto de marea de los planetas podría influir en la actividad magnética del Sol: la resonancia estocástica. Bajo ciertas condiciones, este fenómeno puede amplificar señales débiles, en su mayoría periódicas, hasta el punto de

que produzcan consecuencias significativas. El mecanismo de resonancia estocástica fue propuesto en 1981 para explicar la alternancia entre los periodos glaciales e interglaciales terrestres como consecuencia de la variación de los parámetros orbitales de la Tierra (lo que se conoce como teoría de Milankovitch), y está relacionado con el concepto de biestabilidad.



El Sol presenta un ciclo de once años, a lo largo del que su actividad magnética (que se manifiesta en forma de manchas, explosiones y eyecciones de materia al espacio interplanetario) oscila desde un mínimo hasta un máximo. Pero hay otros ciclos de periodos más largos. “Hemos podido demostrar que el Sol tiene dos estados de actividad estables: un estado activo con gran amplitud y alta actividad solar, y un estado más tranquilo con una pequeña amplitud y menor actividad solar –indica Carlo Albert, inves-

tigador del EAWAG-ETH que participa en el trabajo–. Se trataría de un sistema biestable: suponemos que el Sol salta entre estos dos estados debido a las turbulencias en su interior”. Y, dado que la turbulencia ocurre aleatoriamente, se esperaría que estos cambios ocurrieran de manera completamente irregular e impredecible.

Los datos de medición de la actividad solar sugieren, sin embargo, que el salto de un estado a otro no ocurre al azar, sino que a menudo tiene un ritmo de unos doscientos años. Se trataría de un ciclo superpuesto al de once años, que el trabajo de 2012 atribuía a la influencia de los planetas pero sin explicar cómo cuerpos tan pequeños podían afectar al Sol, cuya masa constituye el 99.86% de todo el Sistema Solar.

En el trabajo se propone una manera de amplificar esa influencia. “Los ingredientes de nuestro modelo son tres: biestabilidad, una señal modulada periódicamente (procedente de la débil fuerza de marea ejercida por los planetas), y ruido en el sistema, originado por la convección turbulenta existente en una zona del Sol que va desde la superficie hasta una profundidad de unos 200.000 kilómetros –indica Antonio Ferriz Mas, investigador del IAA-CSIC y profesor de la Universidad de Vigo que participa en el trabajo–. Hay una intensidad de ruido óptima tal que la débil señal de las fuerzas de marea de los planetas es amplificada lo suficiente como para influir en la generación del campo magnético del Sol”.

INCERTIDUMBRES

En un próximo paso, el equipo estudiará hasta qué punto las observaciones de la actividad solar a lo largo de los últimos siglos se pueden reproducir con este método. Así se confirmaría la teoría y también permitiría dar un paso más: predecir la actividad solar para las próximas décadas y siglos.

Tal predicción sería de gran interés, ya que parece que nos hallamos ante un punto de

inflexión en la actividad solar. Según la hipótesis de 2012, ahora apoyada por este trabajo, el Sol se encuentra al final de una fase activa y dirigiéndose lentamente hacia una más tranquila, y se han observado los primeros signos de que el ciclo de once años se está debilitando.

Estas fases tranquilas se conocen como grandes mínimos, y los datos apuntan a que

el Sol ha experimentado varios a lo largo de los últimos milenios. La última aparición de un gran mínimo, que tuvo lugar aproximadamente entre 1645 y 1715, coincidió con la etapa más intensa de un periodo especialmente frío en gran parte de Europa, conocido como la Pequeña Edad de Hielo (aunque no está demostrado claramente que haya una relación causa efecto entre ambos fenómenos). Pasarán, no obstante, algunos años más antes de que sepamos con certeza si el Sol entrará en un nuevo gran mínimo.

AGENDA



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

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

http://www.iaa.es/lucas_lara



DESTACADOS

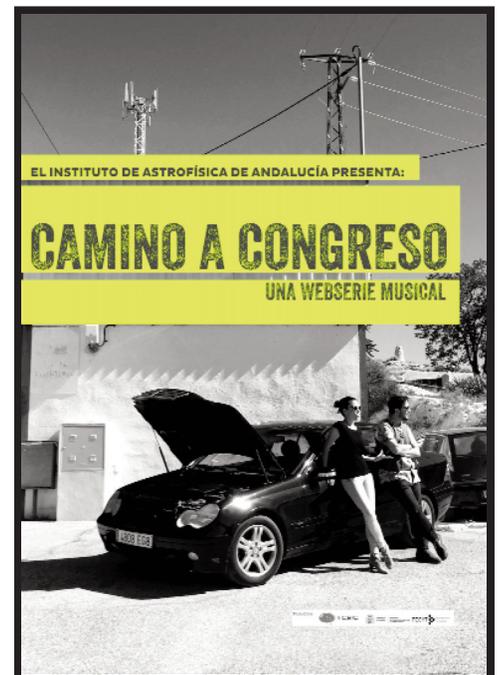


■ ■ ■ CAMINO A CONGRESO. UNA WEBSERIE MUSICAL

“Camino a Congreso” es el nuevo proyecto audiovisual desarrollado por la Unidad de Cultura Científica del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). Se trata de una apuesta por un nuevo formato, la webserie musical, que combina ficción, divulgación y música, y que ha sido posible gracias a la convocatoria de ayudas a la divulgación de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)-Ministerio de Ciencia e Innovación. La serie, cuya trama se desarrolla a lo largo de seis episodios y se difunde en plataformas de vídeo, contará también con estrenos en salas y en eventos de divulgación científica.

La trama de la serie arranca en Granada, en las oficinas del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). Ahí trabajan Inés y Juan, ambos astrónomos, que viven diferentes momentos profesionales y que deben, ambos, afrontar decisiones complejas sobre su futuro profesional. Un congreso en un inhóspito pueblo de Almería, llamado Congreso, marca el comienzo de esta road movie en la que la ficción se entremezcla con la astrofísica, la antropología, la neurobiología, la energía solar o las dificultades de la carrera investigadora, y en la que, en algún momento de cada capítulo, alguien se arranca a cantar.

youtube.com/iaaudc



■ ■ ■ EXPOSICIÓN “ASTRÓNOMAS”

La exposición “AstrónomAs” se centra en las mujeres que han dedicado sus noches y sus días a la astronomía. Su versión digital incluye información de 270 astrónomas que trabajan o han trabajado en una o en varias de las catorce disciplinas en las que se estructura la muestra, y recoge además los más variados acentos de etnias, ámbito geográfico, categoría profesional o diversidad funcional.

La muestra es heredera de la exposición ‘Con A de astrónomas’, que se creó en el marco del Año Internacional de la Astronomía 2009 y que ha recorrido cientos de centros culturales, bibliotecas e institutos de secundaria de toda España a lo largo de la última década. Con esta misma finalidad, “AstrónomAs” cuenta también con una versión física de 16 paneles explicativos que estarán disponibles en castellano, gallego y catalán.

astronomas.org

Olga Muñoz
(España, 1969)
Desvelando el polvo cósmico

Hipatia de Hipatia

Los otros cuerpos que orbitan en torno al Sol forman Venus, la Tierra y Marte, los planetas gigantes formados por planetas enanos menores que los dos tipos anteriores. Finalmente, los cuerpos menores más pequeños,

¿SABES?
El orden del cielo