

IAA

66

FEBRERO DE 2022
revista.iaa.es

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

Búsqueda de exoplanetas



Concepción artística del sistema planetario TRAPPIST.
Fuente: NASA-JPL/Caltech.

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

Nómadas estelares ...	3
Cuatro años del proyecto Severo Ochoa del IAA ...	9
Deconstrucción. Proyecto MASCOT. Primera liberación de datos ...	16
El Moby Dick de ... Azaymi Siu (IAA-CSIC) ...	18
Historias ... Exposición AstrónomAs ...	20
Actualidad ...	21

Las imágenes más detalladas de galaxias gracias a LOFAR, una red de 70.000 antenas

Tras casi una década de trabajo, un equipo científico internacional ha publicado las imágenes más detalladas nunca obtenidas de galaxias, que aportan información sobre su funcionamiento interno con un detalle sin precedentes. Las imágenes fueron creadas a partir de datos recopilados por LOFAR (*Low Frequency Array*), una red de más de setenta mil antenas pequeñas distribuidas a lo largo de Europa. Las imágenes y los resultados científicos asociados se han publicado en un número especial de la revista *Astronomy & Astrophysics*, uno de ellos encabezado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). <https://bit.ly/3gsESAe>

Imagen de Arp-299, en la que se revela un viento del tamaño de la galaxia emergiendo de una enorme factoría de estrellas. Crédito: N. Ramírez-Olivencia et al. [radio]; NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University), editada por R. Cumming [optical].

Nómadas estelares

UN RELATO CÓSMICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LA BÚSQUEDA DE EXOPLANETAS

Lucía Casas (Ayudas CSIC-FBBVA de Comunicación Científica)

Christian McCandless nació en California en el año de la revolución de la contracultura estadounidense: 1968, un adelanto de lo que sería su modo de vida en el futuro. Chris se crió en un barrio de clase media alta de Virginia. Su padre trabajaba en la NASA y su madre ejercía como secretaria de este. Su hermana, Carine, fue siempre su ancla y máxima confidente. Su infancia cruda y repleta de discusiones domésti-

cas le llevaría a desarrollar una actitud escapista. Chris se refugiaba en sus libros para evitar sentir que su existencia no había sido deseada por un padre que había tenido dos hijos en un antiguo matrimonio que continuaba siendo legal en el momento en que Chris y Carine nacieron. La compañía de algunos autores como Jack London y Henry Thoreau le hizo desarrollar un fuerte idealismo, y por ello decidió estudiar historia y antropología en la Universidad de Emory (Atlanta). Al finalizar sus estudios, Chris decidió que había llegado el momento de revelarse en contra de la sociedad occidentalizada y alejada de la naturaleza emancipándose de sus padres. Su hermana Carine fue la única persona con quien contó Chris en aquella transición, a la que él mismo denominaba como “su propio nacimiento”. Donó el dinero que quedaba de su fondo universitario a Oxfam y, sin mayor compañía que unos pocos libros, recorrió Estados Unidos durante dos años con lo mínimo para poder vivir. Se pre-

paraba, así, para adentrarse en lo que él llamaba “su gran aventura”: Alaska.

1. NACIMIENTO [EL MOMENTO EUREKA]

“Nada es más perjudicial para el espíritu aventurero de un hombre que un futuro seguro. El núcleo básico del espíritu del alma humana es su pasión por la aventura. La dicha de vivir proviene de nuestros encuentros con experiencias nuevas y de ahí que no haya mayor dicha que vivir con unos horizontes que cambian sin cesar, con un sol que es nuevo y distinto cada día”.

(CHRIS MCCANDLESS EN UNA CARTA A SU AMIGO RON FRANZ, 1992)

Como nómadas, comenzamos recorriendo la Tierra que otros antes pisaron, pero pronto surgió en nosotros la necesidad de explorar nuevos perímetros y nuevos mundos. En el período presocrático (siglo VII a.C.), los filósofos naturalistas ya mostraban interés por tratar de entender la naturaleza a través de la observación. Muchos de estos filósofos llegaron a conjeturar sobre otros mundos habitables, parecidos en colores y formas... si el universo era infinito, era una cuestión de probabilidad acabar encontrando planetas más allá del Sistema Solar donde podría haber surgido la vida.

Como el primer día en la Tierra

Se considera como primer hallazgo de un planeta fuera de nuestro Sistema Solar al descubrimiento de Aleksander Wolszczan y Dale Andrew Frail. En 1992, mientras trabajaban en el radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico), los astrónomos observaron un sistema formado por tres planetas orbitando el púlsar PSR 1257+12, conocido popularmente como Lich. Lich es una estrella de neutrones localizada en la constelación de Virgo, a 980 años luz de la Tierra. Orbitando el púlsar se encuen-



Interpretación artística del sistema exoplanetario cuádruple Kepler 64-b. / NASA

¿Cuántos tipos de exoplanetas conocemos?



De 0.5 a 2 masas terrestres



Planetas terrestres

De 50 masas terrestres a aproximadamente
12 veces la masa de Júpiter

Planetas jovianos

De 2 a 10 masas terrestres

Supertierras



Minineptunos

De 10 a 50 masas terrestres



Neptunianos



Júpiteres calientes



Lucía Casas Piñero, IAA-CSIC

Clasificación de exoplanetas atendiendo a su masa mínima.

tran Draugr (cincuenta veces más pequeño que Tierra), Poltergeist y Phobetor, ambos con una masa equivalente a la de Urano. En 1994, veinte siglos después de que Lucrecio se plantease la existencia de planetas fuera del Sistema Solar, se confirmaba la propuesta de Wolszczan y Frail.

Pese a que estos tres cuerpos fueron los primeros exoplanetas detectados, a menudo la fama de este hito de la astrofísica se atribuye a los astrónomos Michel Mayor y Didier Queloz, quienes publicaban en noviembre de 1995 su estudio sobre el descubrimiento del primer planeta que orbitaba alrededor de una estrella similar al Sol; no fue el primer exoplaneta, pero sí se trataba del primer sistema estrella-planeta. El descubrimiento de 51 Pegasi b (conocido como Dimidio) les llevaría a ganar un Premio Nobel de Física en 2019 junto a James Peebles.

Todos los pueblos de la prehistoria fueron nómadas alguna vez. Algunos se asentaron gracias al desarrollo de la agricultura y la ganadería; otros jamás dejaron de serlo. Les guiaba la experiencia, unida a su intuición, con el firme propósito de encontrar plantas y bayas comestibles y dar caza a animales salvajes. Para muchos, nuestra época de cazadores recolectores parece haber

quedado muy atrás en el tiempo, pero lo cierto es que sigue en nosotros esa atracción hacia el nomadismo, al viaje como forma de vida. Hemos pasado de la caza de animales a la caza de exoplanetas y, nuevamente alentados por nuestra experiencia, nos proponemos dar con planetas similares a lo que ya conocemos. Para ello, necesitamos saber qué estamos buscando y cómo dar con las pistas que nos lleven hacia ese nuevo viaje. Al igual que Chris, somos viajeros cuyo hogar es el camino.

2. JUVENTUD [SIGUIENDO LAS HUELLAS DE LA NOCHE]

“Los grandes logros y principios son muy difíciles de apreciar. Dudamos de su existencia con facilidad. Pronto los olvidamos. Pero son la más elevada de las realidades. [...] La auténtica cosecha de la vida cotidiana es tan intangible e indescriptible como los matices de la mañana o la noche. Es como atrapar un poco de polvo de las estrellas o asir el fragmento de un arco iris”.

PASAJE SUBRAYADO EN UNO DE LOS LIBROS DE CHRIS, “WALDEN O LA VIDA EN LOS BOSQUES”, DE HENRY DAVID THOREAU

En la antigüedad, los planetas eran considerados vagabundos del cielo nocturno. Estos cuerpos errantes atravesaban la esfera celeste cada noche sin seguir una trayectoria predecible para el modelo ptolemaico, que situaba a la Tierra como centro del universo. Con el tiempo hemos ido comprendiendo mejor y perfeccionando nuestra definición de planeta: un nómada debe saber interpretar las huellas del animal al que quiere dar caza.

A finales de octubre de 2021, según el catálogo de exoplanetas de la Unión Europea, hay detectados 4860 exoplanetas en más de 3500 sistemas planetarios, 800 de ellos sistemas con varios planetas. Según la NASA, 1.535 son planetas neptunianos; otros 1.443 son gigantes gaseosos y 1389 son supertierras. Por el momento solo hemos detectado 166 planetas del tamaño de la Tierra, pero a medida que la tecnología alcanza una mayor sensibilidad seremos capaces de explorar con mayor éxito el universo en busca de exoplanetas tan pequeños. Ya ha ocurrido antes: para hacernos una idea de lo que supone el avance de la tecnología a la hora de detectar posibles tierras solo debemos mirar al pasado. En el año 2000 fueron descubiertos 16 exoplanetas. En 2021

se han detectado más de 200.

Cómo perseguir un rastro

Al igual que los cazadores-recolectores, los astrónomos también pueden recurrir a diferentes técnicas para dar caza a su objetivo. Podemos detectar exoplanetas de manera directa o estudiando las variaciones que se producen en una estrella cuando un objeto o varios cuerpos orbitan a su alrededor. A día de hoy, los métodos más efectivos para lograr esto son los tránsitos y las mediciones de la velocidad radial.

Tránsito exoplanetario

Un tránsito ocurre cuando un planeta se interpone entre su estrella y un observador externo. En realidad, un tránsito tan solo es un pequeño eclipse. Se puede detectar un exoplaneta mediante la técnica de fotometría, es decir, gracias al estudio de la medida de la luz, ya que cuando un planeta se interpone entre nosotros y su estrella dejamos de recibir la totalidad de la luz aparente emitida por el astro. De este modo, podemos conocer ciertos aspectos del exoplaneta, principalmente su tamaño o volumen: a mayor radio, más luz dejaremos de recibir momentáneamente. Para poder detectar un exoplaneta mediante tránsito es imprescindible que tanto la estrella como sus planetas se encuentren en la misma línea de observación de la Tierra. De manera contraria, no podríamos medir la disminución del brillo aparente. Se necesitan aparatos altamente sensibles para poder cuantificar alteraciones tan pequeñas en el brillo de un astro: por eso, cuanto más grande sea el exoplaneta y más cerca de su estrella orbite, más pronunciada será la curva de brillo aparente.

La detección de exoplanetas mediante el estudio de tránsitos presenta ventajas e inconvenientes. Una ventaja es que permite (mediante espectroscopía) identificar la composición de la atmósfera de un planeta gracias a la absorción de radiación de la luz del astro por parte de los elementos de la atmósfera, emitiendo patrones muy característicos en la frecuencia espectral de su estrella. Algo similar ocurre en la Tierra cuando el ozono absorbe totalmente los rayos ultravioleta más dañinos (UV-C). El principal inconveniente es que solo podemos detectar aquellos sistemas donde el tránsito del planeta se produce en el mismo eje de la Tierra, de modo

que nuestra capacidad de detección es limitada.

Medición de la velocidad radial

Otra técnica exitosa a la hora de detectar exoplanetas es la medición de velocidades radiales, basada en el análisis del efecto doppler. Cuando un objeto se aleja de nosotros, las ondas que se desplazan transportando la energía que recibimos de él a una frecuencia determinada se desplazan a longitudes de onda más largas y menos energéticas, algo que se aprecia como un “corrimiento” al color rojo. Por el contrario, cuando el objeto se acerca las ondas se transportan a longitudes de onda más cortas y con un tono más azulado. Esta variación es muy sutil, y tan solo un espectrómetro es capaz de captar este efecto cuando se trata de estrellas tan alejadas de nosotros.

¿Qué tiene que ver el efecto doppler con los exoplanetas? Bueno, cuando un planeta orbita alrededor de una estrella no solo esta lo atrae; el planeta ejerce también un tirón gravitatorio, mientras ambos se mueven alrededor del centro de masas de su sistema. La técnica de velocidad radial mide este desplazamiento producido por esa atracción, algo que se observa como el corrimiento al rojo (cuando la estrella se aleja del observador) y como un cambio hacia el azul cuando el astro se acerca de nuevo. Esta técnica ofrece resultados muy precisos sobre la masa del planeta

o planetas que orbitan una estrella, aunque presenta una dificultad: cuando estudiamos sistemas donde la estrella es muy masiva o el planeta muy pequeño, la variación de la velocidad radial es tan mínima que es muy complicado detectar realmente la presencia de un exoplaneta.

Latidos estelares

A la búsqueda de otros planetas se une otro campo de investigación científica, la asterosismología o astrosismología. La astrosismología estudia las pulsaciones estelares, los “latidos” de las estrellas, tal como comenta Cristina Rodríguez, investigadora del Departamento de Física Estelar del IAA-CSIC. Según indica Rodríguez, “tanto para buscar exoplanetas como para comprender estas pulsaciones necesitas estudiar series temporales. Esa es la sinergia que existe entre estas dos disciplinas”.

En astrosismología las estrellas se entienden como cavidades resonantes. Dentro de ellas, el movimiento del plasma (gas cargado eléctricamente) genera ondas sonoras que se propagan a través de sus diferentes capas, deformando su superficie y alterando de forma local su brillo y temperatura. En el caso del Sol, sabemos que se producen oscilaciones del orden de cinco a diez o doce minutos debidas a una excitación estocástica, es decir, aleatoria: “es como si tú tuvieses un tambor que

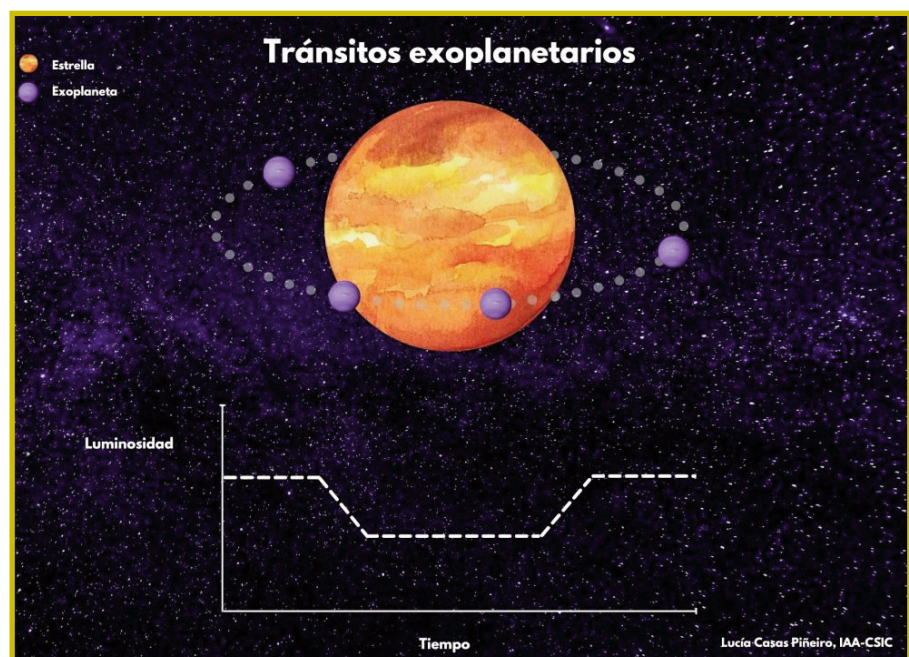


Ilustración que recrea un tránsito planetario y la disminución del brillo aparente recibido del astro.

estás redoblando de una manera completamente anárquica, pero dentro de ese desorden de repente aparece cierto patrón”, explica Rafael Garrido, investigador del IAA-CSIC. Las ondas que se generan en el interior de la estrella rebotan en su superficie y vuelven al interior, generándose un fenómeno que podría recordar a los terremotos en la Tierra.

En otros casos, las oscilaciones se generan por ciertos fenómenos físicos y termodinámicos: “La estrella puede cambiar de brillo de forma periódica, y estas regularidades son algo intrínseco de la estrella”, dice Rodríguez. El hecho de que una estrella sea pulsante (no se han medido pulsaciones en todas las estrellas) te permite acceder a su interior y ver qué estructura interna tiene de la misma forma en que, en la Tierra, estudiamos las capas del planeta. La sismología es una de las pocas formas de acceder donde otros instrumentos no llegan: mediante la observación directa podemos saber la temperatura de la superficie o cuál es su gravedad superficial... “pero el interior tiene que estudiarse a través del sondeo deducido de las oscilaciones que tiene esa estrella”, puntualiza Garrido.

Señales similares

La razón que se esconde tras la unión de ciencia exoplanetaria y astrosismología es vital para avanzar en la caracterización de planetas. “Además de alterar el brillo de la estrella, -comenta Rodríguez- las pulsaciones afectan a su velocidad radial”. Para poder detectar con seguridad un exoplaneta nuestro instrumento debe comprender bien el comportamiento de los distintos tipos de estrellas que existen y sus pulsaciones, resume Rodríguez, ya que “las técnicas más efectivas para caracterizar estos planetas, los tránsitos y la velocidad radial, son métodos indirectos basados en el efecto que el planeta causa sobre su estrella”. Sin saber si una estrella es pulsante podríamos estar confundiendo una oscilación estelar con la disminución de la curva de luz típica del tránsito de un planeta, así como una causa incorrecta para la variación observada en su velocidad radial.

3. VIDA ADULTA [NO HAY RETORNO PARA EL VIAJERO]

“Prefiero una silla de montar antes que un tranvía, el cielo estrellado antes que un techo, la senda oscura y

difícil que conduce a lo desconocido antes que una carretera de asfalto, y la profunda paz de la naturaleza antes que el descontento que alimentan las ciudades [...]. Creo que nunca podré echar raíces. A estas alturas he buceado tanto en las profundidades de la vida, que preferiría cualquier cosa antes que tener que conformarme con una existencia sin emociones”

*PASAJE DE LA ÚLTIMA CARTA QUE
EVERETT RUESS -VIAJERO
ESTÉTICO E ÍDOLO DE CHRIS-,
ENVIÓ A SU HERMANO WALDO,
1934*

En Alemania y Gran Bretaña se han encontrado lanzas de madera con hasta cuatrocientos mil años de antigüedad. Los neandertales ya utilizaban utensilios contruidos gracias a su ingenio para dar caza a sus presas: hachas de mano, tajadores para abrir huesos, puntas de lanza... El homo sapiens destacó por sus diseños sofisticados, como los arpones o agujeros fabricados a partir de huesos de animales. De nada sirve seguir un rastro si no tienes con qué atacar ni defenderte.

Puntas de lanza para atravesar el espacio

El homo sapiens ha diseñado muchos instrumentos capaces de observar el cielo con una resolución asombrosa. Durante décadas el Telescopio Espacial Hubble nos ha regalado icónicas imágenes que nos ayudan a conocer mejor

nuestro sistema estelar y el universo: los pilares de la creación, el centro de la Vía Láctea, nebulosas que superan con creces lo que nuestra imaginación pueda crear... pero Hubble también ha participado activamente en la búsqueda de exoplanetas, al igual que otros telescopios que originalmente no fueron diseñados para cumplir esta tarea de búsqueda y caracterización. Spitzer o Gaia son la muestra perfecta de cómo un instrumento puede aportar datos esenciales para una rama de la investigación científica aún sin ser ese su cometido. Se espera que en diciembre de 2021 finalmente se produzca el lanzamiento del *James Webb Space Telescope* (JWST) para sustituir al emblemático Hubble. La sensibilidad de James Webb nos aportará nueva información sobre sistemas estelares y exoplanetas.

La ciencia exoplanetaria en España

CoRoT (*Convention Rotation et Transits planétaires*) fue la primera misión dedicada exclusivamente a la detección de exoplanetas. Fue aprobada y liderada por la Agencia Espacial Francesa (CNES) y la Agencia Espacial Europea (ESA), además de otros colaboradores internacionales, entre los cuales se encontraba el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). En 2006, el satélite -que medía más de cuatro metros y portaba trescientos kilos de carga útil- fue lanzado desde el cosmódromo de Baikonur (Kazajistán), la base espacial más antigua del mundo.

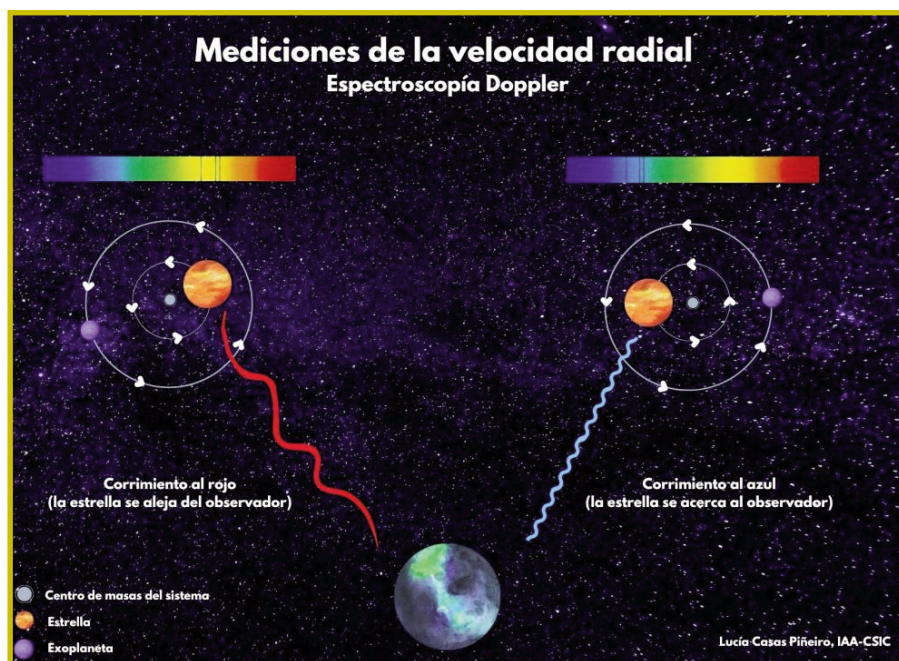
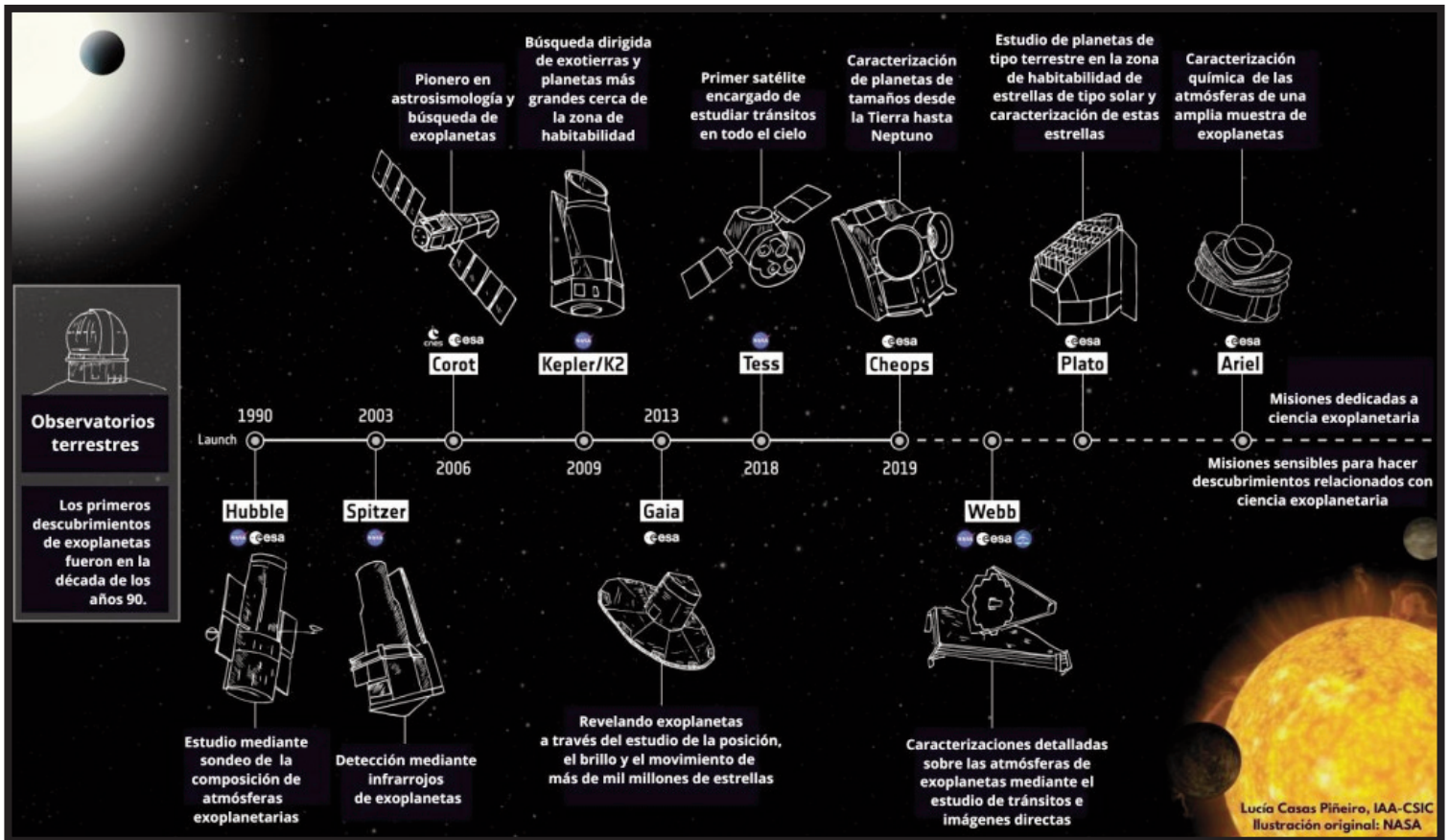


Ilustración que recrea un tránsito planetario y la disminución del brillo aparente recibido del astro.



Historia de la exploración espacial encaminada a la búsqueda de exoplanetas.

CoRoT se basaba en un telescopio de veintisiete centímetros de diámetro compuesto por cuatro cámaras CCD, encargadas de capturar la luz de una estrella y monitorizar su brillo. Cuando la curva de luz que recibía CoRoT de la estrella se reducía ligeramente esto podía deberse o bien a la propia actividad de la estrella o a la existencia de un tránsito exoplanetario.

Otro de los instrumentos que sin duda nos permitirá “cazar” más exoplanetas será el satélite de PLATO (Planetary Transits and Oscillations of stars), una misión de la ESA cuyo lanzamiento está previsto para 2026. PLATO, que también utilizará la técnica de los tránsitos exoplanetarios, se centrará en la detección y caracterización de exoplanetas de tipo rocoso alrededor de estrellas similares al Sol (enanas amarillas), estrellas subgigantes (menores que las gigantes pero con más luminosidad que las enanas de secuencia principal) y enanas rojas o estrellas de tipo M.

La finalidad de una misión como PLATO es estudiar exoplanetas con condiciones parecidas a la Tierra y que se encuentren dentro de la zona de habitabilidad de su estrella, un requisito para que pueda existir en el planeta agua en estado líquido. Además, PLATO observará también las oscila-

ciones de las estrellas que se encuentren en los sistemas planetarios que se detecten, lo cual nos brindará una información muy valiosa para conocer mejor estas variaciones y poder discriminar mejor si las señales que recibimos se deben a la existencia de un exoplaneta o a la actividad de una estrella.

En el caso de PLATO, el IAA-CSIC es responsable del desarrollo científico y la construcción de todas las unidades centrales electrónicas para todos los modelos de hardware de la misión. Estos dispositivos estarán conectados a una serie de sensores que tomarán las mediciones realizadas por el telescopio de PLATO. Este telescopio, formado por veintiséis telescopios de veinte centímetros de diámetro que actuarán como uno de un metro, cubrirán un campo de visión diez mil veces más grande que el área de la Luna llena, lo cual supone un auténtico reto tecnológico y científico. En palabras de Garrido, “PLATO cogerá una fracción muy grande del cielo, y eso es lo que lo diferencia de otros telescopios como Kepler o TESS. Otra de las novedades es que se centrará en estrellas menos luminosas que el Sol, lo cual añade dificultad al trabajo: si quieres observar con un nivel muy alto de precisión por un lado necesitarás tener un espejo muy grande donde pue-

dan caer muchos fotones. Sin embargo, si tu telescopio tiene un diámetro muy grande el campo de observación se te reduce mucho y solo podrás centrarte en una estrella. ¿Cuál puede ser la solución a tal problema? Construir una bancada de telescopios para poder observar muchas estrellas y que al mismo tiempo recibas mucha luz, muchos fotones”.

Las nuevas generaciones de telescopios, cada vez más grandes y sensibles, quizás nos muestren el universo como todavía no lo hemos visto...

“La ciencia avanza de una manera inesperada. En este caso también, el descubrimiento de los exoplanetas fue pura serendipia, no estaba previsto, pero cuando haces un instrumento muy potente siempre esperas que se produzcan descubrimientos con los que no contabas. La combinación de PLATO (en fotometría) y de los nuevos telescopios como el ELT (*Extremely Large Telescope*) será fundamental. Cuando PLATO obtenga datos sobre un exoplaneta le podrá enviar toda esa información al ELT. Le podrá decir a qué objeto apuntar y en qué momento: de ahí se obtendrán trabajos que formarán parte del siguiente paso que estamos dando los astrofísicos, que es saber si existe vida en el universo”, destaca Garrido.

4. OBTENCIÓN DE LA SABIDURÍA [QUÉ NOS DIRÁ EL CIELO DE MAÑANA]

“LA FELICIDAD SOLO ES REAL CUANDO ES COMPARTIDA”

CHRIS MCCANDLESS, ANOTACIÓN EN UNO DE SUS LIBROS TRES SEMANAS ANTES DE MORIR

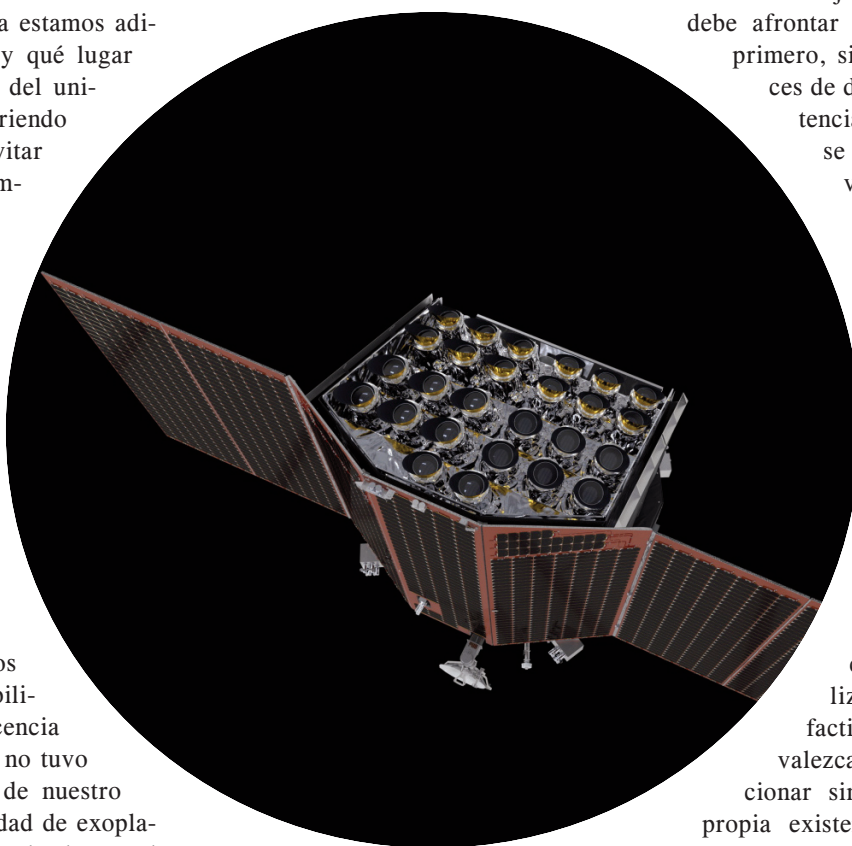
Todos los pueblos de la prehistoria fueron nómadas alguna vez. Durante siglos la humanidad se ha enfrentado a los retos más básicos de la supervivencia, pero también ha desarrollado una cultura que se comparte y crece con el tiempo. En lo que a ciencia exoplanetaria se refiere, nos encontramos aún en la prehistoria; todavía estamos adivinando quiénes somos y qué lugar ocupamos en la historia del universo. Estamos descubriendo el fuego y no podemos evitar maravillarnos con su lumbr.

Hasta hace prácticamente dos décadas desconocíamos que existían otros planetas fuera del Sistema Solar. Del mismo modo que Chris comenzó a vivir el día que se emancipó de sus padres, la humanidad nació envuelta en una nueva realidad al saber que existen, ahí fuera, otros mundos llenos de posibilidades. Nuestra adolescencia como nómadas estelares no tuvo nada que envidiar a la de nuestro viajero estético: la cantidad de exoplanetas que hemos detectado hasta el momento resulta abrumadora. Si la ecuación de Drake, utilizada para estimar la cantidad de civilizaciones que podrían albergarse en la Vía Láctea, es cierta, es tentador hacerse la gran pregunta que ocupó al Nobel de Física Enrico Fermi en una abarrotada cafetería en una tarde cualquiera: ¿Dónde está todo el mundo?

Pero, aunque la adolescencia pueda parecer eterna, siempre llega el ocaso de la adultez, y con ella la necesidad de afrontar las decisiones de manera racional. Desarrollamos instrumentos capaces de transportarnos a estos mundos. Inventamos técnicas capaces de

traducir magnitudes en probabilidades y encontramos patrones y pistas que nos acercaban cada vez más a aquellos puntos en el firmamento. La ciencia nos hizo soñar y, como nómadas, sentimos el impulso de lanzarnos a conocer esos pálidos centelleos en la noche con la esperanza de encontrar, por qué no, alguien o algo que nos confirme que somos un punto pálido más. Que la vida, aun siendo extraordinaria, no es casual ni mucho menos un “encuentro fortuito”.

La imaginación es un arma poderosa, y conviene utilizarla con cautela. A día de hoy los instrumentos que nos permiten detectar exoplanetas tienen una



limitación técnica que nos limita considerablemente. Somos capaces de analizar las atmósferas de planetas gigantes gaseosos, pero todavía no podemos analizar con precisión las de aquellos planetas que se identifican más con el tamaño de la Tierra. Las nuevas misiones de detección de exoplanetas como ARIEL serán nuestras puntas de lanza más sofisticadas. Con ellas esperamos poder analizar los componentes químicos de un planeta en busca de biomarcadores que sugieran la existencia de vida.

Camilla Danielski, investigadora del

Instituto de Astrofísica de Andalucía IAA-CSIC, resume: “Para saber si un planeta es o no habitable primero necesitamos saber si tiene una atmósfera. Que un planeta se encuentre dentro de la zona de habitabilidad no quiere decir que sea habitable; todo dependerá del tipo de formación que haya tenido el planeta y de la evolución que haya tenido su atmósfera dentro de todo ese proceso. Los estudios de atmósferas no son algo tan novedoso; lo que sí es novedoso es que seamos capaces de caracterizar atmósferas de pequeños planetas, ya que antes solo podíamos hacerlo con los planetas gigantes que, desde el punto de vista de la Tierra, no son habitables”.

En nuestro viaje estelar, la humanidad debe afrontar dos grandes retos: el primero, sin duda, será ser capaces de detectar la posible existencia de vida. A este reto se suma una cantidad de variables vertiginosas que no dependen de nosotros. ¿Es posible que surja vida de la misma forma en que se ha originado en nuestro planeta? De ser así, ¿se encuentra en un nivel de desarrollo tecnológico similar al nuestro, de modo que exista una posible vía de comunicación entre las dos civilizaciones? ¿Cómo de factible es que la vida prevalezca y sea capaz de evolucionar sin poner en riesgo su propia existencia? El investigador del Centro de Astrobiología del CSIC (CAB-INTA) Carlos Briones se considera partidario de pensar que la vida siempre encuentra la manera de adaptarse: “La vida, como tú bien dices, es muy resiliente, muy tozuda. Se adapta, se abre camino, y la evolución por selección natural te ayuda a sobrevivir en entornos increíbles y resistiendo rangos muy amplios de las variables fisicoquímicas”.

Una vez superada esta primera barrera -propia y externa-, todavía debemos enfrentarnos a un desafío complejo y difícil de encajar como nómadas universales: ¿Estaremos a la altura de nuestros predecesores?

Cuatro años del proyecto Severo Ochoa del IAA

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

Isabel Márquez
(dirección científica del proyecto Severo Ochoa-IAA)

El virus y sus mutaciones siguen como poco entorpeciendo nuestro trabajo diario. Tuvimos algún conato de aproximación a retomar la actividad presencial en toda su extensión, que no llegó muy lejos, pero nos permitió encontrarnos, mascarilla mediante, antes del descanso estival, y en la jornada de recapitulación de 2021. El azote de la omicrón y la sexta ola de fin de año nos pone de nuevo el aislamiento discrecional como plato del día... Pantalla, pantalla, pantalla.

Tras un nuevo solsticio de invierno inaugurado en formato bastante diferente al de antes, volvemos con energías renovadas, como corresponde al comienzo de un nuevo año. En 2022 se cumplirán los cuatro años de nuestro programa de excelencia Severo Ochoa. Corresponde de nuevo presentar a las personas incorporadas al SO-IAA en el último año, o poco más. Se trata de



seis investigadoras e investigadores postdoctorales cuyas contribuciones son parte fundamental de nuestro proyecto estratégico. Su investigación abarca el estudio de los cuerpos menores del Sistema Solar y la caracterización de sistemas planetarios, las atmósferas de planetas tipo Júpiter ultracalientes, la astrofísica de objetos emisores en rayos gamma de muy alta energía con telescopios cherenkov, la física de agujeros negros y jets relativistas con el Telescopio del Horizonte de

Sucesos (EHT), la detección y caracterización de galaxias con líneas de emisión extremas y la aplicación del aprendizaje automático para la detección y caracterización de fuentes galácticas y extragalácticas en grandes cartografiados. El proyecto Severo Ochoa del Instituto de Astrofísica de Andalucía es, sin duda, una herramienta fundamental para atraer y retener a estas personas de talento joven e internacional, e integrarlas en todas las facetas de nuestra investigación.

Álvaro Álvarez-Candal

LOS CUERPOS PEQUEÑOS Y PRÍSTINOS DEL SISTEMA SOLAR

Soy licenciado en astronomía por la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina) y doctor en astronomía por el Observatorio Nacional de Río de Janeiro (Brasil), donde me gradué a finales de 2006. Después de graduarme realicé estancias postdoctorales en Francia y en Chile (incluyendo una estancia de un año aquí, en el IAA, en 2012). Luego volví a Brasil donde estuve desde 2014 a 2019. En 2020 retorné a España, primero con un contrato en la Universidad de Alicante y luego en el IAA, con un contrato Severo Ochoa. Toda mi carrera profesional la he dedicado, principalmente, al estudio de los pequeños cuerpos del Sistema Solar, desde asteroides hasta objetos transneptunianos, usando técnicas observacionales como la fotometría y la espectroscopía en el rango

por los objetos más primitivos identificados. Estos objetos nos permiten “trazar” los procesos evolutivos que afectan a las superficies y, con un poco de fortuna, reconocer cómo era el Sistema Solar original.

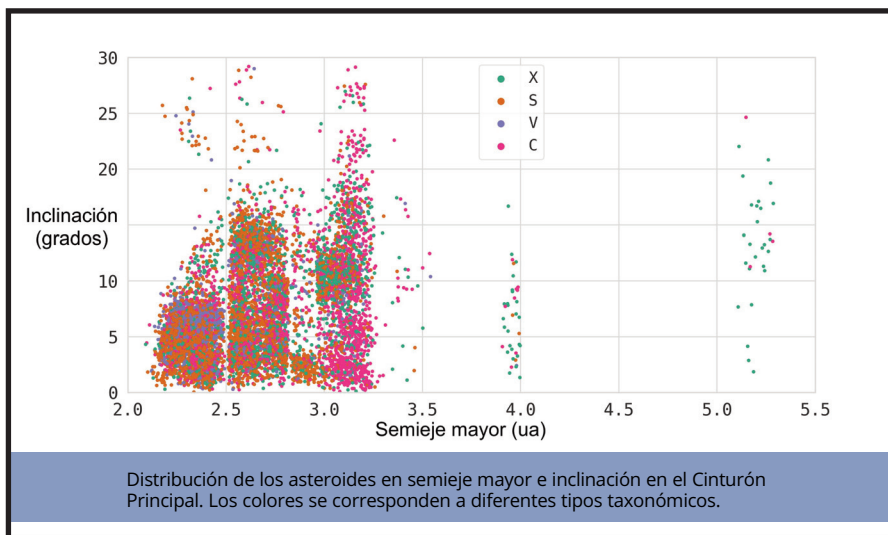
En particular, mi proyecto de investigación Severo Ochoa incluye aspectos a los que ya me he dedicado en el pasado, como el análisis de propiedades fotométricas de asteroides, pero incluyendo herramientas que no había utilizado hasta ahora, como la minería de grandes bases de datos y métodos estadísticos para la interpretación de los resultados. En resumidas palabras: quiero utilizar los colores de los objetos para tener una idea de la posible composición superficial de los objetos. La novedad de lo que propongo reside en utilizar datos



zando la base de datos del cartografiado digital SLOAN para obtener magnitudes absolutas de unos quince mil objetos (Álvarez-Candal et al. 2022, A&A, 657, A80). Usando esos resultados hemos obtenido la clasificación taxonómica de unos nueve mil objetos (Colazo, Álvarez-Candal, Duffard, 2022, en preparación), preparando el camino y las herramientas para otros grandes cartografiados que llegarán en el futuro próximo, como J-PAS, EUCLID o LSST, entre muchos otros.

Con vistas al futuro, quisiera continuar desarrollando herramientas para su uso en grandes bases de datos y aplicarlas a esas bases para extraer información que pueda ayudarnos a tener un panorama completo y sin sesgos (o minimizando su impacto) del Sistema Solar. Esta información será usada como punto de partida para el estudio de su formación y evolución, así como para establecer vínculos con sistemas planetarios extrasolares.

Pero no solo motivos profesionales, también personales, hicieron interesarme por retornar al IAA y a Granada, que es una ciudad fascinante donde, al atravesar la primera capa de *malafollá*, uno se encuentra con gente muy amable y cálida, y en la que vale la pena perderse por las callejuelas del centro histórico, o dejarse las pantorrillas para subir a la Alhambra, o a los muchos miradores, y deleitarse con las vistas. Confieso que me gustaría que estos, Granada y el IAA, fuesen los lugares donde me quede definitivamente.



del visible y el infrarrojo próximo. Además de esto, he colaborado también en trabajos sobre estrellas u objetos extragalácticos donde pude aportar, sobre todo, algún conocimiento observacional.

Los pequeños cuerpos son extremadamente interesantes en la cosmogonía de la formación del Sistema Solar: mientras que los planetas, ya sean gigantes o no, han sufrido procesos físicoquímicos que modificaron el material del que se formaron (se diferenciaron), los pequeños cuerpos se han mantenido relativamente inalterados, especialmente un subconjunto formado

en varias longitudes de onda y corregir todos los efectos geométricos que afectan a las observaciones, para obtener las llamadas magnitudes absolutas y de esta forma eliminar ambigüedades presentes en muchos trabajos que son referencia para la comunidad. Una vez disponga de una distribución de colores bien caracterizada, propongo utilizar resultados de modelos de evolución de superficies y dinámicos para tener una idea sobre la procedencia de los objetos que observamos actualmente en el Sistema Solar. En esta línea, recientemente publiqué un artículo utili-

Giacomo Bonnoli

LOS BLÁZARES, LAS FUENTES DE EMISIÓN CONTINUA MÁS INTENSAS OBSERVADAS

Los blázares se encuentran entre las rarezas más fascinantes del universo. Estas fuentes, los “motores” persistentes más potentes observados en la naturaleza, residen en el núcleo de algunas galaxias especiales y pueden considerarse aceleradores naturales de partículas, capaces de acelerar electrones y protones hasta energías inconcebibles para laboratorios terrestres como el Gran Colisionador de Hadrones del CERN.

Todas las galaxias albergan en su núcleo un gigantesco agujero negro con la masa de millones o miles de millones de soles. En una fracción de ellas, el agujero negro interactúa gravitacionalmente con la materia que se encuentra en su proximidad. Una intensa radiación electromagnética se origina en la caída, a través del horizonte de sucesos del agujero negro, del gas que gira alrededor del agujero negro en forma de disco. Este fenómeno irradia continuamente una potencia increíble, comparable o mayor que la suma de los miles de millones de estrellas que constituyen la propia galaxia.

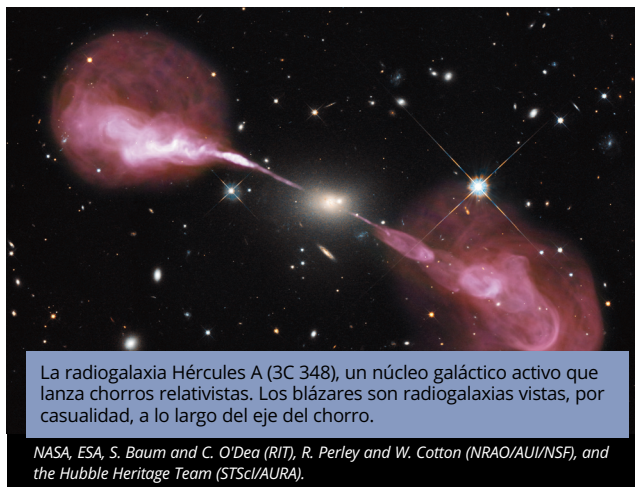
En una fracción de estos núcleos activos de galaxias también se originan un par de chorros relativistas de plasma que se lanzan en direcciones opuestas. En el chorro, los electrones y protones libres son acelerados a velocidades próximas a la de la luz, y los propios chorros son colimados por una compleja interacción del campo magnético y el propio plasma. Los chorros emiten una enorme energía en todas las longitudes de onda, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma.

Los chorros están orientados aleatoriamente en el espacio, pero cuando apuntan en dirección a la Tierra observamos los blázares. En este caso, los flujos que medimos están muy amplificados por efectos relativistas que nos ayudan a estudiar estos fantásticos motores, que pueden brillar miles de veces más que su galaxia anfitriona. Los blázares son fuentes asombrosamente variables, y pueden variar su flujo de forma impredecible (¡hasta factores de miles!). En rayos gamma los flujos pueden variar significativamente en escalas de pocos minutos. Esta variabili-

dad es un recurso clave para comprender mejor estas fuentes y los detalles de los procesos físicos implicados en su evolución, aún en debate.

Desde hace años, una de mis actividades clave se centra en la planificación, realización e interpretación de campañas de observación de blázares con telescopios de radio, óptico, de rayos X y gamma que observan el mismo blázar de forma coordinada. He dirigido muchas campañas de observación de blázares con MAGIC, un sistema de dos telescopios de diecisiete metros situados en las Islas Canarias capaces, mediante una técnica especial y muy fructífera llamada *Imaging Atmospheric Cherenkov*, de detectar los rayos gamma emitidos por varios tipos de fuentes, como los blázares.

En 2020 solicité un puesto postdoctoral dentro del programa Severo Ochoa del IAA en el grupo del investigador Iván Agudo.



La radiogalaxia Hércules A (3C 348), un núcleo galáctico activo que lanza chorros relativistas. Los blázares son radiogalaxias vistas, por casualidad, a lo largo del eje del chorro.

NASA, ESA, S. Baum and C. O'Dea (RIT), R. Perley and W. Cotton (NRAO/AUI/NSF), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

También experto en blázares, Iván Agudo lideraba un grupo que trabajaba en astronomía cherenkov y contribuía a la construcción de un observatorio de rayos gamma, el *Cherenkov Telescope Array* (CTA), con un emplazamiento norte en La Palma y un emplazamiento sur en Chile, cada uno de ellos con varias decenas de telescopios cherenkov.

Además, nuestro grupo se unió en 2021 a la Colaboración MAGIC, comenzando a contribuir a las observaciones en La Palma (en agosto de 2021 fui el líder del equipo de



observación) y a otras actividades; por ejemplo, coordiné el grupo de trabajo de física dedicado a estudiar fuentes extragalácticas dentro de MAGIC, inicié programas de observación plurianuales de polarimetría óptica de blázares en el Observatorio de Calar Alto y de fotometría óptica y polarimetría en el Observatorio de Sierra Nevada (OSN-IAA). Estas observaciones pretenden contribuir sustancialmente a los estudios de los blázares, incluyendo también

los datos de rayos gamma de MAGIC y de otros observatorios terrestres y en órbita, como el satélite IXPE, el primer satélite capaz de realizar polarimetría de rayos X de la historia y en el que nuestro grupo también participa. Recientemente dejé Granada, ya que obtuve un puesto permanente en el Observatorio Astronómico de Brera (INAF). Pero la conexión con el grupo IAA se mantiene, y seguimos investigando juntos. Trabajar en Granada dentro del programa Severo Ochoa fue una experiencia muy estimulante para mí. Formé parte de un excelente grupo de investigación,

en el que todo el mundo disfruta de su trabajo cada día; participé en el estimulante entorno científico de un instituto con una destacada posición internacional y con colegas procedentes de todo el mundo (¡tres continentes representados en mi despacho de tres mesas!); pude vivir en una ciudad magnífica, culta e histórica en la que me sentí como en casa desde el primer día. Además, se me regalaron relaciones profesionales y personales sólidas y enriquecedoras que me acompañarán en mi vida.

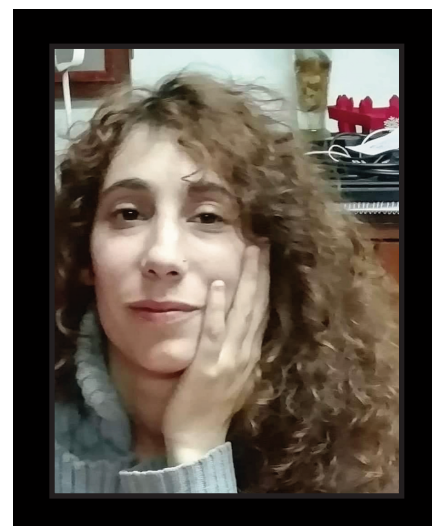
Iris Breda

LAS GALAXIAS DE LÍNEA DE EMISIÓN EXTREMA CON EL SONDEO JPAS

Aunque hoy soy astrónoma, me licencié en ingeniería ambiental en Aveiro, Portugal, lo que hace que mi trayectoria académica sea notablemente inusual. El primer reto al que me enfrenté tras ser aceptada en el programa de máster en astronomía de la Universidad de Oporto fue la necesidad de buscar ayuda financiera, lo que me llevó a aventurarme a trabajar durante una temporada de verano en Suiza. Posteriormente, mientras estaba matriculada en el máster, y a la luz de mi descontextualizada formación académica, me hizo falta una extraordinaria cantidad de trabajo duro para familiarizarme con la física, la programación y otras materias, obligatorias para seguir una carrera académica en astrofísica. Al ser una entusiasta de esta materia y estar extremadamente motivada, ese gran esfuerzo se pro-

Desgraciadamente llegué a Granada en tiempos de covid-19, lo que me impidió experimentar el atractivo y estimulante ambiente social del instituto en todo su potencial.

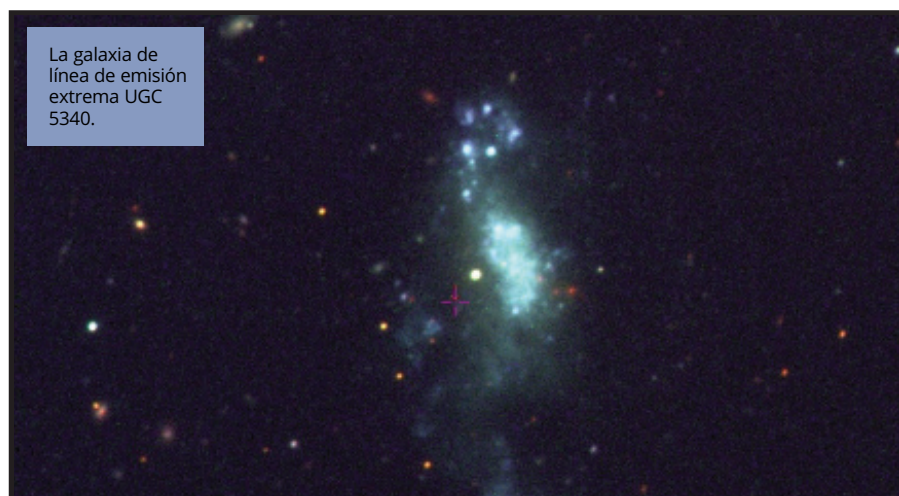
A través del contrato Severo Ochoa se me concedió la apasionante oportunidad de ampliar mi línea de investigación investigando lo que se conoce como galaxias de línea de emisión extrema (EELGs) mediante el estudio a gran escala JPAS (*Javalambre-Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey*). Este sondeo es idóneo para este propósito, ya que observará una gran sección del cielo (unos ocho mil grados cuadrados) mediante cincuenta y cuatro filtros de banda estrecha en el régimen óptico y dos filtros anchos adicionales que se extienden hasta el ultravioleta y el



nuestra comprensión de la formación de las galaxias. Estos objetos, aunque muy pequeños, se encuentran entre las entidades más activas que observamos en el universo: están formando estrellas a un ritmo asombroso, imitando las condiciones que creemos que se dieron en el universo primitivo. Estas galaxias pueden formar, en un solo brote estelar con una duración de entre diez y veinte millones de años, hasta el diez por ciento de su masa estelar total. La enorme producción de energía de las estrellas masivas y de las explosiones de supernova da lugar a flujos nebulares muy fuertes y extendidos, con gigantescos vientos galácticos impulsados por los brotes de formación estelar con velocidades de unos cien kilómetros por segundo.

Además, estas galaxias albergan los entornos más prístinos que los astrónomos hayan visto nunca, con muy poca cantidad de metales (en astronomía, todo elemento más pesado que el hidrógeno se considera un metal). Se cree que constituyen los bloques a partir de los que se forman galaxias más masivas, siendo así una pieza fundamental en el rompecabezas de la formación de galaxias. El estudio de sus propiedades estelares y gaseosas es, por lo tanto, de gran importancia, lo que requiere la adquisición de una muestra considerable que abarque un amplio rango en el desplazamiento al rojo (es decir, en diferentes etapas de la edad del universo).

Llegué al IAA para formar parte de un equipo con ese objetivo, ya que las primeras imágenes del JPAS estaban listas para ser exploradas. Mi investigación, junto con la de mi equipo, ofrecerá a la comunidad astronómica valiosa información sobre uno de los objetos más extraordinarios del universo, aportando luz además sobre cómo se forman y evolucionan las galaxias.



La galaxia de línea de emisión extrema UGC 5340.

dujo de forma natural. A continuación, obtuve una beca de doctorado en la misma institución, donde exploré a fondo lo más bello que ha creado el universo: las galaxias espirales. Durante este tiempo me he sumergido en el misterioso mundo de las galaxias, intentando comprender cómo se forman y evolucionan estas magníficas entidades. Terminé mi doctorado en 2019 y continué explorando la misma línea de investigación a través de una breve beca postdoctoral y, aproximadamente un año después, recibí la prestigiosa beca postdoctoral Severo Ochoa en el IAA-CSIC que me permitió seguir explorando uno de los tipos de galaxias más notables del universo.

infrarrojo cercano. Cuando se complete, dará lugar a uno de los mayores repositorios de fotoespectros o espectroscopia de campo integral de baja resolución para todos los tipos morfológicos de galaxias del universo local, y hasta aproximadamente la mitad de la edad del universo.

En lo que respecta a los objetos de mi estudio, las galaxias de líneas de emisión extrema son una submuestra de objetos extragalácticos cuyo conocimiento exhaustivo sigue siendo esquivo. Estas entidades astronómicas excepcionales, que pueden parecer irrelevantes a primera vista debido a su naturaleza débil y a sus dimensiones reducidas, podrían albergar la clave para

Camilla Danielski

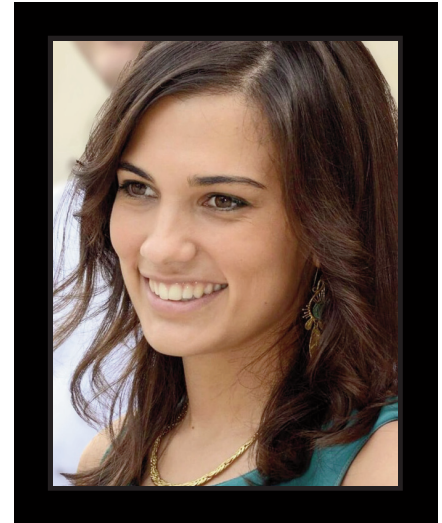
RESOLVER EL PUZLE DE LOS PLANETAS EXTRASOLARES

Me interesé por primera vez por los exoplanetas en una charla de divulgación en el Festival de la Ciencia de Génova (Italia). Por aquel entonces todavía estaba en la universidad y la idea de descubrir planetas fuera del Sistema Solar me entusiasmó hasta tal punto que realicé mi proyecto final de licenciatura sobre la misión PLATO. Tras licenciarme me trasladé a Londres y comencé mi especialización en el estudio de las atmósferas de los exoplanetas en el *University College London* (UCL). En la UCL obtuve mi máster y mi doctorado y luego me trasladé a París, donde trabajé siete años como investigadora postdoctoral en tres institutos diferentes (el IAS, el Observatorio de París y el CEA), centrandome siempre mi investigación en el estudio de las atmósferas de los planetas para conocer cómo se formaron y evolucionaron. Paralelamente comencé a trabajar en la preparación científica de la misión espacial Ariel, que se lanzará en 2029 y que caracterizará la atmósfera de unos mil exoplanetas. Y es precisamente por Ariel por lo que me he incorporado al programa Severo Ochoa en el IAA: la diversidad y la alta calidad de su investigación es clave para preparar la ciencia de Ariel y optimizar el rendimiento científico de la misión.

Hoy en día podemos detectar exoplanetas en la vecindad solar mediante diferentes técnicas. Entre ellas se hallan la imagen directa, que nos permite observar planetas jóvenes y de formación reciente, y los métodos de los tránsitos y de la velocidad radial, que nos permiten detectar planetas adultos que migraron cerca de sus estrellas desde el disco exterior. Contamos además con el método de las microlentes, cuya peculiaridad reside en su capacidad de encontrar planetas más alejados de nosotros, en dirección al centro de nuestra propia Galaxia. De hecho, recientemente este método permitió descubrir el primer exoplaneta confirmado que orbita alrededor de una enana blanca, a seis mil años luz de la Tierra. Se trata de un descubrimiento de gran relevancia,

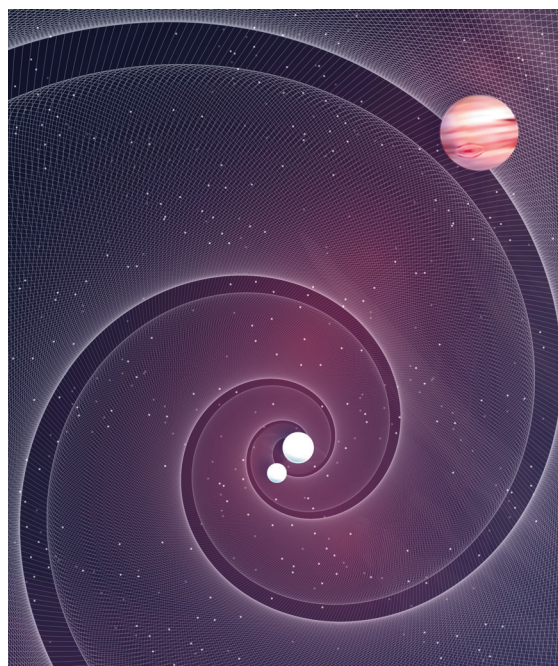
ya que demostró que los planetas pueden sobrevivir a la evolución extrema de su estrella anfitriona y que pueden envejecer. Uno de mis sueños reside en descubrir exoplanetas en toda la Vía Láctea, y quizás en otras galaxias. ¿Sabíais que esto podría ser posible mediante la astronomía de ondas gravitacionales? Actualmente estoy trabajando en este tema con mis colegas, y podremos probar la eficacia del método cuando la misión LISA (*Laser Interferometer Space Antenna mission*) sea lanzada al espacio en 2034. Si LISA detectara planetas, podremos entender si los que vemos cerca de nuestro Sistema Solar son la regla o la excepción. Sería como cuando Cristóbal Colón cruzó el océano y descubrió un continente completamente nuevo con verduras y frutas desconocidas. Solo que en este caso se trataría de un nuevo tipo de sistemas planetarios y planetas.

Durante mi estancia en París también empecé a trabajar en el análisis de las estrellas que albergan los exoplanetas. Las estrellas son una pieza clave del rompecabezas cuando se trata de entender



dónde se formó un planeta y por qué la atmósfera de nuestros exoplanetas es como es. Los planetas y las estrellas se forman a partir de la misma nube de gas y tienen los mismos “ingredientes”, con la diferencia de que los planetas, al ser mucho más pequeños, viven una vida más caótica: se mueven, a veces juegan al *pinball* con los otros planetas del sistema, se calientan y pierden parte de la atmósfera al acercarse a la estrella, o a veces simplemente son expulsados del sistema para acabar flotando libremente en el espacio. Todo ello en tiempos astronómicos, por supuesto. Por eso necesitamos conocer la estrella, sus parámetros, su actividad y su composición: cada uno de ellos es una piedra Rosetta que nos permite interpretar la naturaleza del planeta y dibujar su historia pasada.

En el IAA estoy trabajando para unir todas las piezas del rompecabezas: la estrella, la atmósfera de los planetas jóvenes, la atmósfera de los planetas adultos y, por último, la detección de aquellos planetas que sobreviven a la evolución estelar, y que en el futuro podrían ser observados por las ondas gravitacionales. El rompecabezas final debería mostrarnos cómo se forman y evolucionan los planetas hasta que sus estrellas se apagan. Yo estoy intentando resolver mi parte del rompecabezas, al igual que mis colegas dentro de los consorcios Ariel y CARMENES. ¡Tal vez se me olvidó mencionar que es un rompecabezas de cuarenta mil (o más) piezas...! La sinergia entre científicos españoles e internacionales es la clave.



Concepción artística de un planeta similar a Júpiter que orbita una estrella doble enana blanca que emite ondas gravitacionales. Fuente: S. Definis.

Manuel Jiménez

GAIA: UNA NUEVA MIRADA A NUESTRA GALAXIA

Desde pequeño sentí verdadera fascinación por la astronomía y el estudio y comprensión de ese paisaje nocturno que se desvela ante nosotros cada noche (aunque a veces la contaminación lumínica nos lo ponga algo difícil). Lo que nunca hubiese imaginado por entonces es que algún día me dedicaría a ello desde mi ciudad y en el marco de un proyecto de excelencia que engloba investigación científica al más alto nivel.

Tras completar la licenciatura en física en la Universidad de Granada me mudé a Inglaterra para realizar el doctorado en informática en la Universidad de Nottingham. Mi tesis versó sobre el desarrollo de algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la clasificación morfológica de galaxias. Para su entrenamiento, es decir, en la fase de aprendizaje, hacía uso de imágenes clasificadas

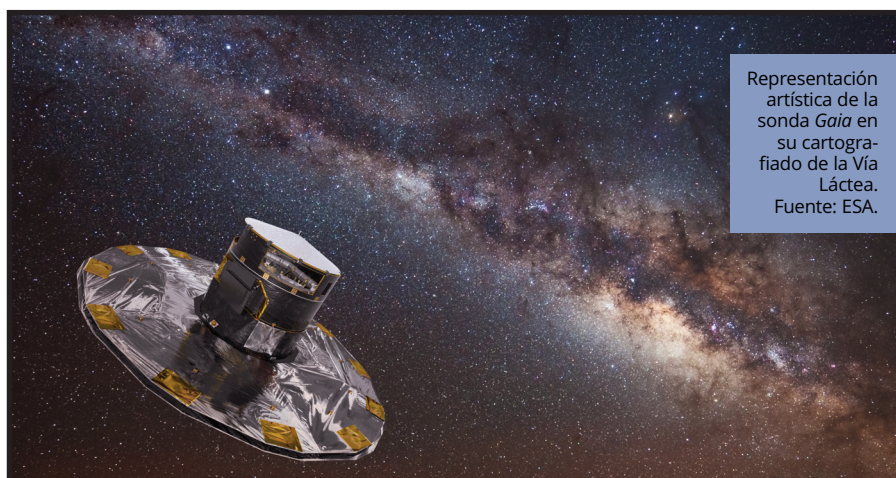
misión *Gaia* de la Agencia Espacial Europea (ESA) está proporcionando, para una mejor comprensión de la estructura de nuestra galaxia, la Vía Láctea, así como de los variados y complejos mecanismos físicos que han dado lugar a dicha estructura. La sonda *Gaia* fue lanzada en 2013 y durante el último lustro ha estado enviando, desde su órbita a 1.5 millones de kilómetros de la Tierra, las medidas de posición, fotometría y velocidad radial de más de mil quinientos millones de objetos. Su situación en el espacio exterior, lejos de las distorsiones introducidas por la atmósfera y el empleo de instrumentos terrestres, provee a estas medidas de una precisión sin precedentes, conducentes a una mejora en la comprensión actual de la composición, origen y evolución de nuestra galaxia.

La imagen que tenemos de la estructura



poración de nubes moleculares, regiones H_{II} y otros trazadores de formación estelar permitió el estudio de las corrugaciones espaciales asociadas con los tres brazos espirales de la vecindad solar, si bien aún se especula, a día de hoy, sobre los mecanismos que originaron dichas morfologías en la estructura vertical del disco galáctico. En el grupo de investigación en el que trabajo nos centramos en el empleo de cúmulos abiertos (*open clusters*) para el estudio de esta estructura vertical. Los cúmulos abiertos, como agregados de unos pocos miles de estrellas provenientes de una misma nube molecular, muestran la peculiaridad de presentar una gran coherencia espacial y una mejor precisión en la determinación de su edad, posición y velocidades propias, lo que los hace muy convenientes para su uso como trazadores de la estructura del disco galáctico joven. Partiendo de un conjunto de cúmulos jóvenes (edad menor a unos treinta millones de años), y haciendo uso de técnicas de interpolación gaussiana, hemos obtenido un mapa en 3D de las poblaciones estelares jóvenes en torno al Sol, así como de sus velocidades en el eje perpendicular al plano galáctico. Esto nos está permitiendo explorar distintos patrones cuyo origen podría estar conectado con mecanismos de formación estelar que, a su vez, responderían a preguntas abiertas sobre la disposición y estructura de los brazos espirales.

Los datos de *Gaia* auguran una verdadera revolución en nuestra comprensión de la estructura de la Vía Láctea y, por ende, en el estudio de la formación y evolución de las galaxias. Desde el IAA trabajamos en aportar nuestro granito de arena a tan ingente y apasionante tarea.



visualmente por astrónomos tanto expertos como aficionados que habían aunado esfuerzos en el marco de proyectos de ciencia ciudadana, así como imágenes no clasificadas previamente. Y fue este primer acercamiento a datos astronómicos, en el contexto de un problema clásico de la astrofísica desde los tiempos de Hubble, el que me serviría de nexo con el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y de billete de vuelta académico hacia Granada.

Mi investigación en el IAA gira en torno al empleo de los nuevos datos que la

de la Vía Láctea ha ido cambiando progresivamente, en especial desde la mitad del pasado siglo. El estudio de la distribución del hidrógeno atómico (H_I) evidenció la existencia de estructuras verticales que desafiaban el modelo de simetría plana del disco de las galaxias espirales como la nuestra. Más tarde, la disponibilidad de datos sobre la distribución de las estrellas jóvenes y masivas que formaban parte del brazo local, el más próximo al Sol, sugerían morfologías de naturaleza ondulatoria en los brazos espirales de la galaxia. Finalmente, la incor-

Rocco Lico

LOS AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS, CON LA MAYOR RESOLUCIÓN POSIBLE

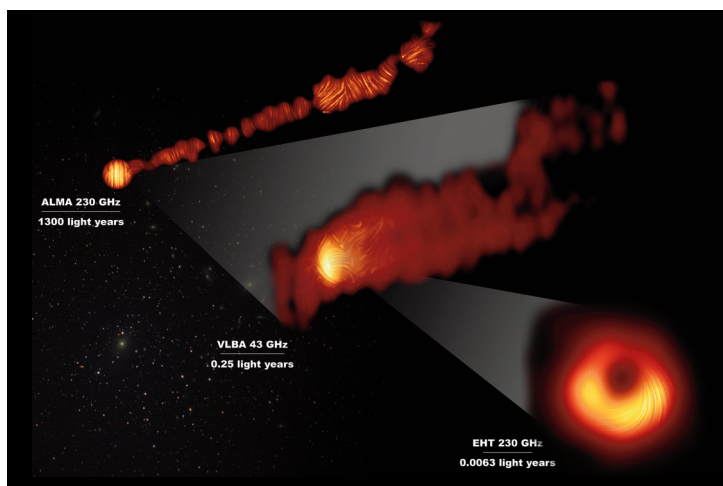
Mi aventura astronómica comenzó hace mucho tiempo, cuando era un niño, y me ha traído al Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), en Granada, para investigar los secretos de los agujeros negros. Estos objetos son tan masivos que crean "agujeros" en el espacio-tiempo, y ni siquiera la luz puede escapar de sus negras profundidades. Y el límite dentro del cual ninguna información no puede llegar a un observador externo se llama "horizonte de sucesos". ¿Cómo puede alguien no sentirse fascinado por ellos?

Los principales objetivos de mi investigación como becario postdoctoral Severo Ochoa en el IAA son los agujeros negros supermasivos, con masas del orden de millones a miles de millones de veces la masa del Sol. Estos monstruos se encuentran en el centro de casi todas las galaxias masivas y desempeñan un papel importante en su evolución cósmica.

Nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, contiene un agujero negro supermasivo con una masa de unos 4.3 millones de masas solares y situado a unos 26000 años luz de la Tierra, conocido como Sagitario A* (SgrA*). Hasta ahora la existencia de SgrA* solo se ha comprobado indirectamente, mediante el estudio de los efectos gravitatorios que produce en su entorno. Uno de los principales proyectos de investigación en los que participo actualmente se centra en obtener imágenes directas de SgrA* a escala del horizonte de sucesos, lo que constituiría la primera prueba directa de la existencia de un agujero negro supermasivo en el centro de la Vía Láctea. Estoy llevando a cabo esta investigación, junto con el equipo del IAA, en el contexto de la colaboración del Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT), una red de radiotelescopios repartidos por todo el mundo que traba-

jan sincronizados. Así, gracias a una técnica conocida como interferometría de línea de muy larga base (VLBI), el EHT se convierte en un telescopio del tamaño de nuestro planeta, con la resolución angular más alta que se puede alcanzar actualmente desde tierra.

Una parte de mi investigación se dedica también a investigar la naturaleza de los campos magnéticos en las proximidades de un agujero negro. En este marco, con la colaboración del EHT, en los últimos meses publicamos un estudio detallado de la estructura del campo magnético en las regiones que rodean al agujero negro supermasivo de más de seis mil millones de masas solares situado en el corazón de la radiogalaxia M87 (a una distancia de unos 55 millones de años luz de la Tierra). Este estudio ha permitido comprender el papel



Tres vistas de la región central de la galaxia Messier 87 (M87) en luz polarizada. Fuente: EHT Collaboration; ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Goddi et al.; VLBA (NRAO), Kravchenko et al.; J. C. Algaba, I. Martí-Vidal.

del campo magnético en la extracción de energía del agujero negro y en la formación de los denominados chorros relativistas, corrientes de plasma lanzadas desde un agujero negro supermasivo y que se extienden a distancias mucho mayores que el diámetro de la propia galaxia. Esto representa uno de los principales resultados conseguidos hasta ahora por la colaboración EHT



tras publicar la primera imagen de un agujero negro en 2019.

Paralelamente, estoy centrando mis esfuerzos en la investigación de las propiedades físicas de uno de los mejores candidatos a sistema de agujero negro binario supermasivo, conocido como OJ287. A partir de la curva de luz óptica de OJ287 se reveló un patrón de variabilidad cuasi-periódica de unos doce años, relacionado con el período orbital y los impactos del agujero negro secundario sobre el disco de acreción del primario. Estamos investigando las regiones más internas de OJ287, incluyendo la topología y la evolución del campo magnético, mediante observaciones de radio VLBI en el espacio con un conjunto formado por más de treinta radiotelescopios en todo el mundo junto con el satélite ruso Radioastron. OJ287 también fue observado con el EHT y nuestro grupo de investigación en el IAA está dirigiendo el análisis y la interpretación de los datos.

Además, la investigación de los sistemas gravitacionales de dos agujeros negros es extremadamente importante en el contexto de la producción de ondas gravitacionales, y OJ287 representa un objetivo único y un laboratorio espacial idóneo.

Este es un momento histórico excepcional para la radioastronomía y la investigación sobre la física de los agujeros negros, y están en camino muchos resultados emocionantes. ¡Estén atentos!

[1]. OJOS MILIMÉTRICOS A DISCRECIÓN

El telescopio ARO es un telescopio de vanguardia para estudiar la luz del universo frío (como el gas molecular). Esta luz tiene longitudes de onda de alrededor de un milímetro (radiación milimétrica o submilimétrica), colocándose entre el infrarrojo y las ondas de radio del espectro electromagnético. ARO trabaja en el rango de uno a cuatro milímetros, lo que en astronomía se llaman ondas “largas”, aunque en la vida cotidiana es un tamaño pequeño, del orden del grosor de los trajes de neopreno para bucear.

Parte de la luz milimétrica de las galaxias proviene de las grandes nubes densas y frías (con temperaturas cercanas al cero absoluto) del espacio interestelar, cunas de la formación de estrellas. Estas llamadas “nubes moleculares” permanecen ocultas en el rango visible de la luz (aparecen como manchas oscuras en las imágenes ópticas), pero brillan con intensidad en el rango milimétrico y submilimétrico del espectro.

MASCOT, como MaNGA, es un proyecto de legado, es decir, sus datos procesados se ponen a disposición del público. Esto significa que cualquier persona puede bajar los datos y usarlos para su investigación, para enseñar o simplemente por curiosidad.

<https://www.staff.ari.uni-heidelberg.de/dwylezalek/mascot.html>



POR SARA CAZZOLI (IAA-CSIC)

PROYECTO MASCOT

PRIMERA LIBERACIÓN DE DATOS

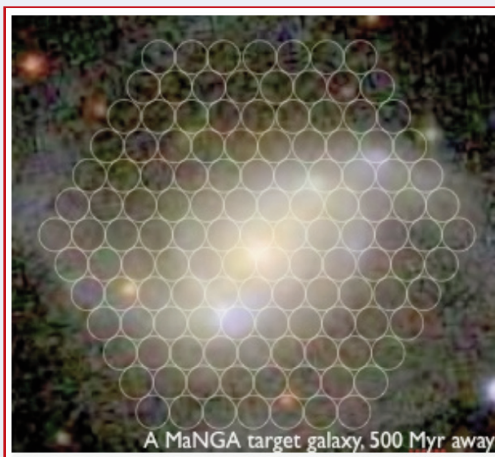
Presentamos los primeros resultados del proyecto internacional de legado *MaNGA-ARO Survey of CO Targets* (MASCOT) impulsado por ESO y realizado a través del Radio Observatorio de Arizona (ARO) [1]. Gracias a su antena de doce metros, se ha podido trazar el gas molecular en una muestra de unas doscientas galaxias cercanas seleccionadas desde la base de datos *Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory* (MaNGA) [2]. El objetivo principal de MASCOT reside en investigar el contenido de gas molecular de las galaxias disponible para la formación de estrellas, además de abarcar temas como la estrecha relación entre las propiedades del gas molecular (masa y cinemática) y, por ejemplo, el ritmo de formación estelar y la metalicidad.

En este primer artículo (Wylezalek et al.) presentamos los rasgos globales del proyecto: luminosidad y cinemática de la línea de emisión de CO (1-0) y las masas de gas molecular [3]. Observamos que la disminución en la tasa de formación estelar de la galaxia en relación con la

[2] MANGA, NO SOLO ANIME JAPONÉS

Como decía mi compañera, la astrónoma Mary Lili Martínez Aldama en el número 54 de esta revista, “muchas veces los astrónomos tenemos que trabajar con grandes muestras de objetos para poder describir su comportamiento de forma general”. Y este es exactamente el caso de MaNGA.

Con MaNGA se observaron unas diez mil galaxias gracias a un instrumento de unidad de campo integral que mide espectros resueltos espacialmente, es decir, recopila espectros en muchas regiones diferentes de la galaxia. El objetivo de MaNGA radica en com-



prender la “historia de vida” de las galaxias actuales. ¿Por qué las galaxias muestran tal variedad de propiedades? ¿qué transformaciones pudieron sufrir las galaxias actuales a lo largo de su historia de vida? Para responder a estas y más preguntas, MaNGA proporciona mapas bidimensionales de, entre otros, la velocidad y edad de las estrellas en las galaxias, abundancia de elementos, propiedades del gas o ritmo de formación estelar.

Uno de los objetivos de MaNGA. Cada círculo representa una fibra óptica en el instrumento, que aportará un espectro de la región.

DECONSTRUCCIÓN

secuencia principal de formación estelar [4] aumenta con la disminución del contenido de gas molecular, confirmando estudios previos. Al relacionar la masa molecular del gas con los gradientes espaciales de edad estelar (derivados de las observaciones complementarias de MaNGA), encontramos que las galaxias con fracciones de gas de masa molecular más baja tienden a mostrar poblaciones estelares más viejas cerca del centro galáctico, mientras que se observa lo contrario para galaxias con fracciones de masa en gas molecular más altas. Estos resultados nos han proporcionado una primera evidencia de la tendencia de las galaxias hacia una fase evolutiva de “*inside-out quenching*” [5].

¡Pero esto no se acaba aquí! En trabajos futuros se investigarán las relaciones entre las propiedades del gas molecular y los diagnósticos ópticos proporcionados por los datos de MaNGA.

[5] EVOLUCIÓN GALÁCTICA

Las galaxias que observamos en el universo actual exhiben una notable variedad de propiedades, como morfología, luminosidad y dinámica. Y, por lo general, encontramos que son rojas o azules, es decir, las primeras no están formando activamente estrellas (galaxias apagadas), mientras que las segundas sí. Solo algunas tienen características intermedias y se localizan en el llamado valle verde. Las estrellas se forman a partir del gas frío intergaláctico y, si el proceso de evolución fuera simplemente una cuestión del lento gastar el gas con el tiempo, esperaríamos ver muchas más galaxias en el valle verde.

La formación de estrellas y la fusión de galaxias son, sin duda, motores de la evolución galáctica. Pero, en cambio, algún proceso debe estar terminando rápidamente la formación de estrellas, haciendo que la transición del azul al rojo sea relativamente rápida.

Una posibilidad que se está explorando mucho en la última década es la retroalimentación debida a la intensa actividad de los agujeros negros supermasivos, y/o a la violenta formación de estrellas. Estos procesos pueden desencadenar la formación de grandes movimientos de materia (los supervientos galácticos) y calentar el medio interestelar frío.

De esta manera se ralentiza o, en los casos más extremos, se detiene la formación de estrellas, ocurriendo antes en el centro de las galaxias y luego en las zonas más periférica, de allí en nombre “*inside-out quenching*”.

[3]. DEL GAS MOLECULAR A LAS ESTRELLAS: LA LÍNEA DE EMISIÓN DE CO (1-0)

Las observaciones en radio y milimétricas arrojan luz sobre las nubes moleculares donde nacen las estrellas. Las estrellas se forman cuando el gas frío y denso de esas nubes colapsa bajo su propio peso. Por lo tanto, no es extraño pensar que la tasa de formación estelar y la cantidad de gas puedan estar correlacionadas. Aun así, estimar el ritmo de formación estelar es una tarea delicada, y es fundamental encontrar un buen trazador para observar.

La mayor fuente de información acerca de las nubes moleculares proviene del análisis de líneas de emisión de moléculas, como la del monóxido de carbono (CO) o sulfuro de carbono (CS), que se observan sin mucha contaminación atmosférica en la llamada “ventana de 3 milímetros” (72-116 GHz).

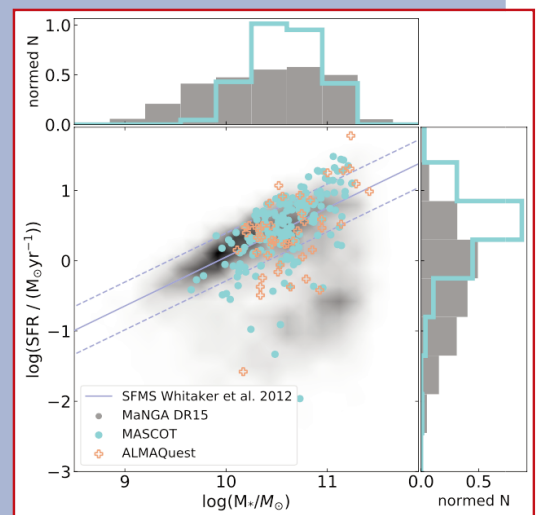
Estudios de nuestra propia galaxia y de las galaxias cercanas han establecido que la línea CO (1-0), observada a una frecuencia de 115.271 GHz, es buen indicador para rastrear el hidrógeno molecular (H₂) el mayor constituyente de las nubes moleculares.

La intensidad de la línea de CO (1-0) se convierte en masa de gas molecular (a través de factores empíricos) para trazar la reserva de gas disponible para formar estrellas nuevas.

[4]. SECUENCIA PRINCIPAL DE LAS GALAXIAS

Observaciones del universo local han revelado que la masa en estrellas de una galaxia puede estar estrechamente relacionada con muchas de sus otras propiedades físicas.

La estrecha correlación entre la tasa de formación estelar y la masa estelar (la “secuencia principal”) ha sido ampliamente estudiada durante la última década. Dicha relación sugiere que las galaxias convierten el gas en estrellas en tiempos escalas muy largos (“evolución secular”). Pero es cierto que no se trata de una ley universal, y puede variar según el tipo de galaxia. Determinar las razones físicas subyacentes de esta relación empírica y explicar los procesos que pueden hacer que galaxias individuales o familias de galaxias se desvíen de ella es un área activa de investigación en la evolución de galaxias. Esos procesos podrían estar relacionadas con una combinación de eventos que ocurren en escalas de tiempo cortas, como estallidos violentos de formación estelar y/o el agotamiento rápido de la reserva de gas para formar estrellas.



EL MOBY DICK DE...

EL ASTRO REY: MAGNETISMO Y ATMÓSFERA

Durante mi último año universitario comencé a interesarme en el Sol como objeto astrofísico. Fue gracias a una simple pero muy intrigante gráfica que mostraba el perfil de la temperatura del plasma solar a través de su atmósfera –las capas más externas del Sol que podemos observar directamente, a diferencia del interior solar–. Debo confesar que, antes de esto, solía percibir al Sol como esa estrella bastante común en el universo –de mediana edad, tamaño y masa– que resultó por casualidad ser la más cercana a nosotros y que solo ahí radicaba su relevancia. Pero vaya, nada especial, y no tenía mucho interés hacia él desde el punto de vista físico (aunque, claro, sin dejar nunca de estarle muy agradecida por estar ahí, por calentarnos todas las mañanas y por permitirnos vivir en la Tierra muy cómodamente).

El Sol es de hecho el objeto astrofísico de mayor importancia para la humanidad. Ha sido venerado a lo largo de la historia por muchas civilizaciones, innumerables poemas han sido escritos para rendir un merecido tributo a nuestro astro rey e incluso fue percibido como una divinidad durante mucho tiempo; por razones obvias, pues es a fin de cuentas nuestra principal fuente de energía y el responsable de que exista vida en la Tierra.

Para los físicos y astrofísicos, estudiar el Sol es fundamental porque, dada su cercanía, es la única estrella que podemos observar detalladamente con la ayuda de instrumentación muy avanzada, y también la única estrella a la que podemos enviar sondas espaciales para medir sus propiedades físicas *in situ*. Es un laboratorio natural único para el estudio de plasmas magnetizados, ya que sus condiciones físicas son inalcanzables aquí en la Tierra, por lo que nos sirve de base para entender cómo funcionan otras estrellas en el universo.

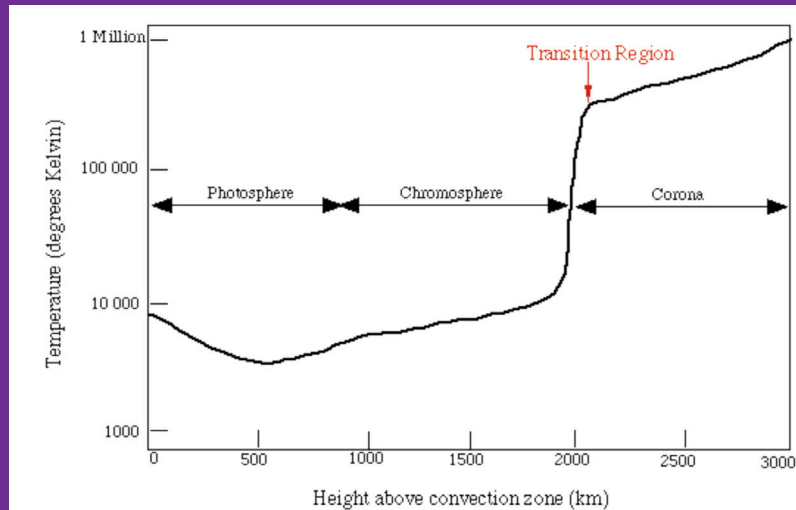
La gráfica de la que les hablaba muestra la variación de la temperatura desde la



... AZAYMI SIU (IAA-CSIC)

Doctora en Física por la Universidad de Göttingen, en Alemania. Actualmente trabaja como investigadora posdoctoral dentro del grupo de Física Solar del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

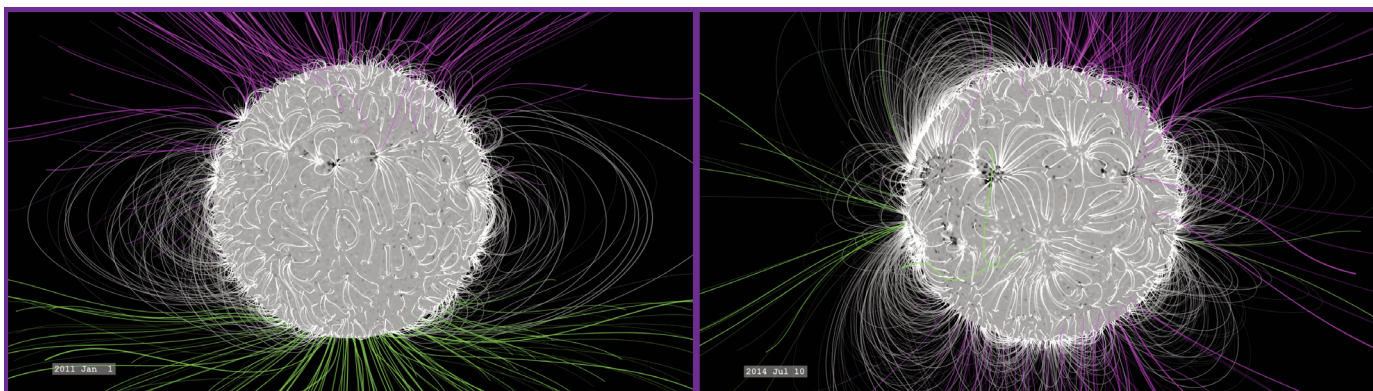
Sus líneas de investigación se centran en el estudio del magnetismo y la dinámica de la atmósfera solar, en diferentes escalas espaciales y temporales. Participa en proyectos como *Solar Orbiter*, *Sunrise III* y el Telescopio Solar Europeo.



Arriba, gráfica que muestra el aumento de la temperatura en la corona solar. Debajo, imagen de la corona solar tomada durante un eclipse. Crédito: Miloslav Druckmuller, Andreas Moller, Brno University of Technology.

superficie solar, a través de su atmósfera y hasta la corona solar: la capa menos densa y más externa de la atmósfera solar. Al principio la temperatura decrece como se espera, como cuando nos alejamos de una fogata o de cualquier otra fuente de calor y esperamos sentir más frío a medida que

aumenta la distancia. Pero he aquí el gran misterio, la maravillosa e inquietante sorpresa: la temperatura en la atmósfera solar sube conforme más te alejas de su superficie. Y no solo sube, sino que ¡lo hace drásticamente hasta alcanzar más de un millón de grados! ¿A qué se debe esto?



Ilustraciones que muestran la complejidad relativa del campo magnético solar entre enero de 2011 (izquierda) y julio de 2014. En enero de 2011, tres años después del mínimo solar, el campo es todavía relativamente simple, con líneas de campo abiertas concentradas cerca de los polos. En el máximo solar, en julio de 2014, la estructura es mucho más compleja, con líneas de campo cerradas y abiertas que asoman por todas partes, condiciones ideales para las explosiones solares. Crédito: NASA's Goddard Space Flight Center/Bridgman.

¿Cuál es la principal fuente energética de este calentamiento? Resulta que, durante más de medio siglo, los físicos solares han intentado explicar qué provoca que la temperatura en la corona solar sea hasta doscientas veces más alta que en su superficie, y este se ha convertido en uno de los problemas sin resolver más enigmáticos de la física moderna. Lo que sí sabemos ahora es que el campo magnético del Sol juega un papel fundamental en el calentamiento coronal, ya que involucra procesos a través de los cuales se liberan cantidades exorbitantes de energía magnética y que finalmente contribuyen al calentamiento del plasma coronal. Estos procesos resultan de la actividad magnética del Sol y entenderlos es de gran importancia porque impactan directamente la vida en la Tierra a través del viento solar y la radiación de altas energías. Además, comprenderlos es también relevante para entender cómo evolucionó la atmósfera terrestre –y finalmente la vida en ella–: se infiere que el Sol era mucho más activo en el pasado, lo que supone una atmósfera terrestre más hostil para la vida, por lo que este conocimiento también resulta ser esencial para predecir la habitabilidad en planetas que orbitan otras estrellas similares a nuestro Sol.

Y fue así como decidí estudiar más sobre el Sol y emprender esta odisea en la que me encuentro ahora. ¡Hoy en día el Sol y su campo magnético son mi Moby Dick!

Desarrollo tecnológico para comprender el Sol

El Sol es magnético, es cíclico, es explosivo y bastante dinámico. El Sol emite un viento que llena el espacio interplanetario

y controla las condiciones del entorno terrestre. Estudiar al Sol es fascinante, y no solo eso, sino que estudiarlo en detalle y entender su fenomenología es también primordial para la prevención de riesgos tecnológicos, ya que eventos solares energéticos tales como las fulguraciones y eyecciones de masa coronal que alcanzan la Tierra podrían afectar de manera significativa a nuestros satélites de telecomunicaciones, el servicio de GPS, las redes eléctricas e internet; tecnología que nos es esencial hoy en día.

Muy oportunamente, y gracias a un gran salto tecnológico en la instrumentación solar, esta década será clave para el desarrollo de la física solar, ya que entrarán en funcionamiento distintos observatorios solares, tanto terrestres como espaciales, cada uno con características únicas pero complementarias entre sí. Por un lado, tendremos la nueva generación de telescopios solares terrestres de cuatro metros de diámetro, como el DKIST y el EST, que serán capaces de observar detalles nunca antes vistos sobre la superficie solar, alcanzando resoluciones espaciales del orden de treinta kilómetros. De esta forma, estos telescopios nos permitirán estudiar la estructura fina del campo magnético solar y la dinámica del plasma en su atmósfera con mucho más detalle, ayudándonos así a juntar las piezas del rompecabezas para entender mejor cómo funciona nuestra estrella.

Por otro lado, en el próximo verano tendremos el tercer vuelo del observatorio solar estratosférico *Sunrise*, con tres instrumentos novedosos a bordo (uno de los cuales, TuMag, ha sido diseñado y desarrollado por un consorcio español liderado

por el grupo con el cual trabajo hoy en día, el grupo de física solar del Instituto de Astrofísica de Andalucía). Esta trascendental misión nos permitirá realizar observaciones de larga duración y acoplar los fenómenos que ocurren en las distintas capas de la atmósfera solar sobre las distintas estructuras magnéticas de mayor interés, tales como las manchas solares (las mayores concentraciones de campo magnético en el Sol y trazadoras clave de su actividad magnética).

Tenemos también al instrumento PHI, ya en órbita alrededor del Sol a bordo de *Solar Orbiter*, una misión que tiene como uno de sus objetivos primordiales medir por primera vez el campo magnético de los polos del Sol, regiones hasta ahora no exploradas debido a que no se pueden observar desde la Tierra.

Por último, pero no menos importante, también me gustaría mencionar la misión *Parker Solar Probe*, que desde el año 2018 nos proporciona continuamente mediciones *in situ* sobre las condiciones físicas del viento solar y del campo magnético interplanetario en la región interna de la heliosfera. Esta misión es de especial interés para mí y la he esperado con mucha emoción desde que comencé mi carrera. ¡Será la primera nave en “tocar” el Sol! Esta misión alcanzará distancias de unos cuantos radios solares, por lo que volará dentro de la corona externa. Esta asombrosa y compleja misión nos ayudará a entender cómo se origina y se acelera el viento solar y a entender mejor los procesos físicos involucrados en el calentamiento de la corona.

En definitiva, es una época excepcional para estudiar nuestro astro rey.

EXPOSICIÓN ASTRÓNOMAS

Astronomía con A de arrojo, alegría y afán

POR JOSEFA MASEGOSA E ISABEL MÁRQUEZ (IAA-CSIC)

En 2009, Año Internacional de la Astronomía, un grupo de mujeres astrónomas, sociólogas y especialistas en género constituimos el equipo temático “Ella es una Astrónoma”. Uno de nuestros proyectos estrella fue la exposición “Con A de Astrónomas”.

El éxito de esta exposición cubrió ampliamente nuestras expectativas. Ha estado circulando durante más de diez años por lugares emblemáticos, como la Casa de España en París, hasta lugares remotos, como Abanilla (Murcia), donde aún permanece.

Tras esta experiencia y siendo conscientes que en este tiempo la difusión de la ciencia ha evolucionado hacia sistemas más virtuales, fácilmente descargables en el teléfono móvil o la tablet, consideramos que era necesaria y oportuna una renovación de esta exposición usando las nuevas tecnologías. Presentamos un proyecto a FECYT, que fue parcialmente financiado, y que con las contribuciones fundamentales de la Sociedad Española de Astronomía y del Instituto de Astrofísica de Andalucía, junto con el resto de los centros del equipo de trabajo, pudimos convertir en realidad con la exposición actual: <https://astronomas.org/>

Las diferentes experiencias del equipo multidisciplinar que ha coordinado el proyecto, con formación en astronomía, filosofía, sociología y género, han resultado en una exposición dinámica en la que se conjugan ampliamente la difusión de las diferentes temáticas de actualidad relacionadas con la astrofísica con sus protagonistas, las astrónomas que han contribuido y contribuyen a nuestro conocimiento actual del universo.

La exposición, en formato virtual, permite acceder en un click desde cualquier dispositivo (teléfono móvil, tablet u ordenador) tanto a las disciplinas temáticas planteadas (el Sol, el Sistema Solar, estrellas y cúmulos estelares, exoplanetas, medio interestelar, estrellas moribundas, nuestra galaxia, galaxias y cúmulos de galaxias, física de astropartículas, agujeros negros supermasivos, cosmología, software y big data e instrumentación), como a las astrónomas que hicieron

posible toda esta cantidad de conocimiento (un total de 286 perfiles), y que constituyen el eje común de la exposición. A diferencia de la exposición “con A de Astrónomas”, centrada en las astrónomas históricas más relevantes como Vera Rubin o Margaret Burbidge, ahora se han incluido además la mayoría de las astrónomas actuales de nuestro país para trasladar el mensaje a las jóvenes generaciones de que es posible ser astrónoma desde Granada, Madrid, Santiago de

gratuita desde la página web de la exposición y están disponibles en castellano, gallego y catalán.

Por último, en un canal de youtube propio se pueden visualizar los vídeos que se vayan generando, y que está accesible desde nuestra web. Todo esto está aderezado por una banda sonora exclusiva, con una canción creada por Paula Espinosa, alumna de astrofísica y finalista de la temporada 2 del programa “la Voz” de Antena 3 TV.



Compostela... Para hacerla más útil para escolares, en cada temática un click bajo los nombres “Sabes”, “Pruebas” y “Juegas” da acceso a curiosidades astronómicas (cine, literatura, pintura...), a unidades didácticas relativas a la temática y a un juego tipo trivial de preguntas. Este formato virtual permite que cada persona que la visite cree su propio itinerario a través del acceso que realice a cada uno de los contenidos propuestos. Dada la experiencia previa de la importancia y el interés de la difusión de los paneles por los diferentes centros educativos, se ha generado también una versión física de la exposición, en dieciséis paneles. En cada panel aparece una figura atractiva que representa el objeto central de la temática correspondiente, con una breve descripción, y se resaltan las figuras de unas pocas astrónomas que hayan contribuido de forma significativa en ese campo de actividad. Cada panel dispone de un código QR que enlaza con la exposición virtual. Estos paneles físicos se pueden descargar de forma libre y

El equipo de trabajo lo constituimos Josefina Ling (Comisaria de la Exposición, Universidad de Santiago de Compostela), Miguel Cerviño (subcomisario, Centro de Astrobiología CAB, CSIC-INTA) y Ana Romero (subcomisaria, Instituto de Filosofía del CSIC, IFS-CSIC), Almudena Alonso-Herrero (CAB, CSIC-INTA), Antonio Francisco Canales (Universidad Complutense de Madrid, UCM), Francesca Figueras (Universidad de Barcelona, UCCUB), Adriana Kiczkowski (Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED), Adriana de Lorenzo (Instituto de Astrofísica de Canarias, IAC), Isabel Márquez (Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC), Vicent Martínez (Universidad de Valencia, UVAL), Josefa Masegosa (IAA-CSIC), Eulalia Pérez-Sedeño (IFS-CSIC), María Dolores Rodríguez (Universidad de Alcalá, UALH), Blanca Troughton (Federación de Asociaciones Astronómicas de España, FAAE) y Jesús Varela (Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón, CECA).

La estrella masiva que apenas brilló al morir

HALLAZGO DE LA EXPLOSIÓN DE RAYOS GAMMA (GRB) MÁS BREVE PRODUCIDA POR LA MUERTE DE UNA ESTRELLA MASIVA JAMÁS DETECTADA

El 26 de agosto de 2020, el telescopio espacial Fermi de la NASA detectó un pulso de radiación de alta energía que, con una duración de solo un segundo, batió un récord: se trataba de la explosión de rayos gamma (GRB) más corta causada por la muerte de una estrella masiva jamás vista. Su estudio muestra que la clasificación de estos estallidos según su duración no responde del todo a la realidad y abre nuevos escenarios en la muerte de las estrellas.

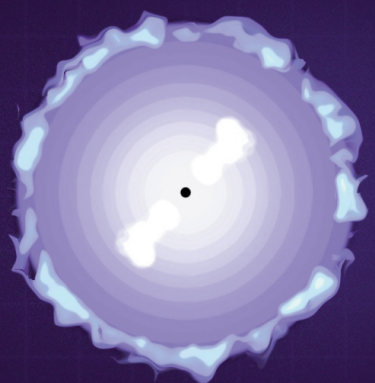
Los GRBs son los fenómenos más energéticos del universo, detectables incluso si se producen en galaxias a miles de millones de años luz. Se clasifican como cortos o largos en función de si el evento dura más de dos segundos, y su duración se asocia con su origen: los estallidos largos se producen con la muerte de estrellas masivas, mientras que los estallidos cortos se han relacionado con la fusión de dos objetos compactos, como estrellas de neutrones.

“Ya sabíamos que algunos GRBs producidos por estrellas masivas podían registrarse como GRBs cortos, pero pensábamos que se debía a las limitaciones instrumentales”, señala Bin-bin Zhang, de la Universidad de Nanjing (China) y de la Universidad de Nevada (Las Vegas).

Bautizado como GRB 200826A por la fecha en que se produjo, este estallido fue objeto de dos artículos que exploraban los datos de rayos gamma y describen el desvanecimiento del resplandor del GRB en múltiples longitudes de onda y la luz emergente de la explosión de supernova que le siguió.

“Creemos que este acontecimiento fue

Concepción artística de la formación de un agujero negro tras el colapso del núcleo de la estrella (punto negro central) y el lanzamiento de dos chorros que atraviesan la envoltura y producen, si la alineación es correcta, un GRB. Crédito: Goddard Space Flight Center (NASA).



una especie de desvanecimiento, que estuvo a punto de no producirse”, señala Ahumada. “Aun así, el estallido emitió catorce millones de veces la energía liberada por toda la Vía Láctea durante la misma fracción de tiempo, lo que lo convierte en uno de los GRBs de corta duración más energéticos jamás vistos”.

LAS ESTRELLAS MASIVAS TAMBIÉN PRODUCEN GRBS CORTOS AL MORIR

Cuando una estrella con una masa mínima de ocho veces la del Sol agota el hidrógeno que le sirve de combustible, su núcleo colapsa y se forma un agujero negro. A medida que la materia se arremolina en torno al agujero negro, parte de ella escapa a través de dos potentes chorros que se precipitan hacia el exterior casi a la velocidad de la luz en direcciones opuestas. Cada chorro perfora la estrella, produciendo una señal de rayos gamma que puede durar hasta varios minutos, mientras el chorro se aleja e interactúa con el gas circundante. Tras el estallido, la envoltura de la estrella se expande rápidamente en forma de supernova. Solo se detecta un GRB cuando uno de estos chorros apunta casi directamente hacia la Tierra.

Los grupos que firman los dos artículos proponen distintos escenarios para explicar este extraño estallido. Por ejemplo, el GRB 200826A pudo ser impulsado por chorros que apenas salieron de la estrella antes de apagarse, en lugar del caso más típico en el que los chorros emergen de la estrella y recorren grandes distancias produciendo un estallido de larga duración.

“Incluso, este estallido podría pertenecer a una clase de GRBs cortos que impliquen nuevos escenarios, como la fusión de una estrella normal y una de neutrones, o burbujas magnéticas inducidas por la rotación diferencial (distintas velocidades de rotación del ecuador y los polos de una estrella) como mecanismo de producción de emisiones de rayos gamma —señala Alberto Castro-Tirado, investigador del IAA-CSIC que participa en las dos publicaciones—. En términos más generales, este resultado demuestra claramente que la duración de un estallido no indica su origen”.

El hallazgo ayuda a resolver un viejo enigma. Aunque los GRBs largos parecen estar asociados a supernovas, se detecta un número mucho mayor de supernovas que de GRBs largos, una discrepancia que persiste incluso considerando que los chorros de los GRBs

deben apuntar hacia nuestra línea de visión para ser detectados.

OBSERVACIONES MULTIONDA DESDE TIERRA Y DESDE EL ESPACIO

El GRB 200826A constituyó una fuerte explosión en alta energía que fue detectada por el telescopio espacial Fermi, así como la misión *Wind* (NASA), *Mars Odyssey* (NASA) y el satélite INTEGRAL de la Agencia Espacial Europea (ESA), que participan en un sistema de localización de GRBs denominado Red Interplanetaria (IPN). Dado que el estallido llega a cada detector en distintos momentos, cualquier par de ellos puede utilizarse para acotar en qué lugar del cielo se produjo. Unas diecisiete horas después del GRB, la IPN redujo su localización a una zona relativamente pequeña del cielo en la constelación de Andrómeda. Utilizando el Zwicky Transient Facility (ZTF) del Observatorio Palomar, el equipo escaneó el cielo en busca de cambios en la luz visible que pudieran estar relacionados con el desvanecimiento del resplandor posterior del GRB. De las más de veintiocho mil alertas de ZTF de la primera noche, solo una cumplía todos los criterios de búsqueda. Un día después del estallido, se halló emisión en rayos X en la misma región y dos días después en ondas de radio. Gracias a medidas con el Gran Telescopio Canarias, el equipo demostró que la luz del GRB había tardado 6.600 millones de años en llegar hasta nosotros (esto supone el 48% de la edad actual del universo, que es de 13.800 millones de años).

Pero para demostrar que este breve estallido procedía de una estrella en colapso era preciso captar también el brillo de la supernova emergente. Observaciones con el telescopio Gemini North permitieron detectar, a partir de 28 días después del estallido, una fuente en el infrarrojo cercano: la supernova.

Uchuu, la simulación más exacta y completa del universo

OFRECE LA POSIBILIDAD DE RECORRER LA HISTORIA DEL UNIVERSO, PERMITIENDO ASÍ ESTUDIAR LA EVOLUCIÓN DE SU ESTRUCTURA A GRAN ESCALA

Un equipo científico internacional ha desarrollado la simulación más realista del universo lograda hasta la fecha. La creación, bautizada como Uchuu (universo en japonés) ha sido posible gracias a ATERUI II, el superordenador más potente del mundo, construido por el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ) para facilitar la comprensión de distintos fenómenos astronómicos desde un punto de vista teórico. Este universo virtual, en cuya elaboración ha participado el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), podrá ser utilizado por grupos de investigación y por usuarios de la nube sin coste alguno.

“Esperamos que Uchuu permita estudiar la evolución del universo con un nivel de detalle y un volumen de información sin precedentes, incluyendo la singularidad de poder observar distintos momentos de su dimensión temporal, prácticamente desde después del Big Bang hasta el presente”, señala Francisco Prada, investigador del IAA-CSIC.

DE LA ESTRUCTURA DEL UNIVERSO A GALAXIAS INDIVIDUALES

Esta simulación consta de 2.097.152.000.000 (2,1 billones) de partículas en un cubo de 9.630 millones de años luz de lado. Aproximadamente, la dimensión de Uchuu es comparable a la mitad de la distancia que existe entre la

Tierra y las galaxias más lejanas observadas. Julia Ferrer, investigadora del IAA-CSIC que utiliza Uchuu para estudiar la estructura a gran escala del universo comenta: “Ninguna otra simulación es capaz de mostrar tanta información manteniendo una alta resolución. Normalmente tienes que elegir entre una de las dos variables”.

Otro de los rasgos más característicos de esta creación virtual es su capacidad para simular la evolución de la materia a lo largo de casi la edad total del universo: 13.800 millones de años de historia, treinta veces el tiempo transcurrido desde que la vida animal en la Tierra salió por primera vez de los océanos. “Lo que diferencia a Uchuu es que tú puedes decidir qué momento del universo quieres estudiar”, comenta Ferrer. “También puedes observar los halos de materia oscura y su comportamiento o, si lo prefieres, hacer zoom y centrarte en cúmulos de galaxias o en galaxias individuales”. La simulación permitirá a los investigadores plantear ciertos escenarios, como la colisión de dos agujeros negros en el pasado, y estudiar estos fenómenos sin la necesidad de recurrir a observaciones directas.

Para producir Uchuu los investigadores utilizaron todos los procesadores disponibles del superordenador ATERUI II durante un año entero; 40.200 núcleos de CPU trabajando durante 48 horas cada mes para hacer realidad este proyecto. Tomoaki Ishiyama, profesor asociado de la Universidad de Chiba (Japón), fue el encargado de desarrollar y ejecutar el código que crearía esta simulación. El resultado, comenta Ishiyama, “son 3 petabytes de datos, el equivalente a casi un millón de fotos de un teléfono móvil de 12 megapíxeles”.

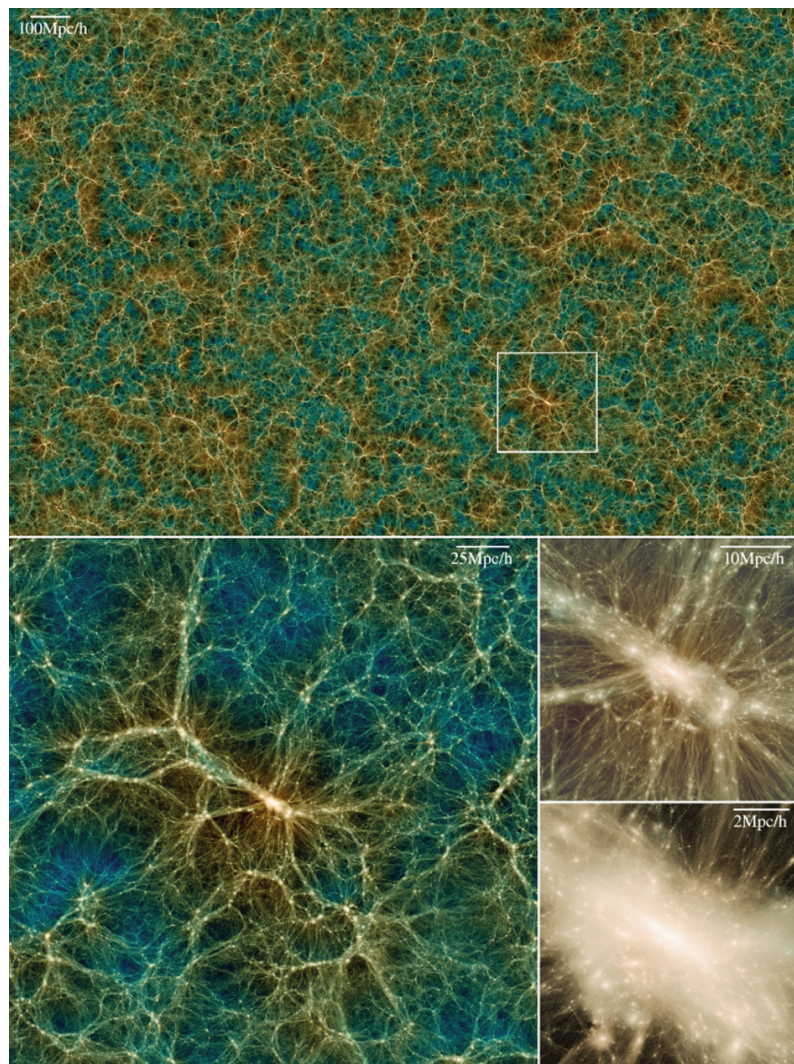
Almacenar tal cantidad de información y comprimirla en un formato

que pueda funcionar incluso en la nube no es una tarea fácil. Los investigadores tuvieron que recurrir al uso de técnicas computacionales de alto rendimiento. En todo este proceso ha intervenido el investigador del IAA-CSIC José Ruedas, encargado de desarrollar la infraestructura computacional Skun6.

El catálogo de Uchuu ya está disponible en la nube. Es totalmente gratuito, “algo bastante sorprendente teniendo en cuenta que estas simulaciones suelen ser muy costosas”, comenta Ferrer. “Queremos que Uchuu esté a disposición de otros grupos de investigación que quizás

no tengan capacidad ni dinero para producir su propia simulación. Al final es algo que nos beneficia a todos”.

Los productos generados a partir de este universo virtual serán clave para comprender mejor los cartografiados de galaxias que se obtendrán con los experimentos terrestres DESI y PFS y la misión espacial Euclid de la Agencia Espacial Europea (ESA). El equipo de Uchuu también está trabajando en una segunda publicación de datos que incluirá catálogos de galaxias virtuales y mapas de lentes gravitacionales.



Un sistema planetario que permite vislumbrar el futuro del nuestro tras la muerte del Sol

UN SISTEMA PLANETARIO, FORMADO POR UNA ESTRELLA ENANA BLANCA Y UN PLANETA SIMILAR A JÚPITER, MUESTRA QUE LOS PLANETAS PUEDEN SOBREVIVIR A LA MUERTE DE SU ESTRELLA

Dentro de unos cinco mil millones de años, el Sol agotará su combustible y comenzará a hundirse bajo su propio peso, proceso que calentará y dilatará las capas externas, que engullirán las órbitas de Mercurio, Venus, y puede que de la Tierra. A esta etapa, la de gigante roja, le seguirá otra en la que la envoltura se expandirá libre formando una nebulosa planetaria, y en cuyo centro aún brillará el núcleo desnudo de lo que fue el Sol, una estrella enana blanca. Aunque algunos estudios afirmaban que los planetas podrían sobrevivir a la muerte del Sol, en concreto los similares a Júpiter, las evidencias observacionales eran aún escasas. Ahora, un grupo científico presenta el hallazgo de un sistema formado por una enana blanca y un planeta de tipo joviano, que permite vislumbrar el posible futuro de nuestro Sistema Solar.

Las imágenes de alta resolución obtenidas desde el Observatorio Keck revelan que la enana blanca recién descubierta tiene un 60% de la masa del Sol, y que su exoplaneta superviviente es un mundo gaseoso gigante con una masa un 40% mayor que la de Júpiter. El planeta gira en torno a la estrella en una órbita amplia, a una distancia mínima de unas tres veces la que existe entre la Tierra y el Sol. "Este hallazgo confirma que los planetas que orbitan a una distancia suficientemente grande pueden seguir



Sistema planetario formado por una enana blanca y un planeta gaseoso. Debajo, ilustraciones de las etapas anteriores, con la estrella en fase adulta y cuando se expande como gigante roja. Crédito: W. M. Keck Observatory / Adam Makarenko.

existiendo después de la muerte de su estrella —señala Joshua Blackman, investigador de la Universidad de Tasmania (Australia) que encabeza el estudio— Dado que este sistema es un análogo a nuestro propio Sistema Solar, sugiere que Júpiter y Saturno podrían sobrevivir a la fase de gigante roja del Sol".

UNA ESTRELLA NO ORDINARIA

El equipo descubrió el planeta mediante una técnica denominada

microlente gravitatoria, que se produce cuando una estrella cercana a la Tierra se alinea momentáneamente con otra lejana. Esto crea un fenómeno en el que la gravedad de la estrella en primer plano actúa como lente y amplía la luz de la estrella de fondo. Si un planeta gira alrededor de la estrella cercana, deformará temporalmente la luz magnificada al pasar.

Cuando el equipo científico estudió la estrella anfitriona del planeta halló que su luz no era lo suficientemente

brillante para una estrella ordinaria de la secuencia principal (o una estrella adulta). Los datos también descartaron la posibilidad de que se tratara de una enana marrón (un objeto intermedio entre las estrellas y los planetas gigantes) o de un objeto compacto como un agujero negro. La única opción viable era una estrella enana blanca.

"Dado que el 97% de las estrellas de nuestra Galaxia se convertirán en enanas blancas, este descubrimiento y los que le sigan nos permitirán vislumbrar el futuro de los exoplanetas", indica Camilla Danielski, investigadora del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que participa en el hallazgo. El equipo de investigación tiene previsto incluir sus hallazgos en un estudio estadístico para averiguar cuántas otras enanas blancas cuentan con supervivientes planetarios intactos.

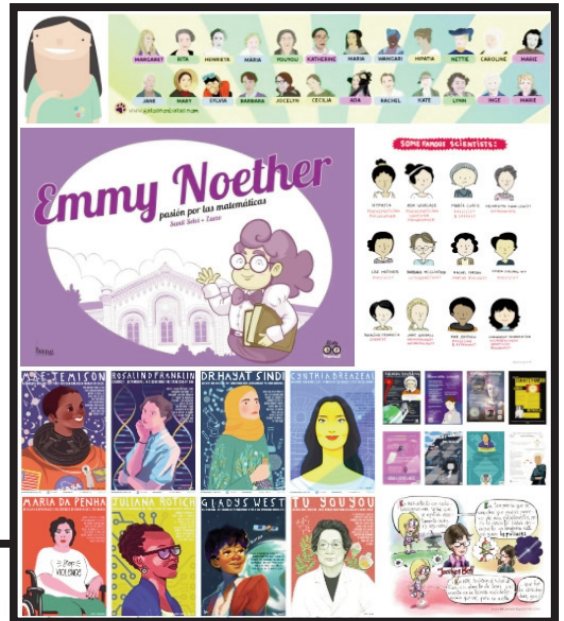
DÍA DE LA MUJER Y LA NIÑA EN LA CIENCIA

11 DE FEBRERO. DÍA INTERNACIONAL DE LA MUJER Y LA NIÑA EN LA CIENCIA

En la actualidad, las mujeres y niñas encuentran barreras de muchos tipos, a veces muy sutiles, que dificultan su presencia en la ciencia. Esta desigualdad es patente en la elección de los estudios por parte de las niñas y se va agudizando al avanzar en las carreras científicas y tecnológicas. Con el objetivo de lograr el acceso y la participación plena y equitativa en la ciencia para las mujeres y las niñas, la igualdad de género y el empoderamiento de las mujeres y las niñas, el 15 de diciembre de 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el 11 de febrero de cada año como el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia.

Dedicamos esta página a conmemorar este día, y recomendamos algunas iniciativas para fomentar la igualdad de género en nuestro país. La web <https://11defebrero.org/> acoge el listado completo de las actividades desarrolladas a lo largo de nuestra geografía, y recoge una enorme variedad de materiales de acceso y descarga online.

11defebrero.org



¿ESA PREGUNTA ES PARA MÍ?

Cuatro astrónomas del IAA responden preguntas enviadas por de escolares de primaria. Con la participación de Laura Hermosa (investigadora predoctoral), Sara Cazzoli (investigadora postdoctoral), María Passas (ingeniera) y Azaymi Siu (investigadora postdoctoral).

youtube.com/iaaudc



EN CIENCIA TAMBIÉN PASA



Serie de ilustraciones creadas por el CREAM que presentan situaciones vividas por investigadoras y que ponen de manifiesto la falta de igualdad en el ámbito científico. Crédito: CREAM y Javi Rollo.



ACOSO EN CIENCIA Y CIENTÍFICAS OLVIDADAS

La editorial Nextdoor Publishers ha publicado dos libros sobre la mujer y la ciencia. "Acoso. #MeToo en la ciencia española" es un trabajo periodístico sobre el acoso sexual y el acoso por razón de sexo en las universidades y los organismos públicos de investigación. En sus páginas encontraremos respuestas a muy diversas preguntas. ¿Qué encaja en estos comportamientos? ¿Cómo se regulan? ¿Qué se sabe acerca de las personas que acosan? ¿Qué dificultades afrontan quienes padecen problemas de este tipo? ¿Y cuál es el papel de las instituciones para prevenir y frenar esta lacra?

En "Tras las huellas de científicas españolas del XX" se rescatan biografías de investigadoras que trabajaron en la primera mitad del siglo xx y que llevaron a cabo aportaciones científicas destacadas en diferentes campos como la medicina, las ciencias naturales, la psicología, la física, la química o las neurociencias.

