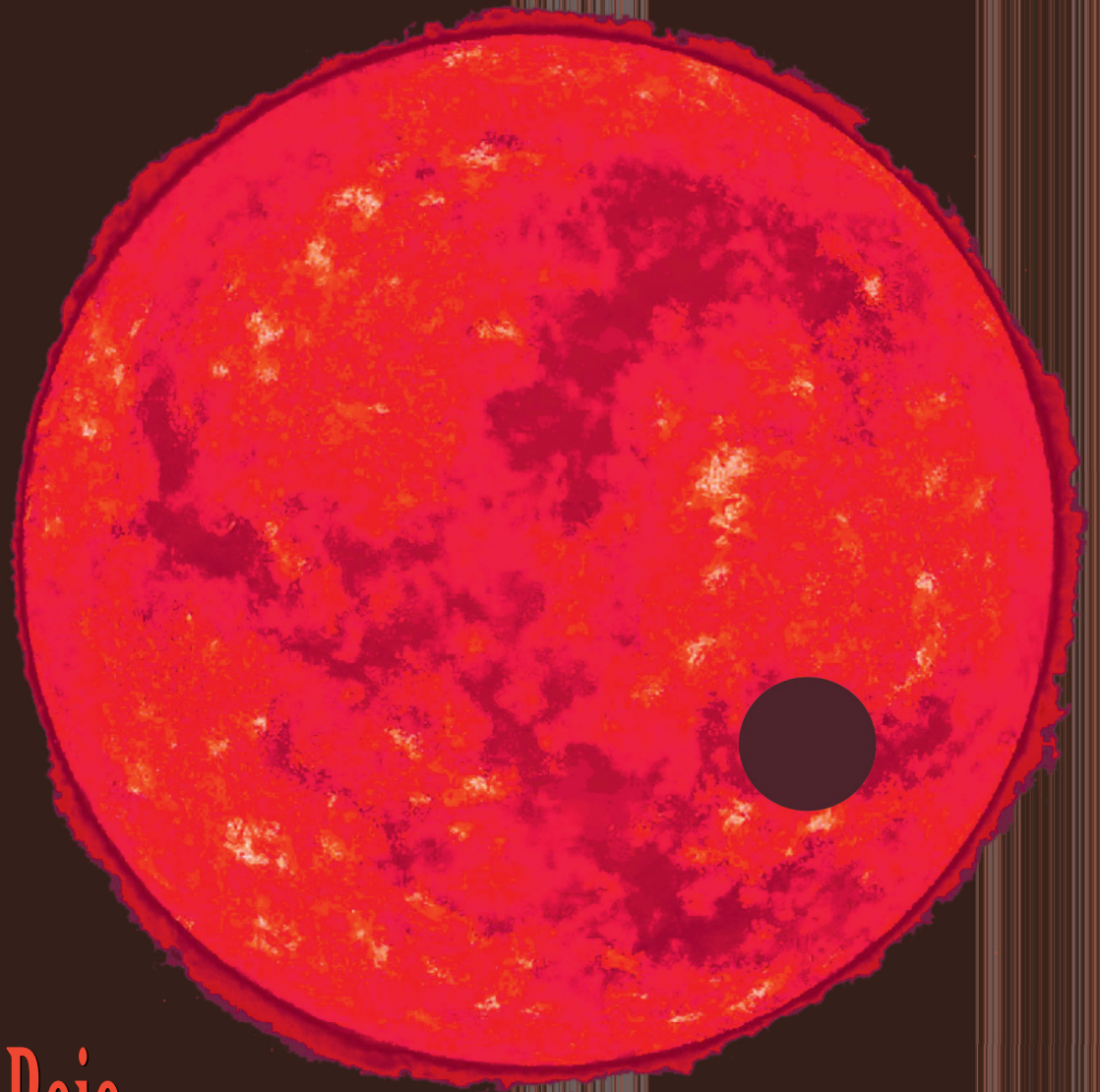


# I NFORMACIÓN Y A CTUALIDAD A STRONÓMICA

*revista.iaa.es*

JUNIO DE 2016, NÚMERO 49



## Pálido Punto Rojo

Explosiones rápidas en radio

Proyecto CALIFA

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

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

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en este ejemplar citando como fuente "IAA: Información y Actualidad Astronómica" y al autor o autores.

Instituto de Astrofísica de Andalucía  
Glorieta de la Astronomía sn , 18008 Granada. Tlf: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

Depósito legal: GR-605/2000  
ISSN: 1576-5598

La página web de esta revista ha sido financiada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA). <http://revista.iaa.es>

# SUMARIO

## REPORTAJES

El método Doppler y la estrella Próxima Centauri...3

Las estrellas ¡laten!...5

Dinámica de los sistemas planetarios...7

FRBs: fuentes transitorias sin un origen claro...9

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. El proyecto CALIFA ...12

CIENCIA EN HISTORIAS...Maria Assumpció Catalá i Poch... 14

EL "MOBY DICK" DE... Emilio J. Alfaro (IAA)...15

ACTUALIDAD ...16

ENTRE BASTIDORES...Brexit, ¿ejemplo de incultura científica? ...21

SALA LIMPIA ...22

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. Puntos brillantes en la superficie del Sol...23



### La estrella más cercana

Próxima Centauri es la estrella más débil (señalada en rojo) de un sistema estelar triple, formado también por Alfa Centauri (izda) y Beta Centauri (dcha).

Fuente: Skatebiker (English Wikipedia)

# PÁLIDO PUNTO ROJO

## La búsqueda de un planeta en Próxima Centauri

A UNA DISTANCIA DE TAN SOLO 4,2 AÑOS LUZ, PRÓXIMA CENTAURI ES LA ESTRELLA MÁS CERCANA AL SOL. OBSERVACIONES PREVIAS HABÍAN MOSTRADO SEÑALES ESPERANZADORAS PERO DÉBILES DE LA EXISTENCIA DE UN PEQUEÑO OBJETO EN TORNO A ESTA ENANA ROJA. LA CAMPAÑA DE OBSERVACIÓN PÁLIDO PUNTO ROJO (*PALE RED DOT*) SE DISEÑÓ PARA DETECTAR PEQUEÑAS VARIACIONES EN EL MOVIMIENTO

ORBITAL DE LA ESTRELLA QUE REVELARÍAN LA PRESENCIA DE UN PLANETA SIMILAR A LA TIERRA A SU ALREDEDOR. LA CAMPAÑA SE DESARROLLÓ DESDE ENERO HASTA ABRIL Y LLEVÓ ASOCIADO UN ESFUERZO POR COMUNICAR EN DIRECTO SU DESARROLLO, A TRAVÉS DE UNA WEB CON ACTUALIZACIONES SOBRE LAS OBSERVACIONES Y REPORTAJES DE DIVULGACIÓN. ESTOS TRES ARTÍCULOS FORMAN PARTE DEL PROYECTO

<https://palereddot.org/>

# El método Doppler y la estrella Próxima Centauri

## ¿EN QUÉ CONSISTE EL MÉTODO DOPPLER QUE EMPLEAMOS PARA BUSCAR UN PLANETA EN TORNO A PRÓXIMA?

Por Hugh R. A. Jones (*Centre for Astrophysical Research, U. Hertfordshire*)

Traducción: Rubén Herrero-Illana (*IAA-CSIC*)

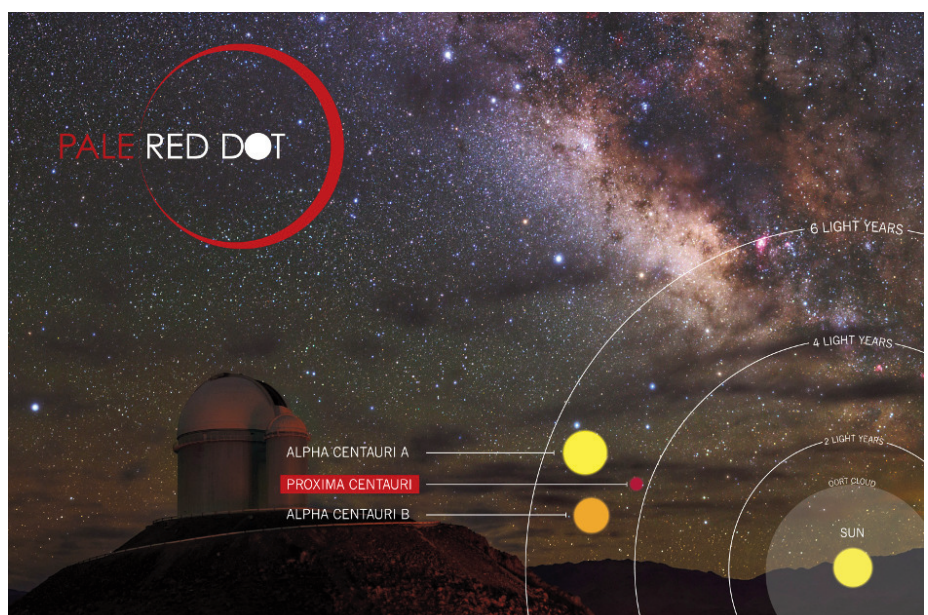
**PRÓXIMA CENTAURI ES LA ESTRELLA MÁS CERCANA AL SOL, DE AHÍ SU NOMBRE.** Sin embargo, gravitacionalmente hablando, pertenece a un sistema triple en el que Próxima gira alrededor de un sistema binario a una distancia diez mil veces mayor que la distancia entre el Sol y la Tierra. Los miembros de la binaria interior se denominan Alpha Centauri A y B, que se parecen bastante a nuestro Sol. Giran una alrededor de la otra a una distancia veinte veces mayor que la distancia Sol-Tierra.

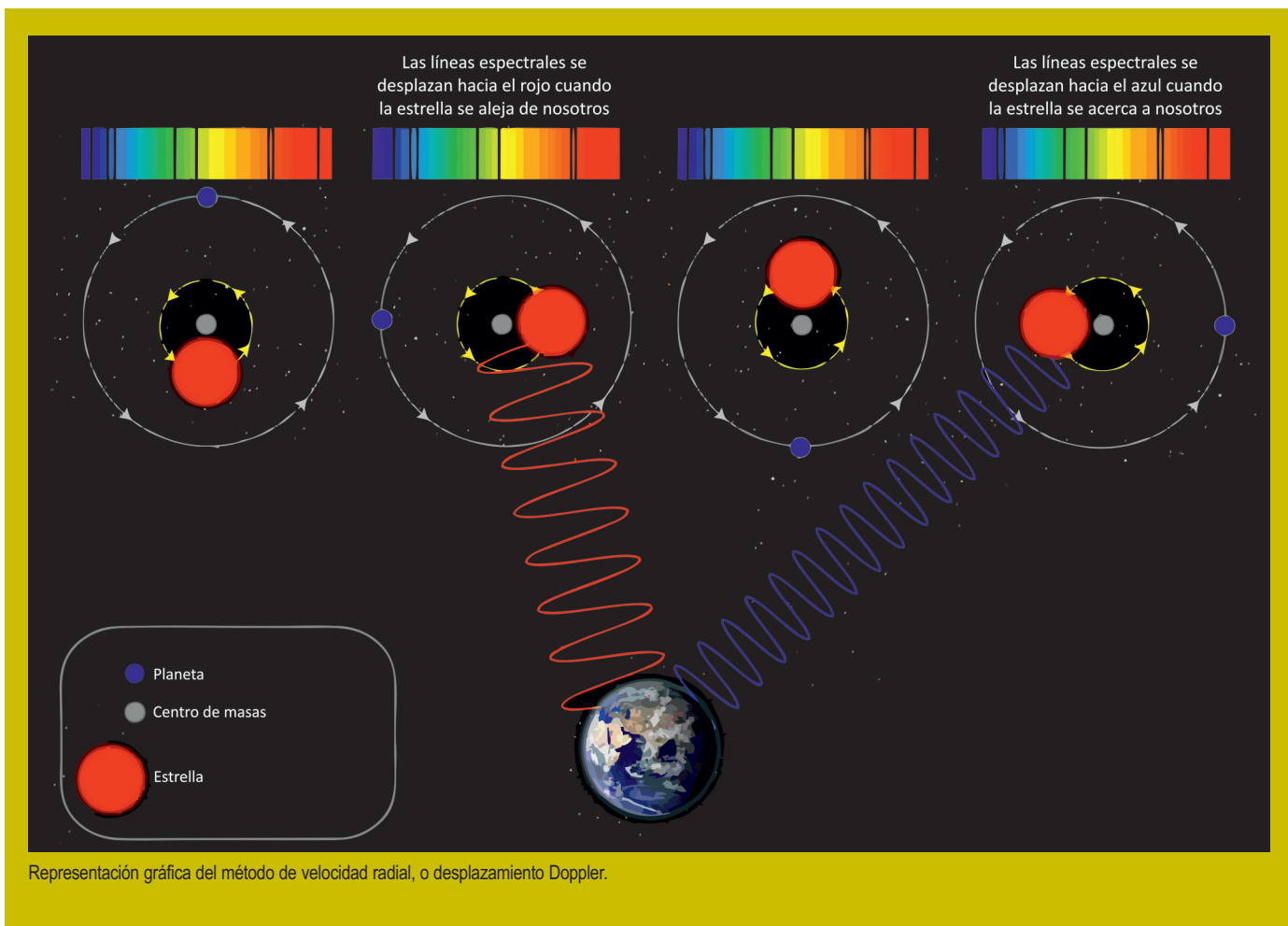
Las componentes de un sistema estelar múltiple se nombran añadiendo una letra mayúscula al nombre de la estrella. Alpha Centauri A es la componente más brillante, Alpha Centauri B es una estrella con una luminosidad ligeramente menor, y Alpha Centauri C, mucho más débil, es la que conocemos como Próxima Centauri. Alpha Centauri A y B se hallan muy juntas, y constituyen el segundo objeto noc-

turno más brillante en el hemisferio sur - después de Canopus, una estrella más caliente y distante-. Próxima Centauri no fue descubierta hasta 1915, en parte porque su luminosidad es solo un 0,1% de la del Sol. A pesar de tenerla al lado (astronómicamente hablando), no fue fácil detectarla por su cercanía a sus vecinas más brillantes. Naturalmente, la gente ha especulado desde hace mucho sobre la posibilidad de que exista vida en los lugares más próximos a nosotros fuera del Sistema Solar. En 2012, un estudio de velocidad radial -o desplazamiento Doppler- en Alpha Centauri B reveló la señal de un planeta con la masa de la Tierra siguiendo una órbita de tres días. Sin embargo, varios estudios posteriores han

analizado los mismos datos y no han confirmado esa señal. El descubrimiento de 2012 depende de un modelo que tiene en cuenta la actividad de Alpha Centauri B, del mismo modo que para detectar la Tierra alrededor del Sol habría que tener en cuenta los efectos de la rotación del Sol, su actividad, y los ciclos de las manchas solares. Varios científicos han intentado caracterizar los ciclos de actividad estelar, pero por ahora no ha sido posible confirmar la existencia de un planeta como la Tierra alrededor de Alpha Centauri B.

Uno podría preguntarse por qué tanto ese estudio de 2012 como nosotros usamos la técnica del desplazamiento Doppler cuando el telescopio espacial Kepler ha encontrado





tantos planetas. Es importante tener en cuenta que las detecciones de Kepler necesitan que el planeta bloquee la luz de las estrellas, de modo que, a pesar de que los estudios de tránsitos han sido extremadamente fructíferos, solo pueden detectar objetos alrededor de una pequeña fracción de estrellas cuya disposición produzca tránsitos. Sin embargo, las señales de desplazamiento Doppler o velocidad radial pueden, en principio, ser detectadas en cualquier estrella que tenga planetas a no ser que el plano de su órbita esté de cara a nosotros. Y Próxima Centauri es una buena candidata para buscar planetas ya que su masa y su radio son solo un 10% de los de Alpha Centauri B. La pequeña masa de Próxima Centauri implica que si ambas tuvieran un planeta de la misma masa, el de esta última sería proporcionalmente más sencillo de detectar. Pero, por supuesto, esto dependerá de los detalles. En nuestra búsqueda medimos el desplazamiento Doppler provocado por el planeta sobre su estrella anfitriona a través de su mutuo tirón gravitatorio. En el caso de Alpha Centauri B, la señal era de cincuenta y un centímetros por segundo (1,8 km/h), o aproximadamente la velocidad de un bebé gateando, y con una masa similar a la terrestre. Sin embargo, si encontramos una señal como esa alrededor de Próxima Centauri,

mucho menos masiva, implicaría un planeta aún más ligero.

Anteriores trabajos en Próxima nos dan la restricción de que cualquier señal a su alrededor no corresponderá a un planeta de más de diez masas terrestres. La masa de Próxima Centauri —la décima parte de la del Sol— implica que la proporción entre las masas de Próxima y cualquier planeta en su órbita será de más de tres mil. Para poner esto en contexto, piensa en la fuerza que ejerce sobre ti un objeto cuando lo atas a una cuerda y lo haces girar a tu alrededor. Una proporción de tres mil equivaldría a algo así como una pelota de golf, de unos cuarenta y cinco gramos, girando alrededor de un luchador de sumo, de unos ciento cincuenta kilos.

Cuando observamos el desplazamiento Doppler de las estrellas en busca de planetas ocultos, lo que en realidad hacemos es intentar detectar pequeños cambios en la luz, debidos a que las ondas de luz que nos llegan se comprimen y se estiran debido al movimiento que el planeta produce sobre la estrella (un efecto similar al que se produce al escuchar una ambulancia: si se acerca a nosotros se escucha en tono agudo, y grave cuando se aleja).

Tenemos la suerte de que la tecnología moderna, junto con un procesado inteligente

de datos desarrollado por sucesivas generaciones de astrónomos e ingenieros, nos permiten obtener medidas precisas de la frecuencia o longitud de onda durante periodos de tiempo largos. Si tenemos acceso a un telescopio y a una cámara digital sensible, podemos recolectar tanta luz de las estrellas como para poder dispersarla, de modo que en lugar de observar un gran rango de longitudes de onda —que percibimos como luz blanca—, podemos medir sutiles cambios en la luz en función de su longitud de onda.

*Anteriores trabajos en Próxima nos dan la restricción de que cualquier señal a su alrededor no corresponderá a un planeta de más de diez masas solares*

Esto es equivalente a hacer pasar la luz de la estrella a través de un potente prisma que nos permite separar la luz blanca en todos los colores del arco iris. En la práctica, esto se consigue haciendo incidir la luz sobre una red *echelle*. Se trata de una placa de cristal (como el portaobjetos de un microscopio) con cientos de líneas grabadas en cada milímetro. De esta forma la luz se dispersa mucho mejor que en un prisma, dándonos la

suficiente resolución para observar especies atómicas y moleculares en las que se producen transiciones particulares a energías concretas. Dado que Próxima Centauri está relativamente cerca y a que el espacio está muy vacío, cuando obtenemos un espectro de la estrella las líneas atómicas y moleculares que vemos tienen las intensidades que esperamos para la temperatura de Próxima Centauri; y las líneas se mueven siguiendo el movimiento relativo de la estrella con la Tierra, por lo que estamos seguros de que nuestro instrumento está observando la atmósfera de Próxima Centauri.

Otro ingrediente clave de los muchos que se necesitan para detectar con precisión los desplazamientos Doppler es una fuente de referencia estable para el espectrógrafo. En

el caso de nuestro experimento el instrumento HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*) usa una lámpara de torio-argón como fuente de referencia. En una bombilla normal, un filamento de tungsteno se calienta hasta emitir luz cuando se le aplica un voltaje. En una lámpara de referencia los voltajes que se aplican son mayores, de modo que los electrones de los átomos se ionizan. Los elementos que se eligen son aquellos con un gran número de estados de energía distintos. Cuando los electrones se excitan, se mueven entre todos los niveles posibles de energía, emitiendo fotones que se detectan como un bosque de líneas de emisión a lo largo de un amplio rango de longitudes de onda.

La mejor combinación que se ha encontrado

hasta ahora es la del elemento pesado torio y el gas inerte argón. Cada vez que tomamos un espectro de Próxima Centauri lo comparamos con el espectro de referencia de la lámpara de torio-argón para determinar cuánto se han movido las líneas del espectro de Próxima Centauri. La temperatura y la presión de la lámpara de torio-argón se controlan constantemente para asegurar que se mantienen constantes. La idea es que no haya ningún cambio en el procedimiento experimental entre una medida y la siguiente. Esto significa que podemos usar los datos ya registrados para deducir el movimiento de Próxima Centauri y por tanto cualquier desplazamiento Doppler debido a planetas que orbiten a su alrededor.

## Las estrellas ¡laten!

### EL ESTUDIO DE LAS PULSACIONES ESTELARES NOS PERMITE CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE LAS ESTRELLAS

Por Cristina Rodríguez López (IAA-CSIC)

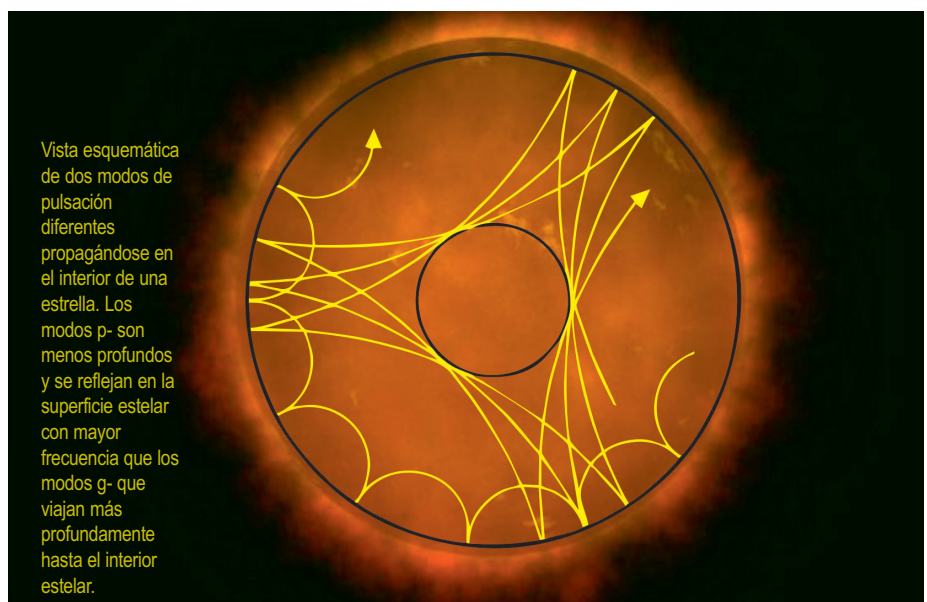
¿PERDÓN? ¿LAS ESTRELLAS QUÉ? ¿SÍ, LAS ESTRELLAS LATEN!

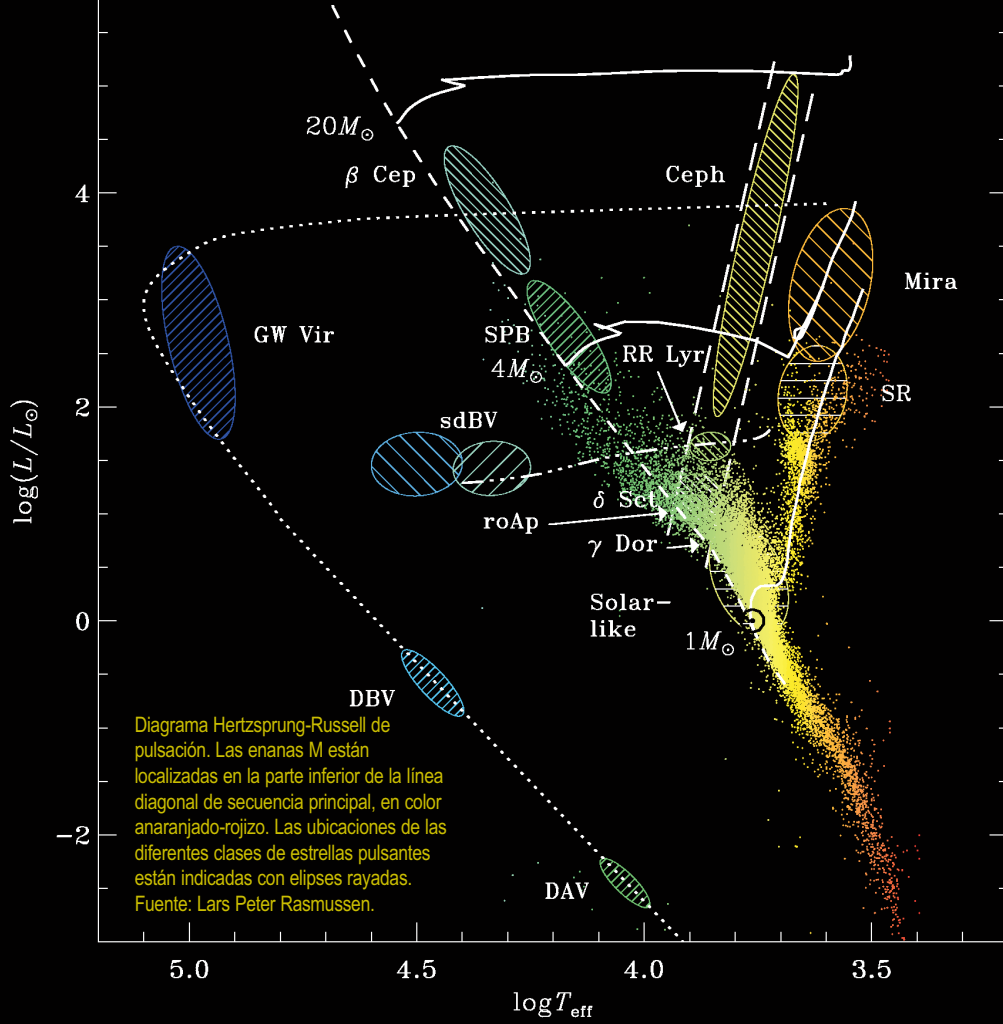
¡Incluso nuestro Sol! Se suele pensar que las estrellas están allá arriba en el firmamento, inmóviles, quemando su combustible nuclear de forma confortable y silenciosa, pero la realidad que hemos descubierto a través de su observación es bastante diferente. Las estrellas “respiran”, se “contorsionan” y “retuercen” de diversas formas, alterando su radio y temperatura superficial, lo que produce cambios periódicos en su luminosidad y velocidad en su superficie, que detectamos con nuestros telescopios e instrumentos. Estos efectos se conocen con el nombre técnico de pulsaciones, u oscilaciones, y la técnica que intenta extraer toda la información posible de estas estrellas pulsantes se conoce como astrosismología o, en el caso específico de nuestro Sol, heliosismología. La nomenclatura res-

ponde a las técnicas utilizadas, análogas a las de la sismología terrestre, que extraen información de las ondas sísmicas propagándose en el interior de nuestro planeta para derivar la composición y estratificación de la Tierra. La astrosismología analiza las frecuencias de oscilación de la luz procedente de las estrellas, que son la huella dactilar de la composición química y estructura del interior estelar, así como de otros parámetros físicos fundamentales, como su masa, densidad y edad. Entonces, ¿qué son estas pulsaciones? Las pulsaciones son, estrictamente hablando, ondas de presión y gravedad (normalmente llamadas modos p- y g-) que se propagan en

el interior de la estrella; podemos imaginarlas como ondas sonoras y marítimas, respectivamente, es decir, provocadas por cambios de presión y flotabilidad. Los modos p- y g- se propagan a diferente profundidad en el interior de la estrella y permiten sondear las diferentes regiones, que de otra forma serían inaccesibles, con solo medir su frecuencia en la superficie.

El hecho de que algunas de estas oscilaciones sean ondas acústicas es la razón por la cual, poéticamente, se suele hablar de “la música de las estrellas”. Las ondas acústicas resuenan en el interior estelar de la misma forma que en un instrumento musical, y aun-



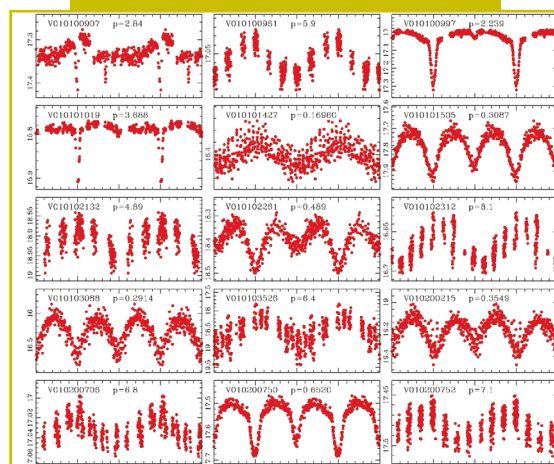


que sus frecuencias son demasiado bajas para que nosotros, los humanos, podamos oír las -y porque el sonido no se propaga en el vacío-, algunos científicos las han amplificado para que seamos capaces de escuchar cómo suenan. Sin embargo, la experiencia no es la más placentera del mundo, ya que las ondas acústicas en una estrella no son armónicas.

### ¿Cómo se originan las pulsaciones?

Las pulsaciones se deben al desplazamiento del plasma en el interior de la estrella. La radiación producida en los procesos de fusión nuclear en el núcleo, o capas, de la estrella, busca alcanzar la superficie pero, al hacerlo, se encuentra algunas piedras en el camino: una son las llamadas zonas de ionización parcial de los elementos químicos. En estas capas, la opacidad de la estrella aumenta al aumentar la presión, bloqueando la radiación procedente del interior y empujando las capas superiores, que entonces se hacen más transparentes, liberando la radiación y cayendo de nuevo, para empezar el ciclo, como si fuese un proceso de inhalación-exhalación, de la misma forma en que funciona un motor. Si la excitación producida en estas regiones es mayor que el amortiguamiento producido en todas las demás, entonces muy probablemente la estrella mostrará oscilaciones en su superficie. Este es el llamado mecanismo

kappa y es el responsable de las pulsaciones en varios tipos de estrellas variables, tales como las RR Lyrae, delta Scuti, beta Cephei, subenanas calientes o enanas blan-



Curvas de luz de estrellas variables en el cúmulo de estrellas M1. Fuente: Lee Jae Woo et al.

En estrellas que tienen una zona interior radiativa y una exterior convectiva, el flujo radiativo puede ser bloqueado y luego liberado en la interfase -o taoclina- entre estas dos capas de forma cíclica, como es el caso de las variables gamma-Doradus. Finalmente, en estas estrellas parcialmente convectivas, como nuestro Sol, se pueden producir también oscilaciones estocásticas,

debidas a los movimientos convectivos turbulentos en la superficie estelar -como sucede cuando calentamos agua en un recipiente-.

¿Todas las estrellas pulsan? Y Próxima, ¿es pulsante? ¡Buena pregunta! Para contestarla, podemos echar un vistazo al diagrama Hertzsprung-Russell pulsante (imagen izda) que sitúa todos los tipos de variables pulsantes conocidas en función de su temperatura y luminosidad. La línea discontinua diagonal que lo atraviesa contiene las estrellas en la secuencia principal (SP), que queman hidrógeno en el núcleo. Algunas de las delta-Scuti son estrellas pre-SP, mientras que gigantes como las Cefeidas o Mira, situadas sobre la SP, y subenanas y enanas blancas, como GW Vir, sdBV y DAV, por debajo de ella, son todas post-SP o estrellas evolucionadas. Así, parece que todas las estrellas, sin importar cuál sea su masa, temperatura o estado evolutivo, tienen el potencial de ser pulsantes; aunque hay que tener en cuenta que todas lo son, es decir, estas bandas de inestabilidad no son puras, sino que están pobladas también por estrellas "normales" no-pulsantes. En el caso de Próxima, y en general para enanas M, aún no sabemos si pulsan. Se han predicho las pulsaciones de forma teórica, pero aún no se han detectado observacionalmente, aunque las estamos buscando. Solo podemos estar seguros de que, si las oscilaciones existen, serán de muy baja amplitud, del orden de millonésimas de magnitud si lo que monitoreamos es la luz que nos llega de ellas, o menos de un metro por segundo si lo que medimos es cuánto sube y baja la superficie de la estrella debido a las oscilaciones. Si las oscilaciones tuviesen amplitudes superiores a estos límites, ya las habríamos detectado.

### ¿Cómo se detectan las pulsaciones?

Las frecuencias de oscilación, o inversamente, sus períodos, pueden variar desde solo unos pocos minutos hasta horas o unos pocos días. Para enanas M, como Próxima, el rango de variación predicho más probable está entre unos veinte minutos y tres horas. Para detectar estas oscilaciones usamos dos técnicas que también se utilizan en las búsquedas de exoplanetas: la fotometría y la espectroscopía. La fotometría mide la cantidad de luz procedente de una estrella durante un período de tiempo. Si la estrella no es variable, su curva de luz, o luz recibida en función del tiempo, será constante, mientras que variará de forma periódica si es una estrella pulsante.

La misma técnica es utilizada por misiones espaciales de satélites dedicados a la búsqueda de tránsitos planetarios, como KEPLER y CoRoT, y el futuro PLATO, que miden la disminución en el brillo de una estrella cuando un planeta que la orbita cruza nuestra línea de visión.

La espectroscopía, a través del método de las velocidades radiales, mide los cambios periódicos en la velocidad de las líneas espectrales de la estrella causados por la subida y bajada de la superficie estelar provocada por las oscilaciones. Se trata de un efecto similar al producido por los planetas al girar en torno a la estrella, ya que su tirón gravitacional produce también cambios en la

velocidad de las líneas. Este es el mismo tipo de observaciones que estamos llevando a

---

*Parece que todas las estrellas, sin importar cuál sea su masa, temperatura o estado evolutivo, tienen el potencial de ser pulsantes*

---

cabo para Próxima con el espectrógrafo HARPS.

Entonces, ¿qué papel juegan las pulsaciones en el descubrimiento de exoplanetas? En primer lugar, tenemos que estar seguros de que

las pulsaciones no se confundan con un planeta, ya que a veces pueden imitarlo; además, si la estrella es pulsante, las observaciones en busca de planetas han de diseñarse para minimizar la influencia de las pulsaciones en la adquisición de datos, o corregir los datos a posteriori, antes de que se pueda evaluar la señal de un planeta. Sin embargo, lo más interesante es que cuando una estrella pulsante alberga un planeta, se puede derivar con mucha precisión la masa, radio y edad de la estrella, y esta es una forma única y muy valiosa de determinar los parámetros físicos del planeta y su historia evolutiva. Así que, ¡ojalá encontremos muchos planetas en torno a estrellas pulsantes!

# Dinámica de los sistemas planetarios

**PARA COMPRENDER VERDADERAMENTE LOS NUEVOS EXOPLANETAS ES NECESARIO CONTEMPLAR EN SU CONJUNTO EL SISTEMA PLANETARIO AL QUE PERTENECEN**

Por Francisco J. Pozuelos (IAA-CSIC)

**EL OBJETIVO ÚLTIMO DE LA INVESTIGACIÓN DE EXOPLANETAS CONSISTE** en situarnos en el universo. ¿Somos el resultado de la evolución normal? Es decir, ¿tiende la vida a aparecer prácticamente en todas partes, lo que significa que la aparición de la vida inteligente es solo una cuestión de tiempo o somos, por el contrario, únicos, o algo que solo se ha dado en unos pocos lugares en el vasto universo? Esta pregunta ha perseguido a la humanidad desde que emergió la conciencia y, por primera vez en la historia, estamos cerca de responderla. Corren tiempos emocionantes.

Cuando la próxima generación de telescopios e instrumentos apunten hacia el cielo, podremos observar sistemas planetarios como nunca antes: supertierras, planetas

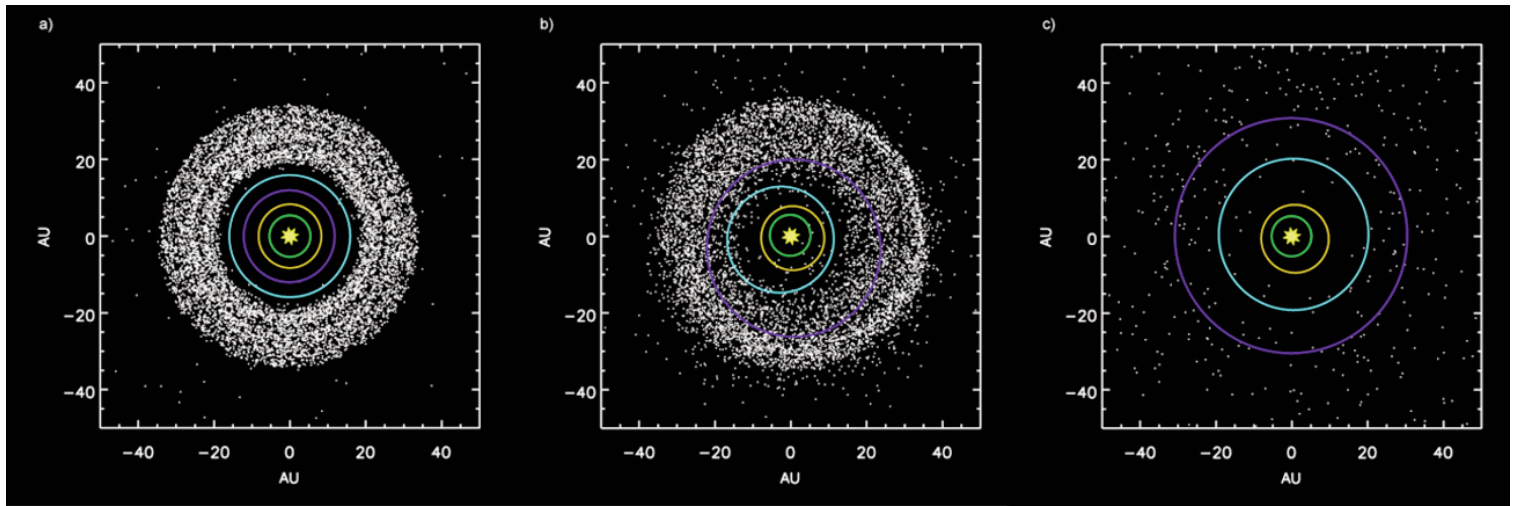
exóticos, sistemas planetarios en condiciones extremas ... No sabemos lo que vamos a encontrar, pero seguro que va a ser sorprendente.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta nueva tecnología solo nos ofrece una imagen congelada en el tiempo. Para entender lo que observamos es necesario desarro-

llar estudios dinámicos en el orden de tiempo de vida del sistema, desde unos pocos millones a miles de millones de años. Esto es posible gracias a los grandes avances en la ciencia computacional de las últimas décadas, que nos permiten investigar lo que lleva a los sistemas planetarios a ser como los vemos hoy y cómo evolucionarán en el

Concepción artística de la misión PLATO, que buscará planetas alrededor de otras estrellas. Fuente: DLR (Susanne Pieth).





Simulación que muestra la evolución del Sistema Solar. Izda: configuración temprana de los planetas y planetesimales externos antes de la resonancia 2:1 entre Júpiter y Saturno. Centro: dispersión de los planetesimales hacia el Sistema Solar interno tras el desplazamiento orbital de Neptuno (azul oscuro) y Urano (azul claro). Derecha: configuración final tras la expulsión de los planetesimales por los planetas. Fuente: R. Gomes et al.

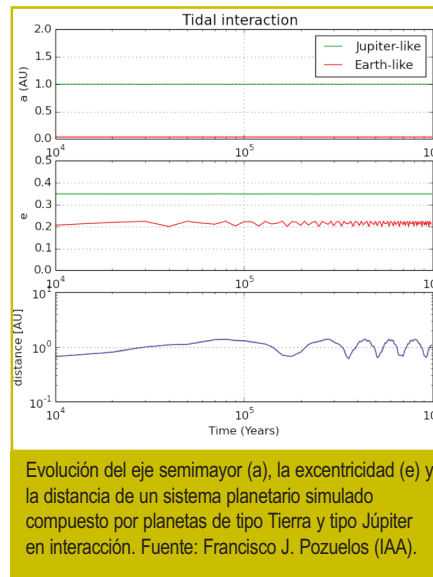
futuro. También es necesario entender que tenemos que estudiar el sistema planetario en su conjunto, teniendo en cuenta otros planetas, discos planetesimales o incluso la evolución de la estrella anfitriona. A continuación se comentan algunos ejemplos de la dinámica planetaria que nos ayudarán a aumentar nuestro conocimiento sobre la formación y evolución:

### Interacción planeta-planeta y migraciones

Parece que los sistemas multiplaneta tienden a tener órbitas más circulares. Este hecho disminuye la influencia de los planetas entre sí, lo que genera estabilidad durante largos períodos de tiempo. Por otra parte, los sistemas planetarios con planetas en órbitas excéntricas generan un escenario caótico e inestable, donde los cuerpos pueden chocar e incluso ser expulsados del sistema. Además, durante los primeros pasos de la evolución después del proceso de formación, los planetas pueden sufrir las denominadas "migraciones". Debido a este mecanismo los planetas puede evolucionar a órbitas exteriores o interiores; tal escenario puede explicar la existencia de los "júpiteres calientes" (planetas con la masa de Júpiter en órbitas muy próximas a su estrella).

### Interacciones de marea

Algunas de las técnicas de observación utilizadas para detectar exoplanetas son más sensibles a los planetas cuyas órbitas están cerca de la estrella anfitriona, y estos planetas experimentarán fuerzas de marea significativas como resultado de esta proximidad. La relevancia de las mareas en la evolución de los planetas en órbitas cercanas fue evidente con el descubrimiento de 51 Peg b, cuyo semieje mayor se estableció en solo el 5% de la distancia entre la Tierra y el Sol. Desde entonces, la interacción de marea entre las estrellas y sus planetas cercanos se considera la causa de muchos efectos. Por ejemplo,



Evolución del eje semimayor (a), la excentricidad (e) y la distancia de un sistema planetario simulado compuesto por planetas de tipo Tierra y tipo Júpiter en interacción. Fuente: Francisco J. Pozuelos (IAA).

generalmente se espera que estas fuerzas de marea den lugar a la alineación de los ejes de rotación, a la sincronización de la rotación y de los períodos orbitales, a la reducción de la elipticidad orbital (circularización de las mareas), a la reducción del eje semimayor y la conversión de energía orbital en calentamiento de marea del planeta.

Este efecto de calentamiento de marea en planetas rocosos (o terrestres) y exosatélites puede tener implicaciones importantes para la habitabilidad. Por ejemplo, en nuestro Sistema Solar, se dan dos ejemplos en el sistema de lunas de Júpiter: el frío satélite Europa es un cuerpo rocoso cubierto por una corteza de hielo de agua de 150 kilómetros, y el calentamiento de marea sería el responsable de mantener un océano de agua bajo la superficie. Otro caso claro es el de Ío, donde la extrema violencia de las mareas provoca una intensa actividad volcánica global y el rejuvenecimiento rápido de su superficie,

descartando cualquier posibilidad de habitabilidad. Por lo tanto, resulta imprescindible realizar un tratamiento correcto de las interacciones de marea para determinar si el planeta fue, es, o será habitable, y por cuánto tiempo. De especial interés serán aquellos planetas en órbitas cercanas, clasificados como planetas terrestres y situados en torno a estrellas enanas rojas (o estrellas M), donde se espera que la zona habitable se halle en la región donde actúan las mareas.

### Interacciones entre los planetas y los discos de escombros

Los discos de escombros, similares al cinturón principal de asteroides y el cinturón de Kuiper en el Sistema Solar, se han observado en varios sistemas exoplanetarios. Estos discos se componen de material de segunda generación y su presencia implica la existencia de una población significativa de planetesimales. La frecuencia de impacto de estos cuerpos menores en los planetas es especialmente interesante para aquellos sistemas planetarios con planetas en la zona habitable. En primer lugar se asume que son una fuente importante de agua y de compuestos orgánicos una vez que el proceso de formación está terminado. Pero, por otra parte, un gran impacto elimina cualquier posibilidad de habitabilidad, un hecho que se comprobó con el impresionante impacto del cometa Shoemaker-Levy 9 con Júpiter en 1994, que constituyó la primera observación del impacto de dos objetos en el Sistema Solar. Todos estos estudios complementarán la información obtenida de los telescopios que nos da una mejor idea de cómo evolucionan los sistemas planetarios. Vamos a ser capaces de determinar lo raros que son nuestro planeta y nuestro sistema planetario.



# FRBs: fuentes transitorias sin un origen claro

**EN 2007 SE IDENTIFICABA EL PRIMER FRB, UN TIPO DE PULSO EN RADIO MUY BREVE CUYO ORIGEN ES AÚN OBJETO DE DEBATE**

Por Antxon Alberdi (IAA-CSIC) y Angela Gardini (IAA-CSIC)

UNO DE LOS FENÓMENOS MÁS ESTUDIADOS Y MÁS ESPECTACULARES EN LA ASTROFÍSICA ACTUAL es la emisión intensa y “repentina” de las denominadas fuentes transitorias (*transients* en inglés), objetos astrofísicos que no tienen una emisión permanente en el tiempo sino que, en algún momento de su vida, emiten luz de forma brusca.

En algunos casos, estos objetos repiten episodios de actividad con un ritmo fijo, como en el caso de los púlsares. En otros sufren estallidos que van acompañados de variaciones en su estructura, como sucede en los microcuásares o en las erupciones estelares. Pero en otros tienen un origen catastrófico, de manera que suceden en unas circunstancias únicas que conducen a la desaparición del objeto astrofísico. Es el caso de las supernovas o los estallidos de rayos gamma (GRBs), cuya emisión está asociada con un proceso de colapso de las estrellas muy masivas.

Dependiendo del mecanismo responsable de su emisión, las fuentes transitorias pueden clasificarse en dos grandes grupos. En el primero se hallarían los objetos que emiten radiación sincrotrón incoherente, que se caracterizan por estar asociados con eventos explosivos (supernovas) o fenómenos de acreción (microcuásares o núcleos activos de galaxias –AGNs–), tienen una variabilidad relativamente lenta y una temperatura de brillo limitada a valores del orden de  $10^{12}$  grados kelvin (la temperatura de brillo sería la temperatura del cuerpo negro que tuviera una densidad de flujo equivalente al del objeto astronómico). De este tipo de objetos (tormentas solares, radio estrellas, microcuásares, supernovas o AGNs) pueden obtenerse imágenes y estudiar su variación

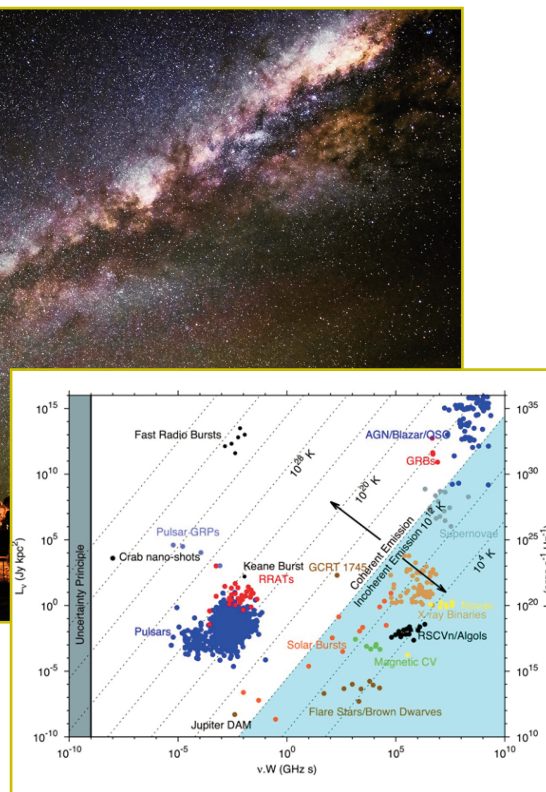


estructural con el tiempo. Así, se ha cartografiado la expansión angular de radio supernovas y remanentes de supernova, o los jets relativistas de microcuásares o AGNs.

En un segundo grupo se hallarían los objetos que presentan emisión coherente, se caracterizan porque presentan una variabilidad relativamente rápida (escalas temporales inferiores al segundo), muestran emisión muy polarizada, un espectro que disminuye con la frecuencia de observación y temperaturas de brillo muy altas (muy por encima de  $10^{12}$  K). En general son objetos muy compactos, de modo que no se ha podido estudiar su estructura en detalle. Por ello, no se ha medido variabilidad estructural y se han estudiado fundamentalmente mediante series temporales. Son objetos de este tipo los púlsares, con temperaturas de brillo de entre  $10^{20}$  y  $10^{24}$  grados, los RRATs, que emiten más esporádicamente y con fuerte variabilidad de pulso a pulso, los magnetares, y unas fuentes recientemente caracterizadas denominadas “Explosiones o ráfagas de radio rápidas” (FRBs, del inglés Fast Radio Burst) que alcanzan temperaturas de brillo de hasta los  $10^{36}$  grados kelvin. Estos son los objetos que abordamos en este artículo.

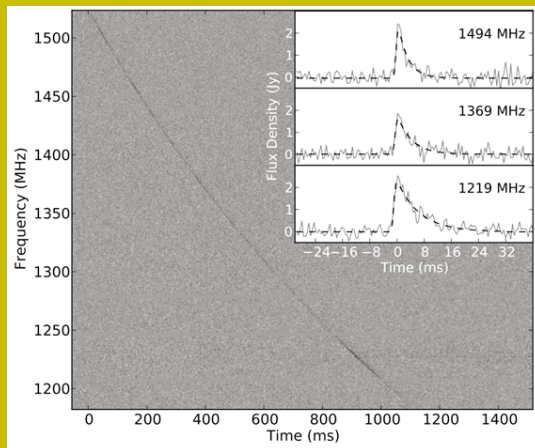
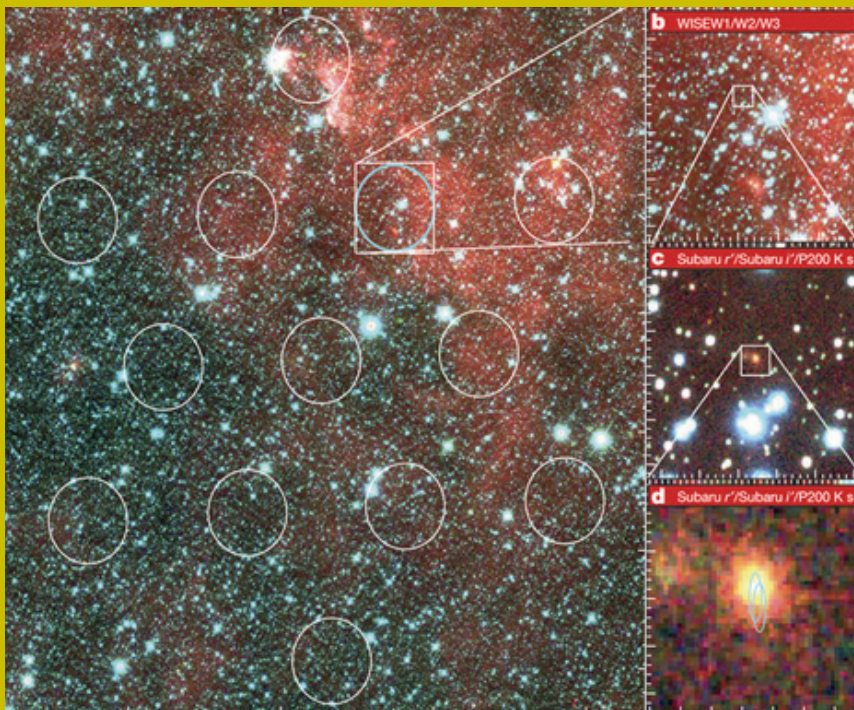
**Pero, ¿qué son los FRBs?**

Los FRBs son pulsos de emisión en ondas



Arriba, el radiotelescopio Parkes, desde donde se halló el primer FRB. Debajo se muestra toda la fauna de objetos descritos en esta página. En el eje de abscisas se indican las escalas temporales de variabilidad, mientras que en el eje de ordenadas se representa la luminosidad del objeto. En el gráfico puede verse la división clara entre las dos familias de fuentes transitorias. Los FRBs tienen escalas temporales de variación del milisegundo, como los púlsares, pero sin embargo tienen luminosidades de  $10^{35}$  erg/s/Hz como los AGNs o los GRBs.

de radio, con una duración de milisegundos, que parecen originarse fuera de nuestra Galaxia. Fueron encontrados casualmente en observaciones que se llevaron a cabo con el radiotelescopio de Parkes, en Australia. El primero fue identificado en el año 2007, aunque se detectó en el año 2001. Por esa razón se le conoce con el nombre de FRB010724 (donde las letras FRB son el acrónimo de *Fast Radio Burst* y los números representan la fecha de su observación) o también como el *Lorimer burst*, debido al nombre de su descubridor. FRB010724 tuvo un brillo muy intenso (30 Janskys) y duró cinco milisegundos. Desde entonces, se identificaron otros FRBs en los archivos del telescopio de Parkes, pero como inicialmente todos estos fenómenos



Arriba. Posiciones de apuntado del telescopio de Parkes. FRB150418 se detectó en el campo seleccionado. En las imágenes laterales, se muestra la búsqueda de la contrapartida con el telescopio Subaru.

Izda. Medida de dispersión. Se muestra cómo el pulso se retarda al disminuir la frecuencia de radio para el FRB110220.

habían sido detectados solo con el telescopio australiano se pensó que podrían estar asociados con algún error instrumental local, por ejemplo en la electrónica del sistema. Sin embargo, en los años 2014 y 2015 se identificaron dos eventos más en los archivos de otros telescopios distintos, el FRB121102 por el telescopio de Arecibo y el FRB110523 por el telescopio de Green Bank. Ello validaba su existencia. Eran fenómenos realmente excepcionales: emitirían tanta luz como la que emitiría el Sol en diez mil años y el tamaño de la región emisora debería ser inferior a unos cientos de kilómetros.

Los FRBs son difíciles de observar porque son impredecibles y de muy corta duración. Por ello, para su detección se necesitan telescopios que realicen cartografiados de grandes regiones del cielo y sean capaces de detectarlos. Hasta ahora se han detectado unos diecisiete objetos\*.

Se supone que cientos de estos eventos suceden cada día, de forma que si se detectaran se convertirían en pruebas cosmológicas, es

decir, trazarían la densidad del medio interestelar e intergaláctico en múltiples direcciones y medirían, por lo tanto, la distribución de materia en el universo. De hecho, el reciente descubrimiento de la galaxia que, en principio, alberga al FRB150428, ha permitido determinar la densidad de bariones (partículas formadas por quarks) en el medio intergaláctico.

Por otro lado, dado que se trata de objetos compactos estelares, su entendimiento más profundo permitirá avanzar en el conocimiento de numerosos aspectos de física fundamental, como la gravedad extrema.

### ¿Cuál es el origen de estas ráfagas de radio?

Hay numerosas hipótesis sobre su naturaleza. La mayoría de ellas apuntan a que se trata de fuentes extragalácticas, debido al retraso con que llega la señal de bajas frecuencias con respecto a las de alta, dado que atraviesan un medio que puede aproximarse como un plasma frío. Este medio puede ser de origen galáctico como el medio intereste-

lar ISM (del inglés *InterStellar Medium*) o de origen extragaláctico como el medio intergaláctico IGM (del inglés *InterGalactic Medium*). Este retraso se conoce como medida de dispersión, DM (del inglés *dispersion measure*).

Un ejemplo concreto que muestra la demora en la llegada del pulso a bajas frecuencias puede verse en la imagen inferior izquierda. En el cálculo de la medida de dispersión hay que tener en cuenta la contribución tanto del medio interestelar como galáctico, además de la del ambiente cercano al progenitor del FRB. Precisamente, los valores tan altos de la medida de dispersión, mucho mayores que los que cabría esperar si se produjeran solo en nuestra Galaxia, fueron la primera prueba de su origen extragaláctico. Sin embargo, hay que ser cautos porque la contribución galáctica a la medida de dispersión se calcula a través de modelos que podrían subestimar su valor y, por tanto, no se puede excluir definitivamente un origen galáctico, aun cuando parezca muy poco probable.

Al principio, una de las interpretaciones más apoyadas esgrimía que el FRB se debía al colapso de una estrella de neutrones, una vez que la presión de degeneración de los neutrones no puede sostenerla y se convierte en un agujero negro. Otros autores sugerían que los FRBs podrían estar asociados con la colisión de estrellas de neutrones o también con los GRBs de corta duración. O incluso podría ser una estrella tipo púlsar o magnetar (un púlsar muy joven), con un campo magnético muy intenso.

### Resultados contradictorios

La investigación sobre los FRBs es muy reciente y muchas veces contradictoria. En los últimos meses se han publicados dos artículos que chocan aparentemente en sus resultados:

Por un lado, Keane et al. (2016, Nature 530, 453) han detectado el FRB150418 y localizado por primera vez su contrapartida, una fuente transitoria (técnicamente, denominada *afterglow*) cuya emisión ha durado unos seis días. De este modo han podido determinar el corrimiento al rojo (la distancia) de la galaxia en la que explotó, simultáneamente a la medida de dispersión. Obviamente, todavía no pueden establecerse conclusiones sobre las propiedades de las galaxias anfitrionas en las que se producen los FRBs, pero los primeros datos parecen indicar que, en el caso de FRB150418, la galaxia presenta una baja tasa de formación estelar. Ello parecería indicar que los modelos que asocian los FRBs con un magnetar joven, que suponen formación estelar

reciente, podrían descartarse. Sin embargo, hay que ser cuidadosos con la interpretación, porque la asociación del FRB y la galaxia debe confirmarse. En la imagen superior de la página contigua se muestra la región del cielo donde se detectó el FRB, así como las posiciones de apuntado del receptor del telescopio de Parkes que permite estudiar trece campos de visión simultáneamente. El FRB se detectó en el campo número cuatro, cuyas imágenes amplificadas se muestran en el lateral.

La existencia de esta fuente transitoria permitió a estos autores sugerir que el FRB podría asociarse con un fenómeno explosivo, en concreto una explosión de rayos gamma (GRB) de corta duración. Sería un fenómeno explosivo, la etapa final de la vida de una estrella o la coalescencia de un sistema estelar (por cierto, una fuente potencial de emisión de ondas gravitatorias). Descartarían un fenómeno tipo pulsante.

Por otro lado, Spitler et al. (2016, Nature 531, 202) han encontrado por primera vez un FRB cuya emisión se ha repetido, aunque no de forma periódica. Así, se han encontrado diez eventos adicionales en la dirección de FRB121102, ya identificado en el año 2014 en los archivos del telescopio de Arecibo, y todos ellos con la misma medida de dispersión y con una posición consistente con la primera explosión. Ello supondría que el origen de los FRBs no sería un fenómeno explosivo que acaba con la vida de la estrella, sino que la emisión parecería asociada con pulsos de una estrella de neutrones joven, situada fuera de nuestra galaxia y que estuviera muy magnetizada. La búsqueda de eventos se realizó con el radiotelescopio de Arecibo, utilizando un receptor que permite estudiar siete campos de visión simultáneamente. En la imagen de la derecha se muestran las regiones vecinas al evento original (identificado con el número 1) donde se realizó la búsqueda: cuatro de las detecciones fueron en uno de los campos (identificado con los números 2-5) y las otras seis en un segundo campo de búsqueda, próximo al anterior (identificado con los números 6-11).

Todos los eventos muestran la misma medida de dispersión, por lo que provienen de la misma región del cielo. Sin embargo, tie-

nen diferentes perfiles de emisión, diferentes flujos e incluso diferente distribución espectral. Los autores descartan que estas variaciones puedan deberse a la refracción de la radiación en el medio interestelar o a efectos de lente gravitacional, y favorecen

En cambio, si fuera un objeto que repite, se abren diferentes opciones:

a) Podrían ser *flares* (estallidos) en estrellas galácticas. El valor tan alto de la medida de dispersión requeriría que existiera material en la corona estelar, pero no podría explicar

el valor tan similar que se encuentra para todos los eventos.

b) Podrían ser planetas orbitando en torno a un púlsar con un viento fuertemente magnetizado, de forma que se produjera un estallido por periodo orbital. Sin embargo, la separación entre eventos consecutivos es demasiado pequeña.

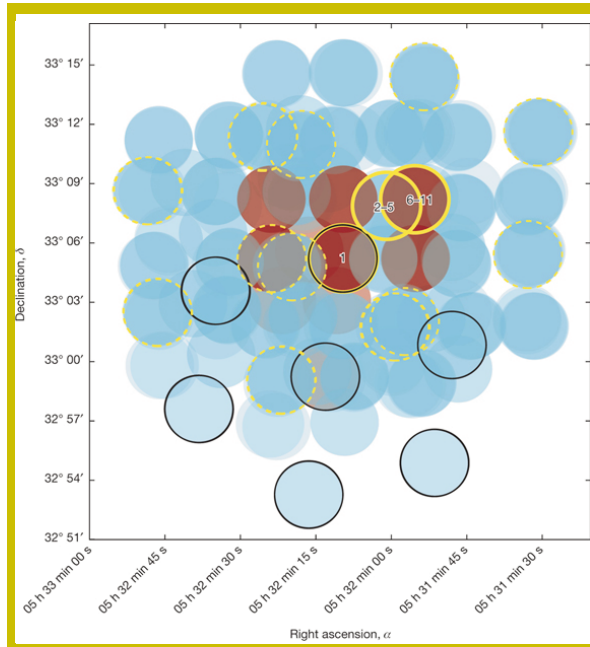
c) Podrían ser explosiones gigantes en los magnetares. Los magnetares son estrellas de neutrones con un campo magnético extremadamente intenso. Es un tipo de púlsar que emite enormes cantidades de rayos X y gamma en periodo de tiempo muy corto. La vida activa de un magnetar es corta, ya que sus potentes campos magnéticos se desmoronan pasados los diez mil años, perdiendo consecuentemente su vigorosa emisión de rayos X. Sin embargo, no se conoce ningún magnetar que haya mostrado actividad reincidente de grandes estallidos de emisión.

d) Podría ser un pulso de emisión gigante de un púlsar extragaláctico, como el púlsar de la nebulosa del cangrejo. Son las fuentes conocidas como *Nano Shots* (pueden verse en la primera imagen). Es una opción plausible, que explicaría la variabilidad entre diferentes eventos, pero todavía no está claro cómo se podría producir tanta energía.

Solo la detección de nuevos eventos permitirá conocer la física de estos objetos. Uno de los primeros

pasos para clarificar su naturaleza será establecer con precisión su localización en el cielo, su distancia y su asociación con una galaxia anfitriona.

Para esta investigación, se necesitarán telescopios muy sensibles. Es importante recordar que el telescopio de Arecibo tiene una sensibilidad mayor que el telescopio de Parkes (305 metros frente a 76 metros) y, por tanto, no se puede excluir que también los FRBs detectados con Parkes pudieran repetir su actividad. Por ejemplo, en el caso del FRB121102 detectado por Arecibo, Parkes habría sido capaz de detectar tan solo dos de los diez eventos adicionales. Futuros telescopios como SKA serán esenciales para esta investigación.



Detecciones múltiples del FRB121101 con el telescopio de Arecibo.

que los diferentes perfiles se deban a razones intrínsecas.

Aparentemente, los resultados son contradictorios entre sí y necesitarán ser investigados en detalle. Y tampoco es descartable que haya varias familias diferentes de FRBs, como ya ha sucedido con los GRBs. Solo la investigación futura lo dirá.

### La naturaleza de los FRBs

Se han considerado numerosas hipótesis para la naturaleza de los FRBs, todas ellas con sus pros y sus contras. Si fuera un objeto catastrófico, serían explicaciones posibles un GRB de corta duración o el proceso de fusión de una binaria u otro proceso de colapso estelar.

# EL PROYECTO CALIFA

EL PASADO ABRIL DE 2016 SE HICIERON PÚBLICOS LOS DATOS DE MÁS SEISCIENTAS GALAXIAS, RECOLECTADOS DURANTE SEIS AÑOS DE INTENSO TRABAJO. EL PROYECTO "CALAR ALTO LEGACY INTEGRAL FIELD AREA SURVEY" (CALIFA) ES UN CONSORCIO DE DIVERSAS INSTITUCIONES INTERNACIONALES, COLIDERADO DESDE EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA, EN EL QUE PARTICIPAN CERCA DE OCHENTA ASTRÓNOMOS DE MÁS DE UNA QUINCENA DE PAÍSES. EL PROYECTO TIENE SU CORAZÓN EN EL OBSERVATORIO DE CALAR ALTO EN ALMERÍA (MPG/CSIC), DONDE EL TELESCOPIO DE 3,5 METROS HA ESTADO APUNTANDO A GALAXIAS DE NUESTRO UNIVERSO LOCAL DURANTE MÁS DE TRESCIENTAS CINCUENTA NOCHES A LO LARGO DE LOS ÚLTIMOS SEIS AÑOS

## 1 ¿QUÉ ES CALIFA?



NGC6173

NGC5406

NGC2918

UGC10205

NGC4003

NGC6516

El proyecto CALIFA nace con una idea sencilla pero ambiciosa: tratar de comprender los procesos que gobiernan la evolución y la formación de las galaxias; al menos, las galaxias del entorno que nos rodea.

Cuando en ciencias de la salud se quieren estudiar las propiedades de una población o del ser humano en su conjunto es necesario obtener una muestra representativa, de manera que no haya sesgos a la hora de obtener sus características generales. En nuestro caso ocurre igual: la muestra debe ser

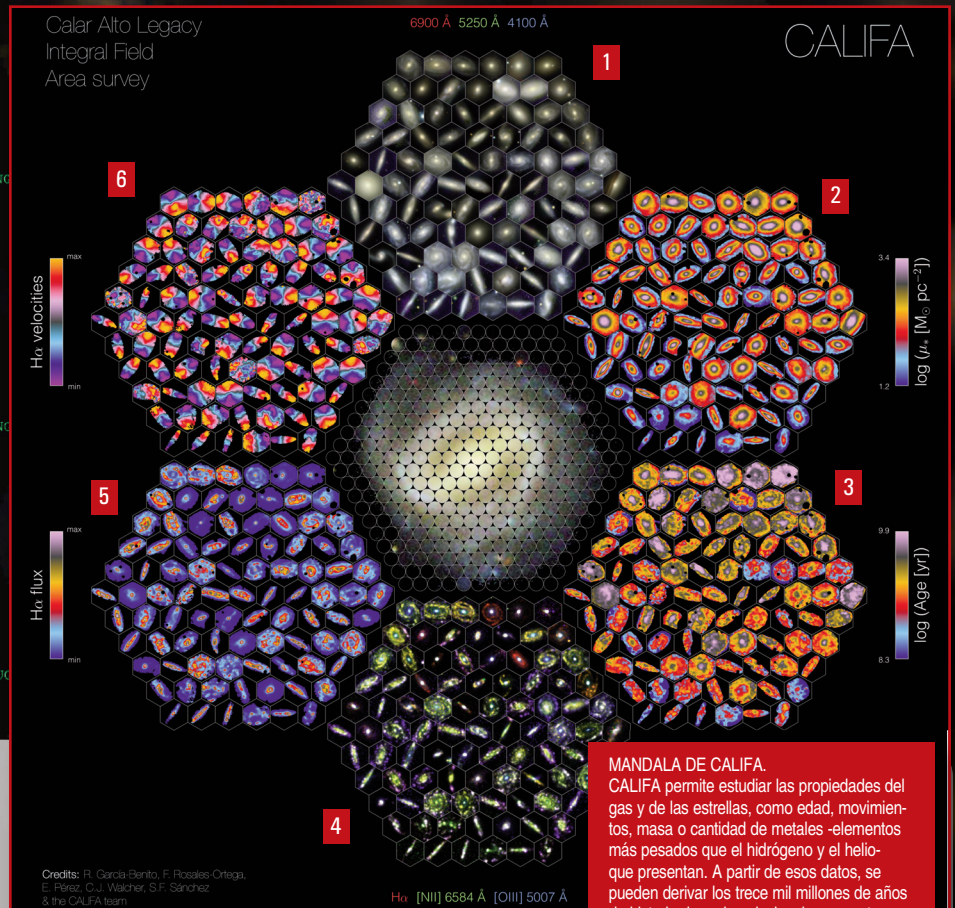
homogénea y cada tipo de galaxia tiene que estar bien representado. Con esto en mente, el proyecto diseñó una muestra que comprendía alrededor de seiscientas galaxias del universo local, con *redshift* entre 0.005 y 0.03, esto es, galaxias a una distancia de entre 65 y 425 millones de años luz. Esta selección viene también determinada por los parámetros del "ojo" de CALIFA, el telescopio de 3.5 metros de Calar Alto y su instrumento PPAK/PMAS, de manera que cada galaxia de la muestra entre en su campo de visión.

### UN LEGADO PARA LA COMUNIDAD

Y para hacerlo todavía más especial, CALIFA está pensado como un proyecto de tipo legado, es decir, todos los datos obtenidos a lo largo de estos años son puestos libremente a disposición de la comunidad científica, haciendo de CALIFA un proyecto único y, hasta la fecha, el mayor muestreo de este tipo jamás completado. La distribución de los datos se ha realizado a la largo de los últimos años en tres distribuciones en las que los cubos de datos están listos para ser usados. Esto implica proporcionar al usuario toda la información detallada de las observaciones y la calibración y procesado de los datos, así como un control de calidad de los mismos. Desde el IAA se han supervisado estos procesos en las tres distribuciones y liderado la segunda de ellas, a través de sus observaciones, obtenidas gracias a la profesionalidad del personal del observatorio de Calar Alto, y la calibración y distribución de datos, entre otras tareas y aportaciones.

### EL OJO DE CALIFA

PPAK/PMAS es un instrumento muy especial debido a la técnica que usa. Hasta ahora, los muestreos de galaxias se habían realizado usando técnicas de imagen, que aportan un gran detalle sobre la morfología y distribución espacial, o de espectroscopía, esto es, la descomposición de la luz en sus diferentes frecuencias, que permite obtener parámetros físicos y propiedades químicas pero a costa de no tener detalle espacial. El instrumento del telescopio de 3.5 metros hace posible combinar los beneficios de ambas en lo que se viene a llamar espectroscopía de campo integral o, comúnmente, espectroscopía 3D. Con un solo apuntado, las fibras ópticas de PPAK pueden cubrir la galaxia en toda su extensión y obtienen imágenes que se reconstruyen a partir de la información espectral en los diferentes rangos de energía. Así se crea



**MANDALA DE CALIFA.**  
CALIFA permite estudiar las propiedades del gas y de las estrellas, como edad, movimientos, masa o cantidad de metales -elementos más pesados que el hidrógeno y el helio- que presentan. A partir de esos datos, se pueden derivar los trece mil millones de años de historia de cada galaxia y buscar patrones comunes. En la imagen: 1) imágenes en banda ancha; 2) densidad de masa estelar; 3) edad media de las estrellas; 4) líneas de emisión de diagnóstico; 5) emisión en hidrógeno alfa; 6) cinemática.

lo que se viene a llamar un "cubo" de datos (dos dimensiones espaciales, más la frecuencia de la luz, de ahí su apodo 3D), con más de dos mil espectros por galaxia. El rango de observación del instrumento comprende el óptico, entre 3700 y 7200 Ångstroms, desde el violeta hasta el rojo. Esta técnica, unida a su gran campo de visión, convierte a PPAK en uno de los pocos instrumentos en el mundo con estas características.

## 2 CIENCIA CON CALIFA DESDE EL IAA

### ¡PALEONTOLOGÍA GALÁCTICA!

Gracias a la abrumadora colección de datos de CALIFA, la colaboración ha producido resultados científicos fascinantes. Desde el IAA en particular, el grupo de análisis de poblaciones estelares ha liderado importantes trabajos en este campo. Para poder comprender el origen de la diversidad observada en las galaxias, así como las propiedades comunes, es necesario estudiar el pasado de las galaxias, es decir, obtener su historia de formación estelar. El grupo de análisis de poblaciones estelares del IAA ha desarrollado nuevas técnicas para el estudio de lo que se suele llamar "paleontología galáctica". La luz del espectro se descompone en las distintas contribuciones de las diferentes poblaciones estelares, segregando las distintas reliquias del pasado y agrupándolas como si se tratara de fósiles, en distintos grupos de edad y propiedades comunes. Es como analizar una ciudad y estudiar las gentes que la habitan clasificándolas por su edad, lugar de nacimiento, peso, etc. De esta manera podemos saber qué tipo de habitantes estelares hay en cada punto de la galaxia y elaborar un mapa completo de la misma, para obtener finalmente las propiedades generales de toda ella.

### HULK, O LA MASA DE LAS GALAXIAS

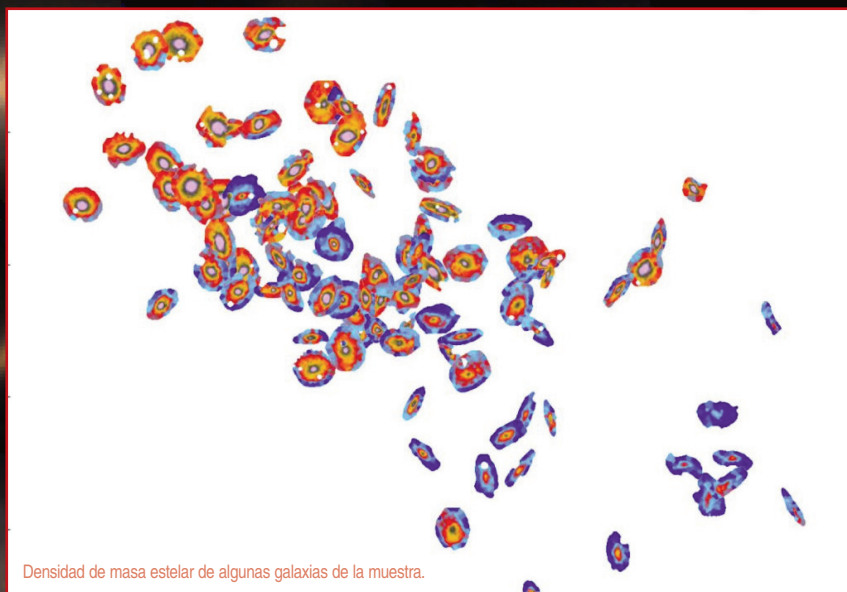
Una forma de entender cómo las galaxias evolucionan reside en agruparlas por tipos y estudiar sus propiedades. Por ejemplo, gracias a las técnicas desarrolladas se puede estimar la masa en estrellas de las galaxias y estudiar su relación con la morfología. En el universo, atendiendo a su forma, encontramos galaxias elípticas, espirales y peculiares. Las elípticas muestran una forma suave con diversas gradaciones elipsoidales; en cambio, en las espirales las estrellas rotan en un disco plano, y en la parte central de la mayoría de ellas existe una agrupación de estrellas conocida como "bulbo galáctico". CALIFA no solo ha confirmado que las galaxias con un bulbo prominente son las más masivas, sino que además ha podido observar que, en general, las galaxias son más compactas en masa que en luz, siendo un 20% más pequeñas en masa de lo que se ve aparentemente en luz, debido a esta componente central, que es más pronunciada en algunos tipos de galaxias espirales.

### LA TASA DE NATALIDAD DEL UNIVERSO

Gracias a la paleontología galáctica, CALIFA también aporta datos sobre la evolución de cada galaxia en el tiempo, esto es, a qué ritmo se han ido formado las estrellas, pudiendo así obtener el ritmo de nacimiento de estrellas en el universo local. La mayor parte de la formación estelar que vemos a día de hoy tiene lugar en las galaxias espirales y su localización espacial ocurre principalmente en las regiones externas de las mismas, a lo largo del disco. Con esto, CALIFA ha podido estimar que la tasa de natalidad del universo en la actualidad es solo un tercio de lo que era en el pasado y que está ocurriendo en los discos de las galaxias.

### LAS GALAXIAS TAMBIÉN CRECEN

Utilizando estas nuevas técnicas se ha podido conocer cómo crecen las galaxias. Uno de los resultados más espectaculares es que las galaxias aumentan su masa creciendo de dentro hacia afuera, esto es, primero se forman las partes centrales y más tarde, a ritmo más pausado, las partes externas. No solo las distintas partes de las galaxias crecen a un ritmo diferente (más lento de dentro hacia afuera), sino que las galaxias en sí, dependiendo de su tipo y masa, también tienen un ritmo distinto entre ellas, siendo las más masivas las que crecen más rápido. Lo interesante es que, al menos dentro del rango de masas de CALIFA, prácticamente todas muestran esta forma de crecer de dentro hacia afuera.



### LA EDAD DE LAS GALAXIAS

Dentro de la clasificación morfológica de las galaxias espirales, estas se subdividen en varios grupos atendiendo a la forma y compactidad de sus brazos espirales, yendo desde las que tienen brazos bien definidos y cerrados hasta las que poseen brazos muy separados o incluso difusos. Una de las partes más relevantes de esta paleontología galáctica es la posibilidad de elaborar mapas correspondientes a distintos momentos temporales de la galaxia. CALIFA ha confirmado que existe una relación entre la morfología y la edad media de las galaxias, siendo las elípticas las más ancianas y las espirales las más jóvenes; a su vez, las galaxias con brazos más definidos y cerrados y un bulbo más prominente son más viejas que las que tienen brazos más separados o difusos y un bulbo menor. Y no solo eso: dentro de cada galaxia también puede verse una distribución por edades, siendo las partes centrales más viejas que las externas, prueba inequívoca de su crecimiento desde dentro hacia afuera. Curiosamente, la diferencia de edad entre las partes centrales y las externas es más pronunciada para las galaxias del tipo de nuestra Vía Láctea. Cabría añadir que, aunque también hay un escalamiento con la masa, de manera que las galaxias más masivas también son las más viejas, la relación es más intensa con la morfología.

## 3 UNA VISIÓN PANORÁMICA DEL UNIVERSO

Con los datos de CALIFA, miembros de la colaboración han creado mapas bidimensionales de otras propiedades de las galaxias, como la velocidad a la que las estrellas o el gas que las rodea, o la composición química del gas, propiedades que permiten entender aspectos cruciales relacionados con su estructura y evolución, proporcionando una visión panorámica de las galaxias que habitan nuestro universo.

# Maria Assumpció Català i Poch

POR SURINYE OLARTE (ICCUB), LOLA BALAGUER-NÚÑEZ (IEEC), FRANCESCA FIGUERAS (ICCUB-IEEC) Y JOSEFA MASEGOSA (IAA)

Maria Assumpció Català nació en Barcelona el 14 de julio de 1925. Pese al clima hostil de la guerra civil y de la posguerra, logró abrirse camino en un mundo científico académico reservado hasta entonces a los hombres.

## El amanecer de la astronomía

Su interés por la astronomía se despertó muy temprano a través de su tío abuelo, catedrático de geografía de la Escuela Normal de Maestros. Este profesor fue un entusiasta de la astronomía que, en plena posguerra, consiguió introducir esta asignatura en los estudios de magisterio. Assumpció contaba cómo él les enseñó, a ella y a sus hermanos, juegos como el de determinar la hora mediante la sombra de una rama de árbol o el de encontrar los puntos cardinales fijándose en la posición del Sol. En 1947 ingresó en matemáticas en la Universidad de Barcelona. En esos años el número de mujeres en las carreras científicas era muy reducido. De las tan solo cinco chicas que iniciaron la carrera, pasó a ser la única en tercero. Como a ella le gustaba decir: “era la chica de tercero, la de cuarto, la de quinto”, y eso no frenó su dedicación. En 1953 obtuvo la licenciatura en ciencias.

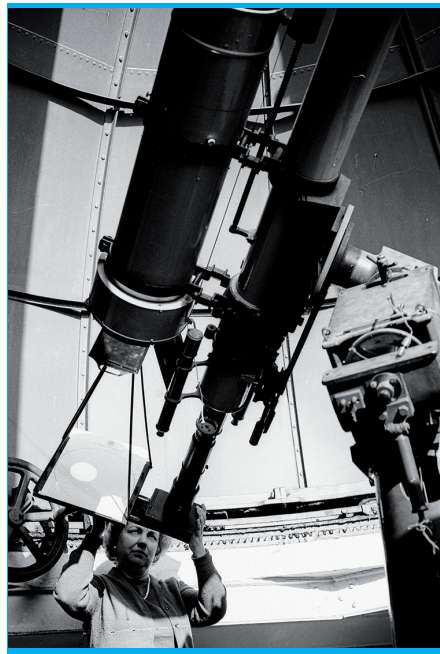
## La perseverancia del deseo

Empezó a colaborar con la cátedra de astronomía de la universidad en 1952. Siguió, ya licenciada, dando clases de matemáticas y astronomía y llevando a cabo tareas de investigación mientras realizaba los cursos de doctorado. Pero la difícil situación económica de la posguerra le obligó a sacar las oposiciones a profesora de matemáticas de enseñanza media y combinar el trabajo en un instituto con el de la universidad.

Su labor científica empezó en este clima de dificultad, obligada a trabajar con cortes diarios de luz de hasta cuatro horas. Sus primeros estudios fueron en el campo de la astronomía de posición, con el cálculo y rectificación de órbitas de cometas. Muy pronto se responsabilizó de la observación diaria de manchas y protuberancias solares, tarea a la que seguiría dedicándose durante más de treinta años y que le llevó a participar en el Año Geofísico Internacional (1957-58), en colaboración con el Observatorio Astronómico Nacional. Este

esfuerzo colectivo dio frutos tan importantes como el descubrimiento de la radiación del cinturón de Van Allen o el lanzamiento del primer satélite, Sputnik I.

En 1971 defendió su tesis “Contribución al Estudio de la Dinámica de los Sistemas Estelares a simetría cilíndrica”, siendo la primera mujer que obtenía un doctorado en matemáticas en Barcelona. Y en 1974 aprobó las oposiciones a profesor adjunto de astronomía de la Universidad de Barcelona convirtiéndose así en la primera astrónoma profesora numeraria de una universidad española. A partir de entonces trabajó con plena dedicación a la universidad hasta su jubilación en 1990.



## Investigación, docencia y divulgación

Durante este segundo periodo profesional (1974-1990), Català se adentró en el estudio de la dinámica de los sistemas estelares sin dejar de trabajar en la astronomía de posición. Dentro del programa de cooperación hispano-francesa, y gracias a la apertura hacia Europa que supuso el final de la dictadura española, realizó sus primeras estancias de investigación en el extranjero en el Instituto Henri Poincaré y en el Observatorio de París-Meudon. Allí trabajó en el estudio de la estructura de la Nube de Oort de cometas. También participó en la primera reunión para tratar la contribución española en la misión astrométrica Hipparcos de la ESA. Ya en los años ochenta, y durante más de quince años, ejerció de representante española en la comisión 46 para la enseñanza de la astronomía de la Unión Astronómica

Internacional.

No rendiríamos homenaje a su carrera universitaria si no destacáramos la labor docente de Assumpció Català. En esta tarea también mostró su faceta multidisciplinar. Colaboró con los departamentos de Historia de la Ciencia, impartiendo historia de la ciencia árabe; con la Cátedra de Tecnologías del Espacio de la Universidad Politécnica de Cataluña impartiendo astrodinámica y mecánica celeste; y con el Instituto Cartográfico de Cataluña impartiendo geodesia.

Fruto de su dedicación a la investigación y a la docencia son las siete tesis doctorales y las once tesis de licenciatura dirigidas, así como las ochenta publicaciones, entre ellas varios libros de texto universitarios, tratados de historia de la astronomía y artículos científicos y de divulgación.

Desde 1997 y durante casi doce años fue asesora científica de la revista National Geographic. Apasionada por la historia, nos ha legado varios trabajos de astronomía árabe, como el estudio de las obras matemáticas de Malsama de Madrid, dos tratados sobre Arquímedes árabe y otro sobre el cuadrante Shakkazi de Ibn Tibuga, así como un estudio exhaustivo de la enseñanza de la astronomía en Barcelona entre los años 1589 y 1974.

En el año 2004 la Universidad de Barcelona reconoció su labor científica nombrándola profesora emérita con carácter honorífico. En 2009, y a raíz del año Internacional de la Astronomía, que se le concedió la Cruz de Sant Jordi, distinción otorgada por la Generalitat de Cataluña en reconocimiento al mérito cívico y cultural.

## Su legado: el primer telescopio español con nombre de mujer

Assumpció Català muere en Barcelona en 2009, dejando un entrañable recuerdo en todos sus compañeros de trabajo y alumnos. En marzo de 2016 se bautizó con su nombre el telescopio reflector Dall-Kirham instalado en el observatorio aula del Centre d'Observació de l'Univers (Àger, Lleida). Este telescopio seguirá abriendo nuevas vocaciones y rindiendo homenaje a quien fue una gran profesional de la astronomía española. En 1971, la revista Primavera le dedicó una larga entrevista al final de la cual el periodista escribía “Caramba con vosotras chicas!”. En 2009 ella misma insistía: “Decidles a vuestras jóvenes estudiantes que no se desanimen jamás, que cultiven su vocación, que les proporcionará muchísimas satisfacciones”.



el "Moby Dick" de...

...Emilio J. Alfaro (IAA)

## "Las siete cabrillas"



Astrónomo del IAA-CSIC, donde dirige el grupo de Sistemas Estelares. Su línea de investigación se centra en el estudio de los procesos de formación estelar a diversas escalas y su conexión con la estructura espacial y cinemática de los diferentes sistemas. Muy comprometido con la divulgación científica y la enseñanza de la física en todas sus vertientes.

Las estrellas dibujan en el cielo formas que hemos asociado a nuestros anhelos, frustraciones, historias y dioses bajo la palabra constelaciones. Salvo la Vía Láctea, definida por un abigarramiento estelar, las estrellas salpican la bóveda celeste con una distribución aleatoria. Pero si en las límpidas y negras noches de invierno miramos hacia la constelación de Tauro podremos contemplar siete estrellas con una apariencia difusa que forman un pequeño agrupamiento, como un pequeño rebaño de brillantes animales, y que son conocidas como las siete cabrillas. Sí, mi Moby Dick es un rebaño de cabras o, mejor dicho, este rebaño es representativo de un conjunto de agrupamientos estelares que presentan características físicas muy bien definidas y que se conocen como cúmulos estelares, y a cuyo estudio llevo dedicando la mayor parte de mi carrera científica.

Un cúmulo estelar es un conjunto de estrellas unidas por la fuerza de la gravedad que han nacido de la misma nube de materia interestelar, en un único brote de formación estelar y que, por lo tanto, comparten la misma edad, composición química y movimiento, y están localizadas en un pequeño volumen espacial cuyo diámetro es muy inferior a la distancia que nos separa del Sol. Esto los convierte en laboratorios ideales para el análisis y estudio de numerosos problemas astronómicos. Al tener la misma edad, composición química y distancia, la distribución de su población estelar en un diagrama H-R\* solo viene controlada por la masa inicial de estos objetos y el lugar geométrico de los miembros del cúmulo en este diagrama dibuja una línea fiducial que se denomina isócrona (ver imagen). El análisis comparativo de estos diagramas empíricos con los obtenidos a partir de modelos de evolución estelar permite, por un lado, determinar los parámetros físicos del cúmulo y, por otro, afinar la física de los interiores estelares; los cúmulos de nuestra Galaxia han sido y son el mejor banco de pruebas de la validez de nuestros modelos evolutivos y sus simulaciones.

### Un final conocido

La vida de un cúmulo estelar es procelosa. Sabemos que en algún momento de su vida, dependiendo de las condiciones iniciales de

su nacimiento y del entorno galáctico donde este tuvo lugar, esa concentración estelar se difundirá dentro de la Galaxia alimentando el entramado de estrellas que dibujan nuestra Vía Láctea. Su tiempo de vida como agrupamiento depende de un balance energético entre el potencial gravi-

los estelares nacen del colapso gravitatorio de las nubes moleculares, de la ruptura del equilibrio hidrostático del gas propiciado por la victoria de la gravitación en un pequeño núcleo de la nube que conlleva la contracción de los núcleos más densos y la separación de la nube entre núcleos proto-



tatorio del cúmulo y la energía cinética de sus miembros, pero con un final ya sabido: el cúmulo tarde o temprano desaparecerá, porque la evolución dinámica de estos agrupamientos siempre está abocada a incrementar su energía cinética y, por lo tanto, a romper ese frágil equilibrio energético difundiendo sus estrellas en su entorno galáctico. ¿Podemos entonces conocer el destino de un cúmulo estelar, su tiempo de vida y su tasa de destrucción, conociendo la distribución en el espacio de fase de sus estrellas miembros, es decir, las seis componentes de su posición y velocidad para cada estrella del cúmulo? En principio sí, si el cúmulo estuviera aislado o su interacción con la Galaxia estuviera únicamente definida por la fuerza de marea del potencial gravitatorio galáctico, pero una de las causas principales de la ruptura de los cúmulos estelares es su encuentro con las grandes nubes moleculares, principalmente concentradas en los brazos espirales pero con una distribución espacial muy lejos de poder ser descrita por un modelo analítico simple.

### La nube estelar madre

Pero volvamos a su nacimiento. Los cúmu-

estelares y un remanente de gas cuya proporción en masa, relativa a la masa inicial del gas, va a tener mucho que ver con su supervivencia en esos primeros millones de años de edad que circunscriben su infancia. Si las estrellas nacen de la perturbación de una nube de gas y su posterior colapso, ¿podemos, conociendo las propiedades físicas de la nube, predecir las características fundamentales del cúmulo estelar naciente? Ese es el objetivo deseado, la formulación de una teoría predictiva de la formación estelar. Por ahora estamos lejos de ese objetivo aunque el avance en dos direcciones bien diferenciadas nos hace ser moderadamente optimistas. Por un lado la resolución de sistemas dinámicos con gran número de componentes está sufriendo una considerable aceleración gracias al desarrollo de los medios de cálculo y, por otro, las observaciones en todo el rango espectral están revelando leyes empíricas que constriñen los modelos propuestos y establecen ligaduras a las posibles soluciones teóricas. Y en esas estamos, en evaluar la universalidad de esas leyes y su grado de aplicación a los procesos de formación y destrucción de estos objetos. ¡¡Por allí resopla!!

\*Un diagrama H-R (Herpruntz-Russell) tiene como abscisa la temperatura superficial de la estrella y como ordenada su luminosidad.

## La inminente solución del misterio del metano en Marte

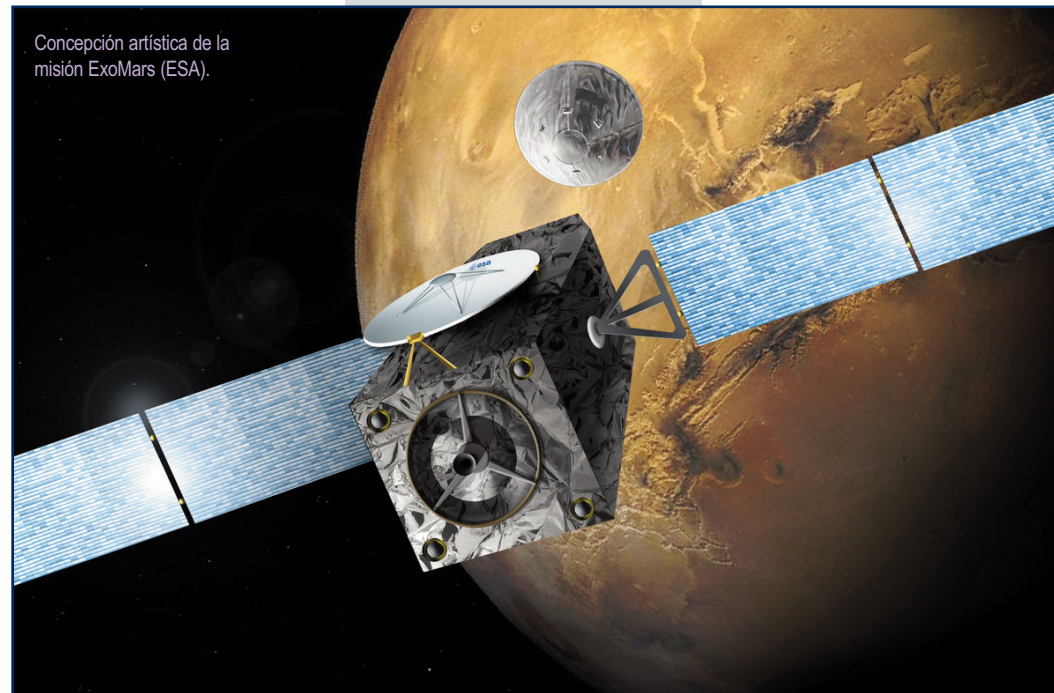
El metano de la atmósfera terrestre se debe a procesos biológicos y, desde el hallazgo en 2004 de pequeñas cantidades de metano en Marte, el estudio de este gas se ha convertido en un objetivo científico prioritario

► El pasado mes de marzo la Agencia Espacial Europea (ESA) lanzó *ExoMars*, una misión destinada al estudio de la atmósfera y el subsuelo del planeta rojo y, específicamente, a la búsqueda de gases con posible importancia biológica. El Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) ha diseñado parte del instrumento NOMAD, una pieza clave del orbital de *ExoMars* específicamente diseñada para estudiar el metano, un gas que en la Tierra producen sobre todo los seres vivos y cuyo hallazgo en Marte supuso una sorpresa en 2004.

La misión *Mars Express* (ESA) y el robot *Curiosity* (NASA) hallaron, en 2004 y 2014 respectivamente, unas cantidades de metano inesperadas y que, además, mostraban una sorprendente variabilidad. El metano tarda siglos en degradarse, de modo que su abundancia debería ser constante en el tiempo. "Así, nos hallamos ante un doble enigma: debemos determinar cómo se produce el metano y, también, cómo desaparece", apunta José Juan López Moreno, investigador del IAA que lidera la participación española en NOMAD.

"No se preveía la existencia de metano en Marte y los modelos con los que trabajamos no lo explican", apunta Miguel Ángel López Valverde, del IAA-CSIC, que también participa en la misión. Esta divergencia entre los modelos y los datos requiere, por un lado, nuevas observaciones y, por otro, un nuevo marco teórico".

Una de las explicaciones a la existencia de metano en Marte residiría en la existencia de organismos que, al igual



Concepción artística de la misión ExoMars (ESA).

que algunos seres vivos en la Tierra, expulsen metano. Sin embargo, la mayoría de los investigadores apuntan a que el origen del metano se halla más bien en procesos en el subsuelo marciano.

Entre estos podrían hallarse reacciones químicas por las que la olivina, un mineral habitual en el planeta rojo, pase a formar serpentina, un proceso en el que se libera metano pero que requiere de la presencia de agua líquida. O, también, el metano podría formarse al desestabilizarse los clatratos (hielos con que contienen gas en su interior) bien por cambios térmicos o por un fenómeno cataclísmico, como un impacto de meteorito.

"Se trata de una investigación muy interesante porque puede aplicarse a nuestro planeta -señala López Valverde (IAA-CSIC). Algunos investi-

gadores están advirtiéndolo de la posible liberación de metano en la tundra debido al cambio climático: si los clatratos de allí superan cierto umbral y comienzan a liberar metano, puede suponer un serio problema ya que pasarían a la atmósfera e incrementarían el efecto invernadero".

### Primer mapa global del metano en Marte

"NOMAD no solo generará el primer mapa global y preciso de metano en la atmósfera de Marte, sino que también lo rastreará, observándolo contra la superficie del planeta rojo para hallar la fuente de producción o desaparición del gas", señala López Moreno (IAA-CSIC). NOMAD será capaz de distinguir también la composición isotópica del metano para comprobar si tiene un origen geológico o biológico.

"Tener un mapa del metano fiable y preciso es muy importante porque nos permitirá correlacionar la abundancia y evolución temporal con sucesos que ocurran en ese momento y lugar, como por ejemplo cierta actividad de nubes de hielo que aparezca o una tormenta de polvo o la sublimación de las capas polares", añade López Valverde (IAA-CSIC).

NOMAD es un espectrógrafo de alta resolución con una altísima capacidad para medir compuestos minoritarios - hasta cien veces mayor que los dispositivos empleados hasta ahora- que empleará la técnica de la ocultación solar: observando cómo el sol se oculta tras el limbo del planeta (es decir, observando continuamente puestas de sol y amaneceres desde su órbita), podrá deducir los componentes que forman la atmósfera.

El instrumento NOMAD se ha llevado a cabo por un equipo internacional de científicos e ingenieros y cuenta con una importante contribución del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), que se ha encargado de la realización y diseño de la electrónica del instrumento, el ordenador central, la fuente de alimentación y el software.

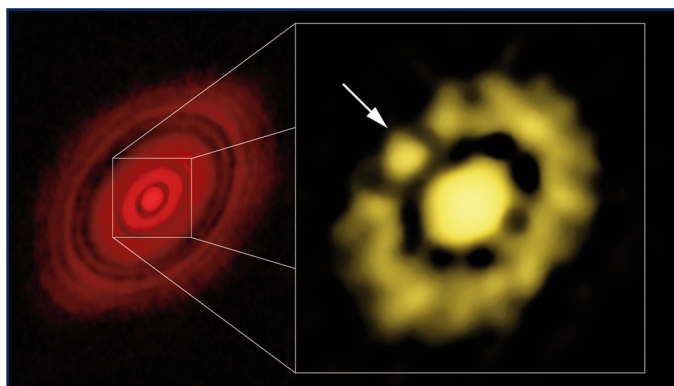
Silbia López de Lacalle (IAA)





# Un embrión de planeta en torno a la estrella HL Tau muestra cómo puede acelerarse la formación planetaria

La estrella joven HL Tau se halla rodeada de un disco de polvo que muestra numerosos surcos, que se interpretan como fases iniciales en la formación de planetas



A la izquierda se presenta la imagen obtenida con ALMA que muestra los surcos concéntricos que posiblemente indican la presencia de planetas en formación. A la derecha se muestra acercamiento realizado con los datos del VLA que muestra la región central del disco, con una flecha indicando la posición de una aglomeración de polvo que podría ser el embrión de un planeta en formación. El interior de la región central del disco, donde se espera que se formen los planetas de tipo terrestre, solo puede ser estudiado con el VLA. Fuente: Carrasco-Gonzalez, et al.; Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF.

► En 2014, el conjunto de antenas ALMA generaba una imagen icónica, que mostraba a la estrella HL Tau rodeada por un disco de polvo con numerosos surcos, posibles indicios de la existencia de planetas en formación que habían barrido el material a lo largo de sus órbitas. Sin embargo, nuevas y más detalladas observaciones apuntan a la existencia de un embrión de planeta, pero en una ubicación distinta, y formado mediante un mecanismo no contemplado hasta ahora.

Los planetas se forman a partir de discos de gas y polvo que giran en torno a las estrellas jóvenes. Una vez formada la "semilla" del planeta, una pequeña acumulación de polvo, esta irá agregando material y producirá un surco en el disco con la forma de su órbita. "La interpretación de la imagen de HL Tau que obtuvo ALMA sembraba muchas dudas, porque HL Tau es una estrella demasiado joven para haber formado planetas y porque la búsqueda de estos planetas resultó

infructuosa", señala Carlos Carrasco González, investigador del Instituto de Radioastronomía y Astrofísica de la Universidad Autónoma de México (IRyA-UNAM) que encabeza el trabajo.

Una nueva serie de imágenes, obtenidas con el *Very Large Array* (VLA) y con mayor detalle que las disponibles hasta ahora, han mostrado una característica nunca observada en un disco protoplanetario y que apunta a una solución: uno de los anillos de material en torno a la estrella muestra una concentración de polvo de entre tres y ocho veces la masa de la Tierra, lo que podría constituir un embrión planetario. "Proponemos un nuevo escenario

para HL Tau, en el que el disco se fragmenta primero en distintos anillos y se producen los surcos que observó ALMA. Será en esos anillos donde se produzcan inestabilidades que darán lugar a considerables aglomeraciones de material, que después irán acumulando más materia hasta formar planetas", apunta Guillem Anglada, investigador del IAA que participa en la investigación. Así, estaríamos observando los primeros pasos en la formación de un planeta.

## Un problema de falta de tiempo

Este nuevo escenario soluciona también un problema de algunos modelos

clásicos de formación planetaria que suponen que los discos de polvo en torno a las estrellas jóvenes tienen una estructura regular y homogénea, donde el proceso de formación de planetas se inicia a muy pequeña escala, con la unión de pequeños granos de polvo que progresivamente formarán cuerpos cada vez mayores.

"Se trata de un mecanismo demasiado lento, ya que el tiempo de que dispone una estrella para formar planetas es limitado", señala José María Torrelles, investigador del Instituto de Ciencias del Espacio (ICE-CSIC) que participa en la investigación.

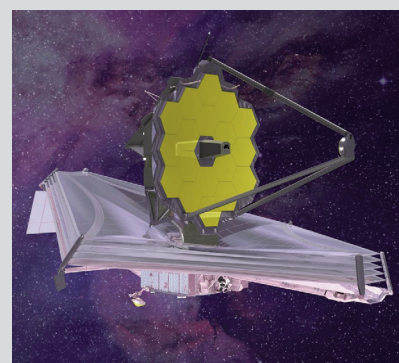
HL Tau, con una edad estimada de aproximadamente un millón de años o menos —en comparación, el Sol tiene unos 4.500 millones de años—, es una estrella joven que aún no ha empezado a quemar hidrógeno en el núcleo, hecho que determina su paso a la etapa adulta. Cuando la estrella alcance dicha etapa, la energía radiada disipará el disco, de modo que si los planetas no han llegado a formarse ya no lo harán.

La aglomeración de polvo hallada en el disco de HL Tau podría ser la prueba de la existencia de un mecanismo más rápido para la formación de planetas, a través de una primera fragmentación del disco en anillos y de la formación de grandes grumos en esos anillos, cuyo desarrollo sería mucho más rápido que en el caso de un disco homogéneo.

## EN BREVE:

### Estudiando el Sistema Solar con el telescopio espacial James Webb

► El telescopio espacial James Webb, el "heredero" del telescopio espacial Hubble y principal observatorio espacial de la próxima década, estudiará las distintas etapas de la historia del universo: desde lo más distante, los primeros destellos tras el big bang, hasta lo más próximo, nuestro Sistema Solar. Astrónomos del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) han participado en la determinación de los objetivos científicos del James Webb en nuestro vecindario, que permitirán comprender mejor la historia y evolución del Sistema Solar o cómo la Tierra se convirtió en un planeta habitable. Con el lanzamiento programado para 2018, el telescopio Webb constituye una colaboración de la NASA, la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia Canadiense del Espacio (CSA). Su espejo principal, compuesto por dieciocho hexágonos, cuenta con una superficie colectora de luz de 6,5 metros, muy por encima de los 2,4 metros de diámetro de su predecesor, el telescopio espacial Hubble.



# Arranca el proyecto ORISON para el estudio del cosmos desde globos estratosféricos

ORISON, financiado por la Unión Europea a través de la convocatoria H2020, está coordinado por el IAA

► La atmósfera nos proporciona soporte vital y nos protege de radiaciones dañinas o de impactos de pequeños asteroides, pero supone un obstáculo para la mayoría de las observaciones astronómicas. Como la mayor parte de los efectos perjudiciales para la observación se producen en los primeros veinte kilómetros desde el suelo, el empleo de globos estratosféricos se presenta como una opción eficaz y mucho menos costosa que el lanzamiento de satélites. El proyecto ORISON estudiará la creación de una infraestructura de observación en la estratosfera mediante instrumentación en globos. “Como parte del proyecto, se van a realizar varios vuelos preparatorios y divulgativos para explorar las posibilidades de esta técnica en su versión de más bajo coste -apunta José Luis Ortiz, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía y coordinador de ORISON-. El primero de estos vuelos se realizó el pasado 22 de abril con motivo de la lluvia de estrellas de la Liridas, que se caracteriza por su baja actividad pero por una

producción muy importante de grandes meteoros (bólidos) que pueden llegar a depositar meteoritos”.

El estudio de lluvias de estrellas resulta fundamental ya que puede revelar la presencia de objetos potencialmente peligrosos y no detectables desde telescopios -como el caso del bólido de Chelyabinsk (Rusia), que produjo importantes daños personales y materiales-, o que pueden dañar la instrumentación situada en órbita. De hecho, el telescopio espacial Hubble y los satélites Landsat 5 u Olympus 1 ya han sufrido pequeños o grandes daños debidos a meteoros o basura espacial.

Este primer vuelo divulgativo de ORISON permitió grabar por primera vez, en alta definición y en color, un bólido desde la estratosfera, lo que demuestra la viabilidad de esta técnica para la obtención de valiosos datos científicos mediante técnicas pioneras y con presupuestos muy reducidos.

## Una técnica muy versátil

La observación desde la estratosfera permite estudiar fenómenos como las lluvias de estrellas desde una perspectiva única, justo desde la capa de la alta atmósfera en que se produce el fenómeno. También permite estudiar otros fenómenos de la alta atmósfera, como las descargas luminosas eléctricas superatmosféricas,



o en la propia superficie, como la proliferación de la contaminación lumínica.

“Sin embargo, es en el terreno de la astrofísica en el que este tipo de observaciones pueden producir un mayor beneficio. Particularmente interesante puede ser su aplicación al estudio de planetas fuera de nuestro Sistema Solar mediante la técnica de tránsitos, al estudio de anillos alrededor de cuerpos del Sistema Solar, o a la detección y

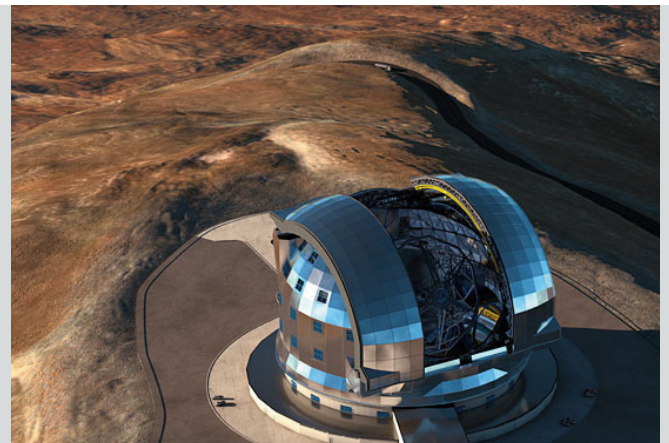
estudio de objetos transneptunianos, entre otros”, concluye Ortiz (IAA-CSIC).

Este proyecto constituye una continuación de la experiencia del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) en el desarrollo de vuelos estratosféricos, adquirida con la misión SUNRISE y con las pruebas de la sonda Huygens. Este primer ensayo del proyecto ORISON se realizó en colaboración con el grupo amateur Daedalus.

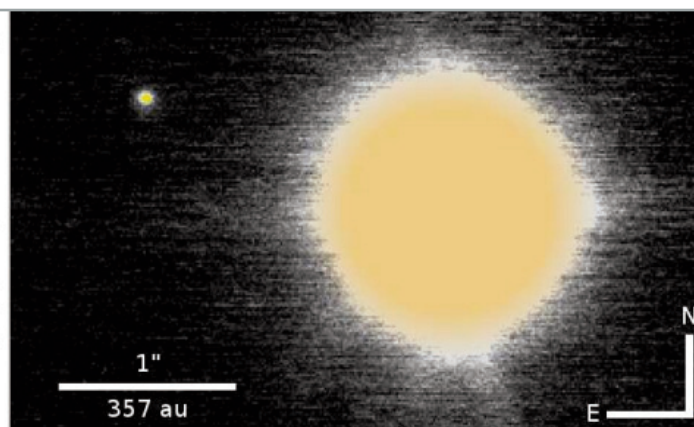
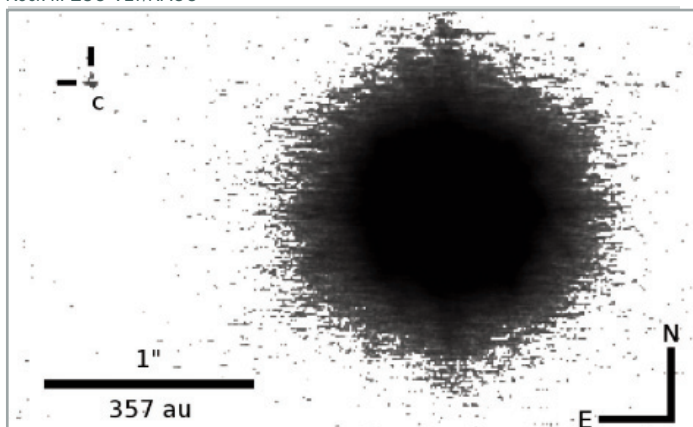
## EN BREVE:

### Comienza la fase de diseño de los instrumentos MOS y HIRES del Telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT)

► Científicos e ingenieros han empezado a planificar las especificaciones de los instrumentos que formarán parte del futuro Telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT, por sus siglas en inglés), del Observatorio Europeo Austral (ESO, *European Southern Observatory*). MOS, un espectrógrafo multiobjeto (*the Multi-Object Spectrograph*), y HIRES, un espectrógrafo de alta resolución (*the High Resolution Spectrograph*), serán los instrumentos que se instalarán en el telescopio más grande del mundo. El Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) participa en ambos instrumentos.



Keck II, ESO VLT/NACO



## El extraño sistema de la estrella CVSO 30: dos planetas a distancias extremas

Se obtiene una imagen directa de un planeta tan alejado de su estrella que tarda veintisiete mil años en completar una órbita, y que comparte sistema con otro que lo hace en apenas once horas

► Una campaña de observación internacional ha permitido fotografiar un planeta en torno a la estrella CVSO 30, que forma parte de un curioso sistema: el recientemente hallado CVSO 30c gira alrededor de la estrella a una distancia extrema (más de veinte veces la distancia entre Neptuno y el Sol), y contrasta con su compañero CVSO 30b que, hallado en 2012, se encuentra a tan solo 1,2 millones de kilómetros de la misma (Mercurio, el planeta más cercano al Sol, dista de él

58 millones de kilómetros). Se trata del primer sistema hallado con estas características, y sus extrañas órbitas podrían deberse a que ambos planetas interactuaron gravitatoriamente en el pasado y se produjo un proceso de dispersión.

Hasta la fecha, la mayoría de los más de dos mil planetas encontrados en torno a otras estrellas se ha detectado gracias a métodos indirectos, que estudian la influencia del planeta sobre su estrella. Apenas sesenta se han hallado con imagen directa, un método muy exigente a nivel instrumental pero que permite explorar las regiones alejadas de la estrella, en la que los métodos indirectos son menos eficaces.

La confirmación de que el pequeño punto de las imágenes es en efecto un planeta ha sido posible gracias al uso combinado de los telescopios Keck (Hawái), VLT (Chile) y del observatorio de Calar Alto. "CVSO 30c ha con-

tituido una sorpresa al hallarse a una distancia de 660 Unidades Astronómicas -una Unidad Astronómica, o UA, equivale a ciento cincuenta millones de kilómetros, la distancia de la Tierra al Sol- Neptuno, el planeta más externo de nuestro Sistema Solar, se halla a 30 UAs", apunta Jesús Aceituno, vicedirector del Centro Astronómico Hispano Alemán de Calar Alto (CAHA, MPG/CSIC).

### Un sistema único

Además, este planeta comparte sistema con otro hallado en 2012 a través de métodos indirectos. Aunque muestran una masa similar (entre una y cuatro veces la masa de Júpiter), ambos planetas presentan una distancia relativa nunca vista en los sistemas planetarios hallados hasta ahora: mientras de uno se halla tan cerca de su estrella que completa su órbita en apenas once horas, el otro tarda unos

veintisiete mil años en recorrer la suya.

Los investigadores barajan varias posibilidades para explicar esta disparidad en distancias, pero la explicación más probable apunta a que ambos planetas se formaron en las regiones internas del sistema y una interacción gravitatoria acontecida en el pasado produjo la dispersión. Se trata de un mecanismo invocado para explicar lo que se conoce como "júpiteres calientes", gigantes gaseosos que giran muy próximos a su estrella y cuya detección supuso una sorpresa: a tan cortas distancias la temperatura impide la condensación de volátiles en hielo para formar planetas gaseosos, de modo que debían haber migrado a las regiones internas por resonancias orbitales con otros cuerpos.

Este sistema planetario constituye un objeto idóneo para estudiar estas teorías de dispersión planetaria, así como para indagar en las primeras fases del desarrollo de los planetas: la estrella CVSO 30 es una estrella muy joven, con solo 2,5 millones de años (el Sol tiene cinco mil millones de años) y los investigadores están estudiando cómo ha podido formar planetas tan rápido.

**Silbia López de Lacalle (IAA)**

## Se lanza con éxito el telescopio espacial UFFO para el estudio de los eventos más energéticos del universo

► El pasado abril se lanzó el telescopio espacial UFFO (acrónimo de "Observatorio ultrarrápido de flashes" en inglés), que estudiará los estallidos de rayos gamma, fenómenos muy breves que constituyen las explosiones más extremas del universo. La colaboración española ha sido gestionada desde el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y la Universidad de Valencia. UFFO/Lomonosov es un telescopio de seguimiento rápido que detectará la emisión en rayos X, luz visible y ultravioleta asociada a los instantes iniciales de los estallidos cósmicos de rayos gamma (GRBs), lo que abrirá un nuevo horizonte en el estudio y entendimiento del universo extremo y del universo temprano.



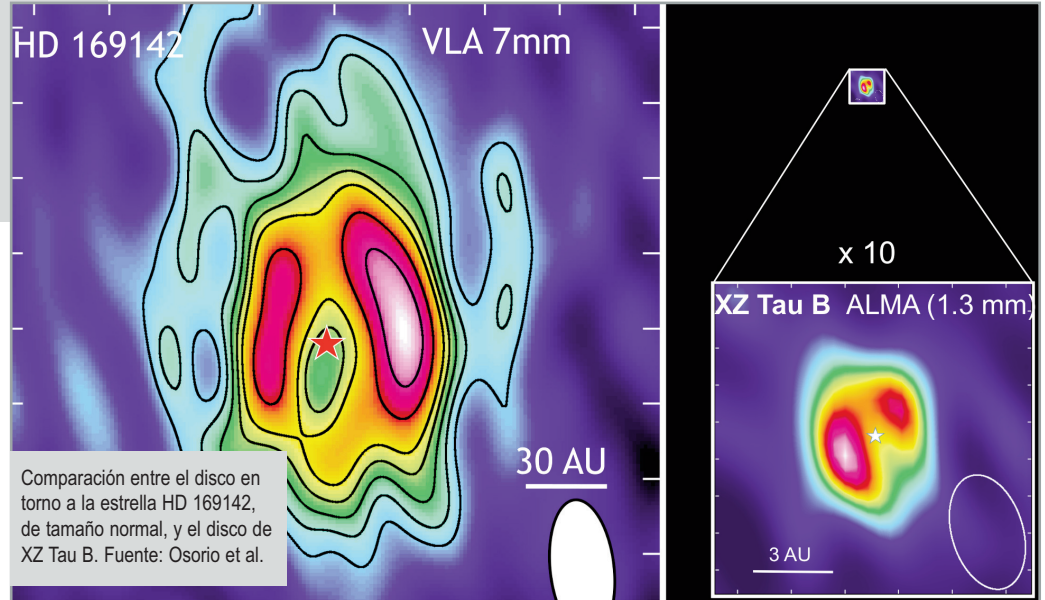
# Un disco de formación planetaria en miniatura podría desvelar la gestación de planetas en tiempo real

La joven estrella XZ Tau B presenta un disco protoplanetario enano que podría evolucionar hasta quinientas veces más rápido que los discos mayores, y presentar cambios observables en apenas unos meses

► A lo largo de las últimas décadas, el descubrimiento de miles de planetas en torno a otras estrellas ha demostrado una gran diversidad de sistemas planetarios, cuya arquitectura desafía nuestra comprensión de cómo se forman los planetas. La búsqueda de discos de gas y polvo en torno a estrellas jóvenes, germen de los sistemas planetarios, resulta fundamental para explicar los nuevos mundos observados, y un reciente hallazgo confirma que también pueden formarse sistemas planetarios en miniatura.

El descubrimiento, realizado por un equipo internacional encabezado por investigadores del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha tenido lugar en torno a la estrella XZ Tau B que, con menos de cinco millones de años de edad (el Sol tiene cinco mil millones de años), es tan joven que aún no ha terminado su proceso de contracción.

“Esta joven estrella está rodeada de un disco de gas y polvo de apenas tres Unidades Astronómicas de radio, con una cavidad central que parece haber sido creada por protoplanetas orbitando alrededor de la estrella -señala Mayra Osorio, investigadora del IAA-CSIC que lidera el trabajo-. Una Unidad Astronómica equivale a la distancia entre la Tierra y el Sol (150 millones de kilómetros) y, como comparación, el tamaño típico de los discos estudiados hasta ahora oscila entre las cincuenta y las cien Unidades Astronómicas”.

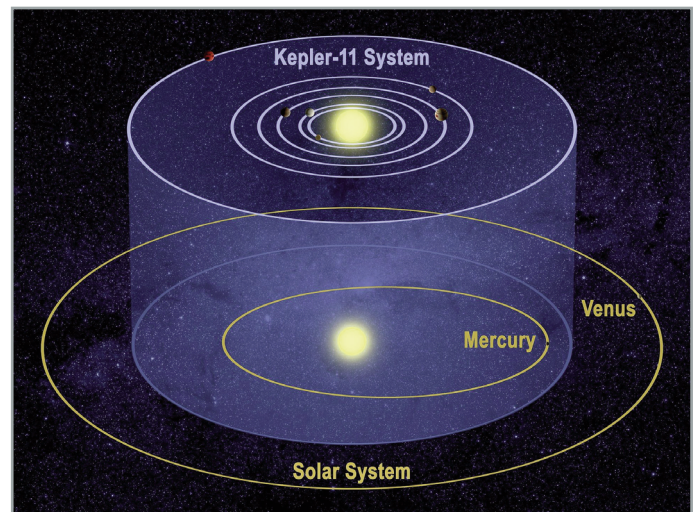


## Sistemas planetarios compactos

Con un tamaño decenas de veces menor que nuestro Sistema Solar, que abarca unas cien Unidades Astronómicas, el disco en torno a XZ Tau B no solo confirma los modelos que indicaban que podrían formarse discos enanos, sino que encaja con el hallazgo, por parte del satélite Kepler, de sistemas extremadamente compactos, con varios planetas con la masa de la Tierra (o varias masas terrestres) girando en un espacio de apenas una Unidad Astronómica en torno a su estrella.

“El disco de XZ Tau B podría ser, por lo tanto, el precursor de este tipo de sistemas compactos, y sugiere que podría haber un gran número de discos protoplanetarios de muy pequeño tamaño aún sin descubrir”, apunta Enrique Macías, investigador del IAA-CSIC que participa en el hallazgo. “Instrumentos con gran sensibilidad y resolución espacial como ALMA, con el que hemos estudiado XZ Tau B, nos están permitiendo estudiar sistemas que ahora nos parecen extremos pero que, seguramente, son más habituales de lo que creíamos”.

El disco de XZ Tau B presenta, ade-



más, dos peculiaridades muy interesantes. Por un lado, su reducido tamaño implica que su evolución será entre cincuenta y quinientas veces más rápida que en los sistemas mayores. “Los cambios que en los discos observados hasta ahora tardarían décadas o siglos en poder observarse aquí ocurrirían en pocos meses. Es uno de los escasos fenómenos en astrofísica donde se podría hacer un seguimiento completo en escalas de tiempo humanas”, apunta Mayra Osorio (IAA-CSIC).

La segunda peculiaridad reside en la pertenencia de XZ Tau B a un sis-

tema estelar triple. “Se sabe que la existencia de estrellas compañeras afecta al tamaño de los discos protoplanetarios, de modo que el estudio en profundidad de este pequeño disco aportará información no solo sobre cómo se forman los planetas, sino también sobre cómo se forman y evolucionan los sistemas estelares múltiples”, apunta Enrique Macías.

Silbia López de Lacalle (IAA)

El resultado del referéndum del pasado 23 de junio en Reino Unido sobre el Brexit ha sido de aproximadamente el 52 % a favor de una de las dos opciones en liza. ¿Y qué significa eso? Para los titulares de los principales periódicos, y para los líderes políticos también, no hay duda: Reino Unido dice adiós a la Unión Europea. Pero para un científico esa cifra no dice nada. No se puede afirmar rigurosamente, con solo esa cifra en la mano, que los británicos quieren irse, porque en ciencia una sola cifra no describe una medida o un experimento: es necesario añadir el margen de error. Para un científico, el resultado de dicho referéndum debería expresarse así:  $52 \pm X \%$ , donde  $X$  es el error o incertidumbre en el conocimiento que se obtiene sobre la voluntad de los británicos. No hablo aquí de errores de sondeos previos, o de encuestas a pie de urna, sino del propio referéndum. Y resulta que el valor  $X$  no nos ha sido comunicado. ¡Esto es un grave error! Y lo es más aún tomar medidas de calado solo en función del número 52.

La noción de error, incertidumbre, o grado de confianza, es un concepto muy importante en ciencia. Toda medida lleva un margen de error, por pequeño que sea. Normalmente hay múltiples fuentes de incertidumbre posibles, y todas ellas deben identificarse y combinarse matemáticamente para obtener el margen de confianza final sobre dicha medida. Los científicos dedicamos una gran cantidad de nuestro tiempo evaluando los errores asociados a una observación, a veces mucho más que el esfuerzo dedicado a la observación en sí.

La pregunta del millón es, por tanto, ¿cuál es el margen de incertidumbre de un referéndum? Responderlo es difícil, pero no imposible, y desde luego no debemos ignorar el asunto. En el caso del referéndum sobre el Brexit, no disponemos de una respuesta precisa, pero no es descabellado pensar que es mayor del 5%. Sí, sí, ¡mayor que la diferencia entre partidarios y detractores del Brexit! Podría ser incluso mucho mayor que el 10%. Porque la medida de la opinión de un grupo tan grande de personas como un país entero, mediante un referéndum, está plagada de fuentes de incertidumbre. Algunas mayores que otras, y solo vamos a recordar tres a continuación. Aclaremos, antes de nada, que no estamos en contra de referendos: al contrario, es una herramienta democrática esencial que deberíamos practicar con frecuencia y naturalidad, pero debemos reconocer y evaluar los errores asociados antes de sacar conclusiones. En otras palabras, este artículo no va sobre política, sino sobre cultura científica.

En primer lugar tenemos el error asociado a la cuenta de votos en cada mesa electoral. Los partidos políticos, conscientes que puede haber errores en esta fase, procuran tener apoderados en cada mesa. Otra fuente de incertidumbre reside en la transmisión de los datos y el procesado de los mismos; fuente de error no nula, incluso si se utilizan medios informáticos. Y una tercera fuente de error, inevitable y seguramente mucho mayor, es la comunicación clara con el sujeto interrogado en el referéndum. Acordaremos que para conocer la opinión libre de un votante dicha persona debe estar informada y ser

libre a la hora de votar. Esto conlleva ya importantes implicaciones, algunas obvias pero no siempre aseguradas. Como que nadie vote por otro y que las campañas electorales sean campañas de información clara e imparcial sobre el asunto que se trate. La reciente confesión del líder pro-Brexit en la televisión británica reconociendo que su eslogan (sobre el reforzamiento del sistema de salud del Reino Unido tras el Brexit) era erróneo, y reconociendo además que eso podría haber confundido al electorado, es un ejemplo sobresaliente. Por tanto, ¿cuál es la magnitud del grado de confusión del electorado tras una campaña? En el caso del Brexit puede que sea bastante elevado.

Imaginemos de modo tan prudente como ingenuo que el error total en dicha consulta es solo del 5%. Ahora sí, el resultado,  $52 \pm 5 \%$ , ya tiene sentido. Y significa que la mayoría obtenida por los partidarios del Brexit es irrelevante, al ser menor que el error asociado al proceso de medida. No habría confianza en que el pueblo británico realmente quiere salir de la UE.

Tampoco se podría asegurar lo contrario. Simplemente la población estaría muy dividida, sin una preferencia clara.

Los científicos a menudo nos encontramos con errores grandes durante nuestras observaciones. Como parte del método científico, tomamos precauciones y diseñamos estrategias para reducir dichos errores, cuidando que las incertidumbres inevitables no afecten la fiabilidad del resultado final. Muchas estrategias se pueden idear para limitar la introducción de errores en un referéndum, desde el punto de vista científico, pero mencionaré solo tres, por su sencillez. Una obvia sería intentar reducir la incertidumbre más grande. El elemento de mayor confusión, la desinformación de la gente, se evitaría con campañas objetivamente informativas, en la medida de lo posible. Una segunda estrategia, de nuevo tan sencilla como poco práctica, sería repetir las medidas (el referéndum) un número suficientemente elevado de veces y hacer la medida aritmética de los resultados. Esto constituiría un método para cuantificar el valor del error que deseamos evaluar. Y la tercera estrategia, posiblemente la más práctica, es definir un umbral mínimo de seguridad, que esté por encima del margen de error. En otras palabras, fiarse del resultado solamente cuando una opción sea votada por encima de, digamos, el 66% del total, por dar una cifra cualquiera que podría estar por encima de todas las fuentes de incertidumbre combinadas.

Incorporar el concepto de error o margen de incertidumbre a otros aspectos de la vida fuera de la ciencia podría ser una buena aportación de los científicos a la sociedad. Un primer escalón de cultura científica. Este es un modo práctico y sencillo para que el discurso político gane objetividad y veracidad. Mientras los políticos estén ciegos ante dichas incertidumbres, la política estará alejada del rigor científico, y en nuestra opinión, quedará alejada y ciega de la realidad.

Incorporar el concepto de error o margen de incertidumbre a otros aspectos de la vida fuera de la ciencia podría ser una buena aportación de los científicos a la sociedad. Un primer escalón de cultura científica. Este es un modo práctico y sencillo para que el discurso político gane objetividad y veracidad. Mientras los políticos estén ciegos ante dichas incertidumbres, la política estará alejada del rigor científico, y en nuestra opinión, quedará alejada y ciega de la realidad.

MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ VALVERDE ES CIENTÍFICO TITULAR DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA/CSIC.

MANISH PATEL ES PROFESOR TITULAR EN THE OPEN UNIVERSITY, MILTON KEYNES, REINO UNIDO.



# SALA limpia

por Miguel Abril (IAA)



## la respuesta:

¿Cuál de estas dos opciones es el nombre real de una familia de compuestos relacionada con el grafeno?

- a) Buckminsterfullerenos
- b) Westminsterabbeycells

El grafeno es un nanomaterial formado por carbono puro en una estructura de malla con un patrón de red hexagonal. Su espesor es de un solo átomo, por lo que puede considerarse como el material más fino jamás sintetizado, y por ello se dice que es un material bidimensional. Esta peculiar estructura le da unas propiedades fascinantes: es mejor conductor eléctrico que el cobre, cien veces más resistente que el acero y cinco veces más ligero que el aluminio. Además tiene una gran estabilidad química y, debido a su único átomo de espesor, es transparente. Como ejemplo de sus asombrosas propiedades se suele contar que con un metro cuadrado de grafeno se podría sostener un gato de cuatro kilos (¿vivo o muerto?, pregunta Schrödinger), formando una peculiar hamaca que pesaría menos que uno de los bigotes del felino. Aludíamos en el número anterior a los humildes orígenes de este material, haciendo referencia a dos circunstancias que rodearon su descubrimiento. La primera, que su desarrollo se debió a la curiosidad de dos científicos rusos de la Universidad de Manchester, que lo descubrieron en lo que ellos llamaban «experimentos de viernes por la noche» (¿para qué irte de cañas a conocer gente y tener una vida pudiéndote encerrar en tu laboratorio otra vez? ¡Frikis al poder!). La segunda es la técnica con la que los dos científicos consiguieron sintetizarlo por primera vez: tomaron un bloque de grafito de gran pureza y lo exfoliaron múltiples veces usando cinta adhesiva hasta quedarse con una capa de un solo átomo. Hablando en cristiano: cogieron algo parecido a una mina de lápiz gigante y la separaron en capas usando papel celo. Esto les valió a los dos

científicos, Konstantin Novoselov y Andre Geim, el Premio Nobel de Física de 2010. Desde entonces la fiebre del grafeno no ha hecho más que crecer, y se han creado numerosos laboratorios que buscan aplicaciones y nuevas técnicas de fabricación, como puede verse en la imagen.



Laboratorio de investigación en nuevos materiales en un centro del CSIC.

En realidad, la denominada revolución del grafeno no solo incluye este material, sino otros relacionados con él como los nanotubos de carbono y los fullerenos. Si el grafeno se define como un material 2D, los nanotubos de carbono (con estructura análoga al grafeno pero en forma de tubos) serían 1D y los fullerenos (parecidos a balones de fútbol con átomos de carbono en los vértices de los hexágonos y pentágonos) 0D, entendiendo el número como las dimensiones que quedan por encima de la escala de la nanotecnología (100 nm). Por cierto, «fullerenos» es el término comúnmente usado para este último tipo de partículas, pero su nombre original era «buckminsterfullerenos», lo que da respuesta a la pregunta. Ni que decir tiene que recibieron este nombre porque su estructura recordaba a las de las cúpulas del inventor y arquitecto Richard Buckminster Fuller, como seguro que ya sabíais. Ahora bien, ¿está justificado el interés que ha despertado este material

de estructura tan simple y sus primos 1D y 0D? Por lo que dicen los expertos, parece que sí, ya que de sus sorprendentes propiedades fisicoquímicas pueden derivarse aplicaciones no menos asombrosas tales como (tomad aire): pantallas táctiles flexibles, ropa inteligente, bombillas, chalecos antibalas, filtros de desalinización de agua, células de energía solar, materiales compuestos inteligentes, materiales anticorrosivos, aleaciones con metales para barcos y aviones, medicamentos contra el

todos los casos funcionó (algunas arañas morían, pero al fin y al cabo son bichos inmundos). Y la última aplicación, que merece una frase para ella sola: ¡la sustitución del silicio como componente fundamental de la microelectrónica! Sin embargo, hay quien dice que se lleva mucho tiempo hablando del grafeno, pero que después de tantos años todavía no hay aplicaciones. En realidad no ha pasado tanto tiempo. Es como cuando le preguntas a un madrídista que desde cuándo está Messi amargándoles la vida. Probablemente te dirá que hace veinte o treinta años, pero miras en Wikipedia y resulta que solo tiene veintiocho. El tiempo es relativo, ya lo decía Einstein. El grafeno es un material completamente nuevo que se sintetizó por primera vez en 2004, y si un medicamento tarda unos quince años en salir al mercado, ¿no hay que darle un poco de margen a algo que nos va a cambiar la vida? Tal vez sea cierto que las expectativas que habían puesto algunos en este nuevo material eran excesivamente optimistas. El grafeno no va a servir para TODO, como muchos pensaban, pero la prueba de que no ha caído en el olvido es la iniciativa FET (*Future and Emerging Technologies*) Flagship, a la que la Comisión Europea ha dedicado mil millones de euros y en el que participan diecisiete países, entre los que se encuentra España. El proyecto comenzó en 2012 y tiene una duración de diez años, por lo que no hay duda de que a corto o medio plazo el mercado se verá inundado de aplicaciones en todos los campos.

## la pregunta:

¿Cómo? ¿Que llevamos casi cinco años con una sección dedicada a la tecnología y todavía no hemos hablado de robots? Pues nada, vamos a ello. Para empezar, ¿de dónde viene la palabra ROBOT?

### RESPUESTAS

1. AL REVÉS (TOBOR) ERA EL NOMBRE DEL PRIMER AUTÓMATA QUE APARECIÓ EN UNA NOVELA.
2. DEL CHECO, QUIERE DECIR 'TRABAJO DURO'
3. DEL INGLÉS RUB OUT: BORRAR O ELIMINAR.
4. ROBOT ES UN ACRÓNIMO QUE SIGNIFICA UNA COSA MUY RARA.

# LOS PUNTOS BRILLANTES DE LA SUPERFICIE SOLAR

## Pilares científicos

En 1980, los astrónomos Richard Muller y Thierry Roudier descubrieron pequeños puntos brillantes en la superficie solar usando el telescopio refractor de 50 centímetros del Observatorio de Pic du Midi, en el Pirineo francés, a 2877 metros de altura. No fue tarea fácil. Estos puntos solo son visibles en las imágenes de mayor contraste y resolución espacial, tomadas bajo condiciones excepcionales de estabilidad atmosférica. Muller y Roudier utilizaron, por primera vez, un filtro que aislaba la banda G de Fraunhofer, una región centrada en 4305 Å en la que existe un gran número de líneas espectrales de la molécula de CH. Su elección resultó oportuna, ya que estos puntos son particularmente brillantes en dicha región del espectro. Además, la resolución espacial de los telescopios es mayor en el azul, lo que resulta ventajoso a la hora de detectar estructuras pequeñas. A partir de entonces los físicos solares comenzaron a estudiar los puntos brillantes de la superficie solar con todos los medios a su alcance, incluyendo espectroscopía y polarimetría.

Atendiendo a sus propiedades, no es de extrañar que la observación de estos puntos constituya todo un reto: tamaños que raramente sobrepasan los 0.3 segundos de arco (250 kilómetros en el Sol), cortas

vidas del orden de diez minutos y una evolución muy rápida, caracterizada por múltiples procesos de mezcla y fragmentación que cambian la forma de las estructuras e incluso las hacen desaparecer.

Hoy sabemos que los puntos brillantes son concentraciones de campo magnético intenso en la fotosfera solar. Aunque esta relación se intuía a partir de estudios teóricos y observacionales, hubo que esperar a que los norteamericanos Thomas Berger y Alan Title la confirmaran en 2001 empleando imágenes y magnetogramas de muy alta resolución espacial obtenidas en el Telescopio Solar Sueco de un metro en La Palma.

Los puntos brillantes se modelan como tubos de flujo magnético verticales en cuyo interior existen campos de unos mil quinientos gauss (tres mil veces más intensos que el terrestre). El campo ayuda a mantener el equilibrio lateral de fuerzas, por lo que la presión gaseosa interna puede ser más baja que la externa. Es decir, el tubo está evacuado: es menos denso y más transparente que los alrededores, lo que permite observar capas más profundas que tienen mayor temperatura porque se calientan de forma eficaz gracias a la radiación que las ilumina desde fuera. Al estar más calientes brillan más, lo que explica su existencia. De hecho, podemos imaginar estas estructuras como diminutos agujeros en la superficie del Sol por donde la radia-

ción escapa con mayor facilidad.

Los puntos brillantes de la banda G son "faros" que señalan la presencia de campos magnéticos en la fotosfera solar, y por tanto permiten estudiar la interacción entre los movimientos del plasma y el campo magnético a escalas imposibles de reproducir en la Tierra. Recientemente se han obtenido pruebas observacionales de la importancia de dicha interacción utilizando datos polarimétricos del instrumento IMAx

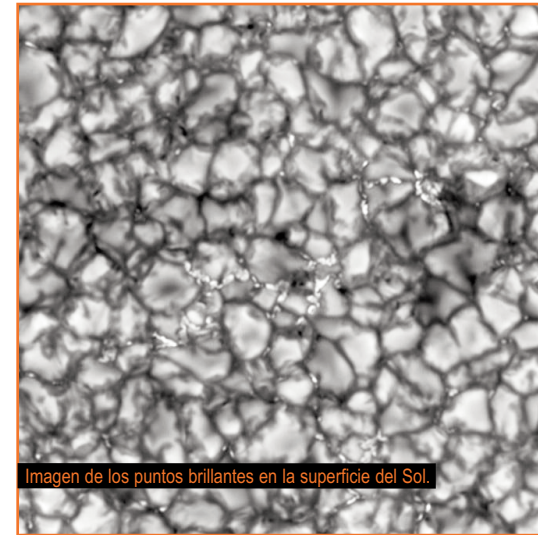


Imagen de los puntos brillantes en la superficie del Sol.

ción escapa con mayor facilidad. Los puntos brillantes de la banda G son "faros" que señalan la presencia de campos magnéticos en la fotosfera solar, y por tanto permiten estudiar la interacción entre los movimientos del plasma y el campo magnético a escalas imposibles de reproducir en la Tierra. Recientemente se han obtenido pruebas observacionales de la importancia de dicha interacción utilizando datos polarimétricos del instrumento IMAx

## Incertidumbres

Aunque conocemos bastante bien las propiedades físicas de los puntos brillantes, su origen es un misterio. A diferencia de lo que ocurre con las manchas solares, visibles solo en una banda que se extiende entre los cinco y cuarenta grados de latitud, los puntos brillantes de la banda G están presentes en toda la superficie del Sol, incluidos los polos. También a diferencia de las manchas, su número no depende del ciclo solar. Ello sugiere que el origen de los campos magnéticos asociados no es la dinamo global del Sol, sino quizás una dinamo local mantenida por los movimientos turbulentos del plasma en la parte alta de la zona de convección.

Pero, ¿cómo aparecen los puntos brillantes en la fotosfera? ¿Cómo se amplifica el campo hasta valores de mil quinientos

gauss? Tampoco lo sabemos. La hipótesis más plausible es que los movimientos horizontales de los gránulos concentran el flujo magnético difuso de la superficie del Sol, aumentando la intensidad del campo hasta los quinientos gauss. A partir de ahí entra en juego el llamado colapso convectivo, una inestabilidad que evacúa el interior del elemento magnético e intensifica el campo por encima de los mil gauss. Por desgracia, existen muy pocas pruebas observacionales de este proceso y ninguna es completamente concluyente.

Otro aspecto que está recibiendo mucha atención en la actualidad es la distribución de campos magnéticos en el Sol en calma. Los puntos brillantes de la banda G representan la cola de la distribución correspondiente a los campos intensos, pero sabemos que casi toda la superficie solar está ocupada por campos mucho más débiles,

incluso de cien gauss. Algunos podrían generar puntos brillantes, aunque con menor contraste. Necesitamos conocer la distribución de campos en el Sol en calma para determinar la cantidad de flujo magnético que aportan a la superficie solar. Se cree que estas regiones son tan importantes como las manchas solares, ya que aunque tienen campos más débiles, la superficie que ocupan es mucho mayor. La detección de estos campos es difícil porque no son visibles en la banda G y en su lugar se necesitan medidas de polarización muy precisas. Los nuevos telescopios solares de gran apertura, como el alemán GREGOR de 1.5 metros de diámetro ya en funcionamiento en el Observatorio del Teide y el norteamericano DKIST de cuatro metros que se está construyendo en Hawaii, nos proporcionarán la sensibilidad necesaria para resolver finalmente estas cuestiones.

# DESTACADOS

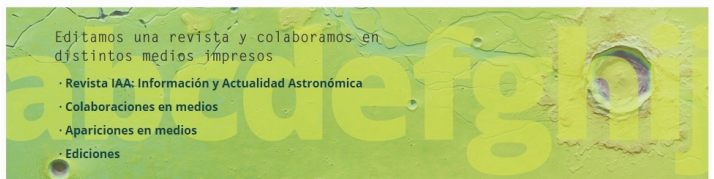


## EL IAA ESTRENA WEB DE DIVULGACIÓN

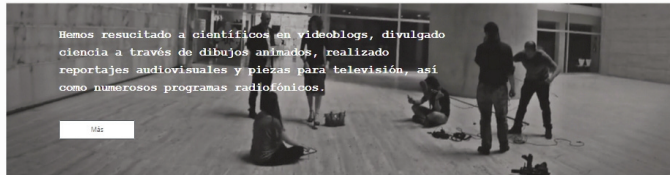
[divulgacion.iaa.es](http://divulgacion.iaa.es)

La Unidad de Comunicación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) ha desarrollado una nueva web que acoge las actividades y los contenidos de divulgación desarrollados a lo largo de más de una década y que abarcan prácticamente todos los formatos de divulgación posibles: elaboraciones escritas, programas radiofónicos, proyectos audiovisuales, exposiciones, dibujos animados, actividades... todo en [divulgacion.iaa.es](http://divulgacion.iaa.es)

ediciones



audio / vídeo



exposiciones / actividades



## UPWARDS, EL DOCUMENTAL

<https://vimeo.com/147940249>

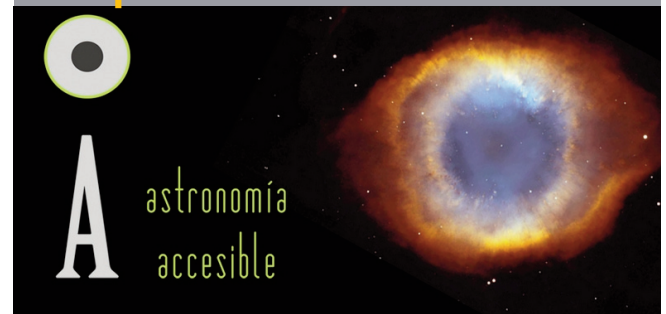
El proyecto UPWARDS revisará y analizará los datos obtenidos por la misión *Mars Express* y otras misiones marcianas, que permitirán por un lado abordar cuestiones aún no resueltas (como el ciclo del agua en Marte o el origen del gas metano detectado en su atmósfera) y por otro aproximarnos a una comprensión integral del planeta rojo. Este documental resume UPWARDS para un público general.



## ASTRONOMÍA ACCESIBLE

La astronomía es una de las ramas del conocimiento que más pasión despierta, pero la manera tradicional de divulgar la astronomía está tan basada en contenidos visuales que muchas veces eso puede discriminar a los colectivos con discapacidad visual. El proyecto Astronomía Accesible tiene por fin hacer hincapié en la divulgación de la astronomía entre las personas ciegas y de baja visión poniendo a su alcance conceptos y descripciones de la naturaleza de nuestro universo que son comprensibles mucho más allá de su percepción visual. Contempla el desarrollo de conferencias, talleres, materiales adaptados y colaboración con entidades y personas para una mayor concienciación en el desarrollo de contenidos adaptados para la divulgación de la astronomía.

<http://astroaccesible.iaa.es/>



## EL RADIOSCOPIO

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

<http://radioscopio.iaa.es>

## CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

El IAA organiza mensualmente charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden rellenar la solicitud en [http://divulgacion.iaa.es/visitas\\_iaa](http://divulgacion.iaa.es/visitas_iaa)

