

I A A

INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

<http://www.iaa.es/revista>
FEBRERO DE 2011, NÚMERO 33

Nebulosa de la Pipa
Galaxias "guisante verde"
Misión SUNRISE

Las estrellas jóvenes "imitan" a los agujeros negros

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, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle. Comité asesor: Rafael Garrido, José Juan López Moreno, Jesús Maíz y José Vílchez.

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
c/ Camino Bajo de Huétor 50, 18008 Granada. Tlf: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

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

SUMARIO

REPORTAJES

Las estrellas jóvenes "imitan" a los agujeros negros ...2

La Nebulosa de la Pipa ...7

Galaxias "guisante verde" ...11

HISTORIAS DE ASTRONOMÍA. Palomas y elefantes ...13

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Misión Sunrise ...14

EL "MOBY DICK" DE... Martín Guerrero Roncel (IAA-CSIC)...16
ACTUALIDAD ...17

ENTRE BASTIDORES ...20-21

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES

Agujeros negros ...22

ACTIVIDADES IAA, AGENDA Y RECOMENDADOS ...23 y 24

Debajo: imagen en radio del jet en la galaxia activa Cygnus A. El punto brillante en el centro traza la posición del agujero negro supermasivo en el núcleo de la galaxia. A ambos lados de los chorros colimados el material se dispersa debido a choques con el medio intergaláctico. La longitud total del jet es de unos 600.000 años luz. Dcha: imagen en el óptico obtenida con el telescopio espacial Hubble del jet HH 1-2, impulsado por una estrella en formación. La estrella no puede ser detectada en el óptico debido a que está rodeada de gran cantidad material que absorbe la luz en estas longitudes de onda. El chorro colimado se puede ver a la derecha (rojo) una vez que ha salido de la nube oscura central. A ambos lados del jet observamos choques con el medio interestelar. La longitud total del jet es de unos dos años luz.



Las estrellas jóvenes “imitan” a los agujeros negros

SE HALLAN LOS PRIMEROS INDICIOS DE QUE LOS JETS EN GALAXIAS ACTIVAS Y LOS JETS ESTELARES, SIMILARES EN APARIENCIA, ESTÁN GOBERNADOS POR UN MECANISMO COMÚN

Por Carlos Carrasco-González (IAA-CSIC)

UNO DE LOS FENÓMENOS MÁS ESPECTACULARES QUE OBSERVAMOS EN EL UNIVERSO es el de los jets bipolares, chorros de partículas muy colimados que viajan a velocidades supersónicas y que emergen de un objeto central en direcciones opuestas.

Algo que sorprende de este fenómeno es que observamos jets impulsados por objetos con características tan distintas como los agujeros negros supermasivos, de cientos

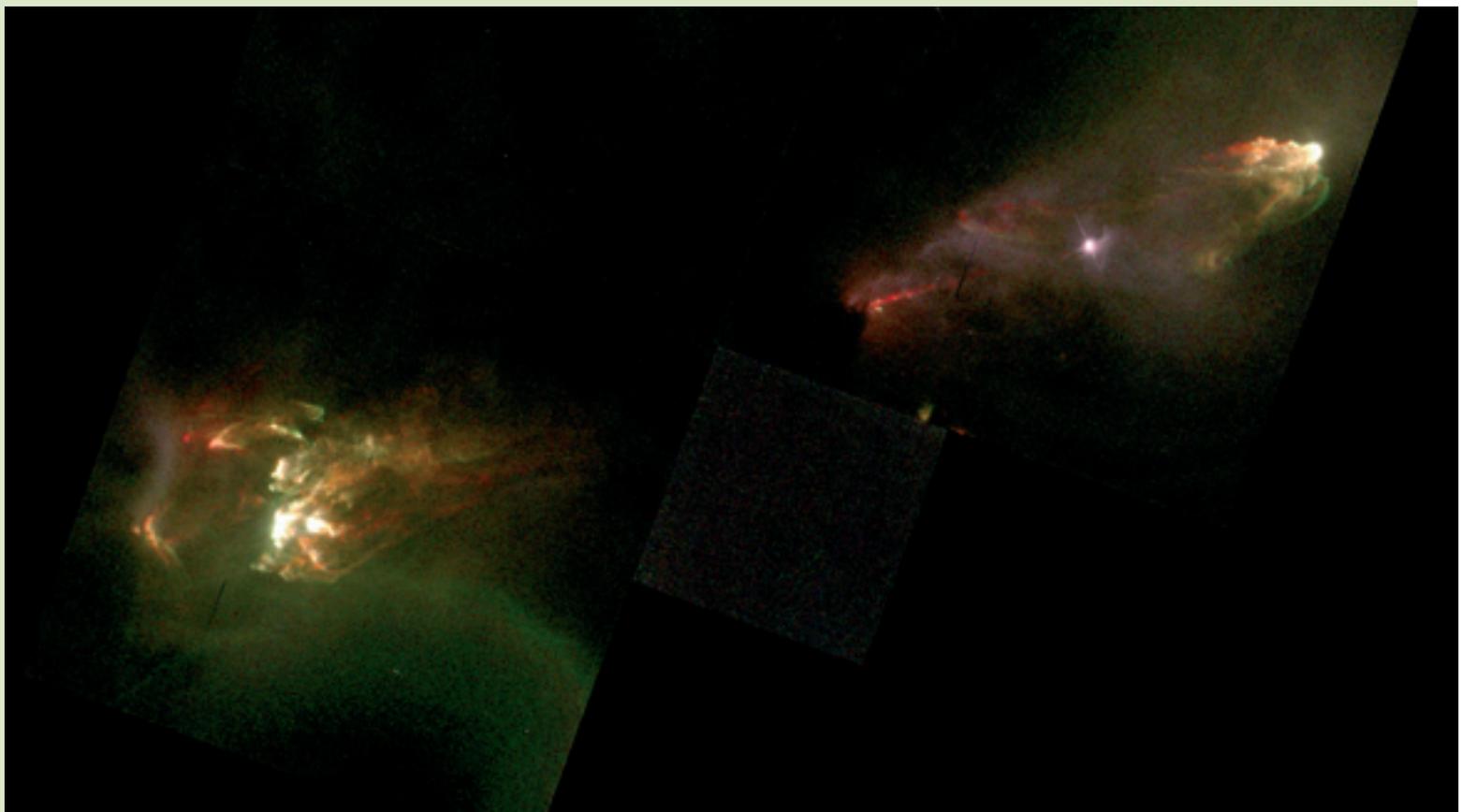
de millones de masas solares, los microcuásares, de apenas unas pocas veces la masa del Sol, o las estrellas en formación. Y, más sorprendente aún, en un estudio reciente hemos hallado uno de los primeros indicios de que, a pesar de las diferencias, el funcionamiento de los jets parece regirse por un mecanismo común.

En el caso de los agujeros negros se suele hablar de jets relativistas porque el material del jet alcanza velocidades muy altas, de

cientos de miles de kilómetros por segundo, muy cercanas a la velocidad de la luz. Los más conocidos son los grandes jets de los agujeros negros supermasivos en los núcleos de galaxias activas, los cuásares, que se observan a escalas intergalácticas y alcanzan longitudes de varios millones de años luz.

Sus “hermanos” pequeños, descubiertos en los años 90 del siglo pasado, son los jets de los microcuásares. Los microcuásares son agujeros negros más pequeños, con masas de unas pocas veces la del Sol y que se encuentran inmersos en las galaxias. Son el producto de la muerte de estrellas masivas y los jets que impulsan, aunque también se mueven a velocidades relativistas, alcanzan longitudes menores, de solo unos pocos años luz.

Por último tenemos los jets estelares,



impulsados tanto por estrellas muy jóvenes, aún en proceso de formación, como por estrellas muy viejas que se encuentran al final de su vida. Menos energéticos que los jets relativistas, alcanzan velocidades de solo unos pocos de cientos de kilómetros por segundo y longitudes de unos pocos de años luz.

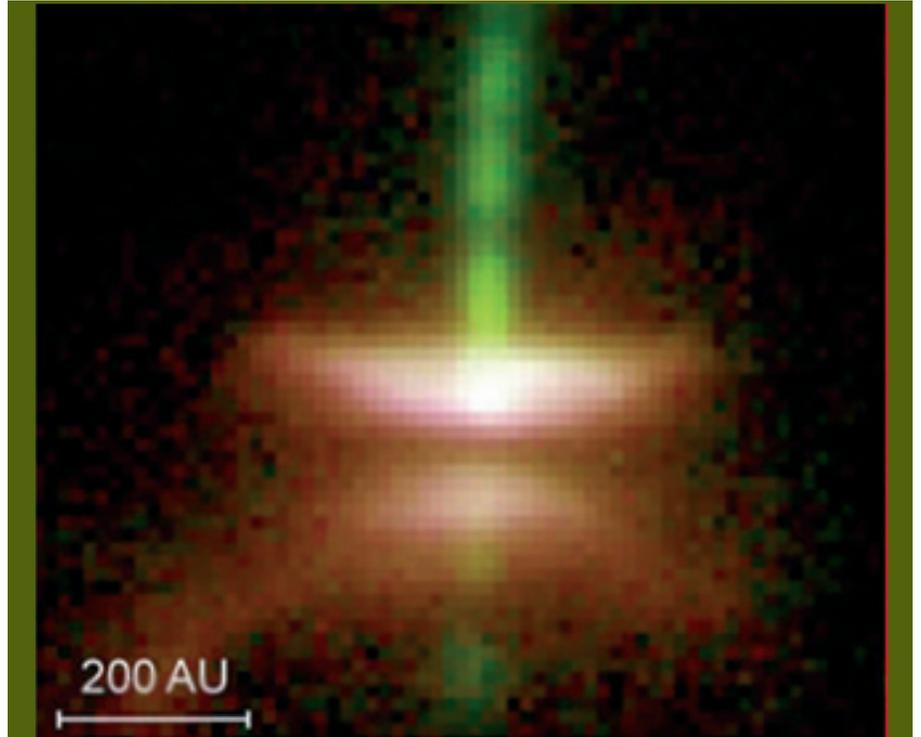
Distintas formas de observar los jets

Hasta ahora, los jets relativistas y los estelares se habían estudiado de formas distintas, ya que cada tipo de jet produce la energía que detectamos a través de mecanismos diferentes.

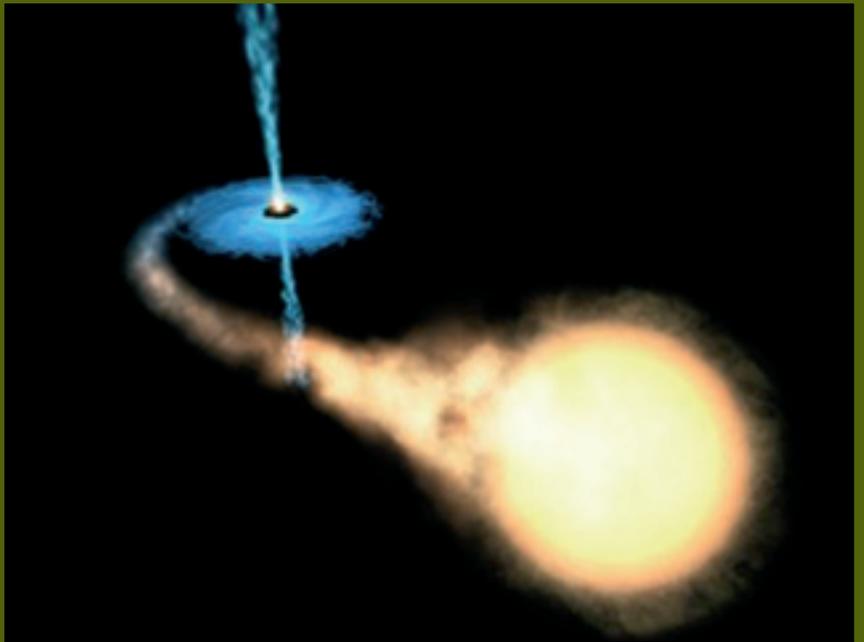
Por un lado, los jets relativistas no pueden estudiarse por medio de observaciones en el óptico o en el infrarrojo, ya que el material del jet es demasiado tenue y su densidad demasiado baja para emitir en esas longitudes de onda. Para poder estudiarlos es necesario recurrir a longitudes de onda de radio, donde emiten la mayor parte de su radiación. Esta emisión, denominada sincrotrón, se produce cuando hay electrones moviéndose a velocidades relativistas en presencia de un campo magnético. Se trata de una radiación con rasgos muy característicos: la intensidad de la luz que recibimos en nuestros telescopios está relacionada con la intensidad del campo magnético en el jet; además, esta luz muestra polarización lineal y la dirección de la polarización está relacionada con la dirección del campo magnético. De este modo, el estudio de la radiación sincrotrón en estos jets se revela como un método eficaz para estudiar el campo magnético y sus efectos sobre partículas del jet.

En cambio, la emisión en los jets impulsados por estrellas no aporta información sobre el campo magnético, sino que está relacionada con la temperatura del material del jet. Aquí las partículas se mueven a velocidades mucho menores, determinadas por la temperatura del fluido, en un movimiento caótico que provoca choques entre partículas cargadas; en estos choques, una parte de la energía de las partículas se pierde y es emitida en forma de luz. La densidad del fluido en estos jets hace posible que parte de esa luz sea emitida en longitudes ópticas e infrarrojas, lo que nos permite, por medio de este tipo de observaciones, medir parámetros importantes del jet, como su densidad o temperatura.

Los jets estelares también emiten luz en longitudes de onda de radio, cuyo estudio resulta ser muy útil para estudiar el fluido muy cerca de la estrella, donde es acelerado para formar el jet. Al estar estas estre-



Combinación de imágenes en óptico (rojo) e infrarrojo (verde) del jet HH 30, impulsado por una estrella en formación. Perpendicular al jet, vemos emisión en el óptico (rojo) reflejada en el disco de la estrella.



Concepción artística de un microcuásar. A la izquierda se puede ver el disco de acreción rodeando el agujero negro que impulsa el jet. El material del disco es arrancado de la atmósfera de una estrella cercana, debido a la fuerte gravedad del agujero negro.

llas envueltas en grandes cantidades de material, la densidad es tan alta en estas regiones que la luz visible o infrarroja no puede escapar, y solo podemos penetrar en ellas por medio de observaciones en longitudes de onda de radio. Sin embargo, y a diferencia de sus homólogos relativistas, la emisión en radio de los jets estelares no contiene información sobre el campo magnético, se trata de una emisión no polarizada.

Observar el campo magnético

Y, ¿por qué nos preocupamos tanto por la ausencia de datos sobre el campo magnético? Pues porque, según las conclusiones que arrojan tanto los modelos teóricos como las simulaciones numéricas, el campo magnético es la clave para entender la formación y colimación de los jets. Hasta ahora solo hemos sido capaces de estudiar en detalle el campo magnético en los jets de galaxias activas, ya que estos

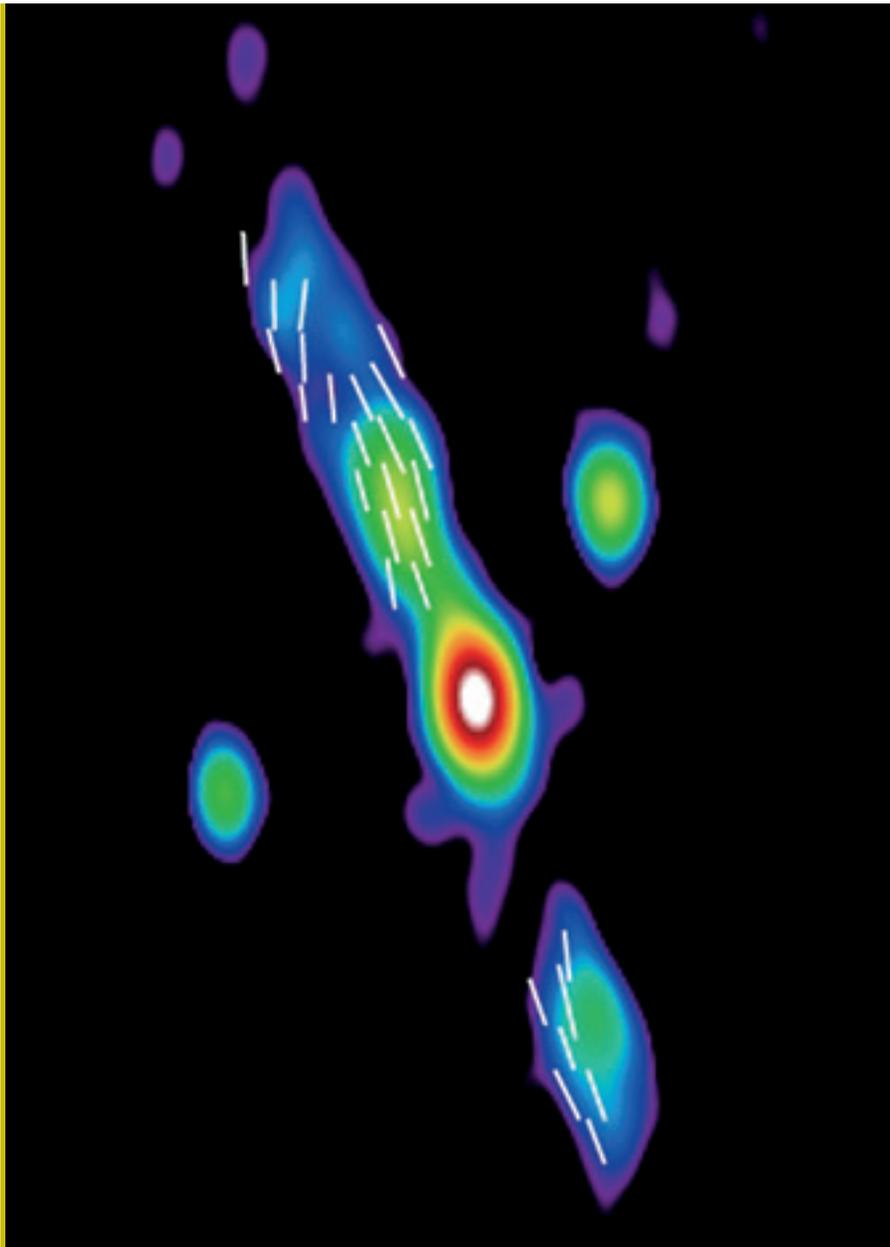


Imagen en radio del jet HH 80-81, impulsado por la estrella en formación IRAS 18162-2048. En la imagen se pueden apreciar los dos chorros que emergen de la estrella central. Las medidas de polarización en estos chorros han permitido medir la intensidad y morfología del campo magnético (líneas blancas) en el jet. A ambos lados del jet se pueden observar emisión en radio de otros objetos diferentes, probablemente otras estrellas en formación.

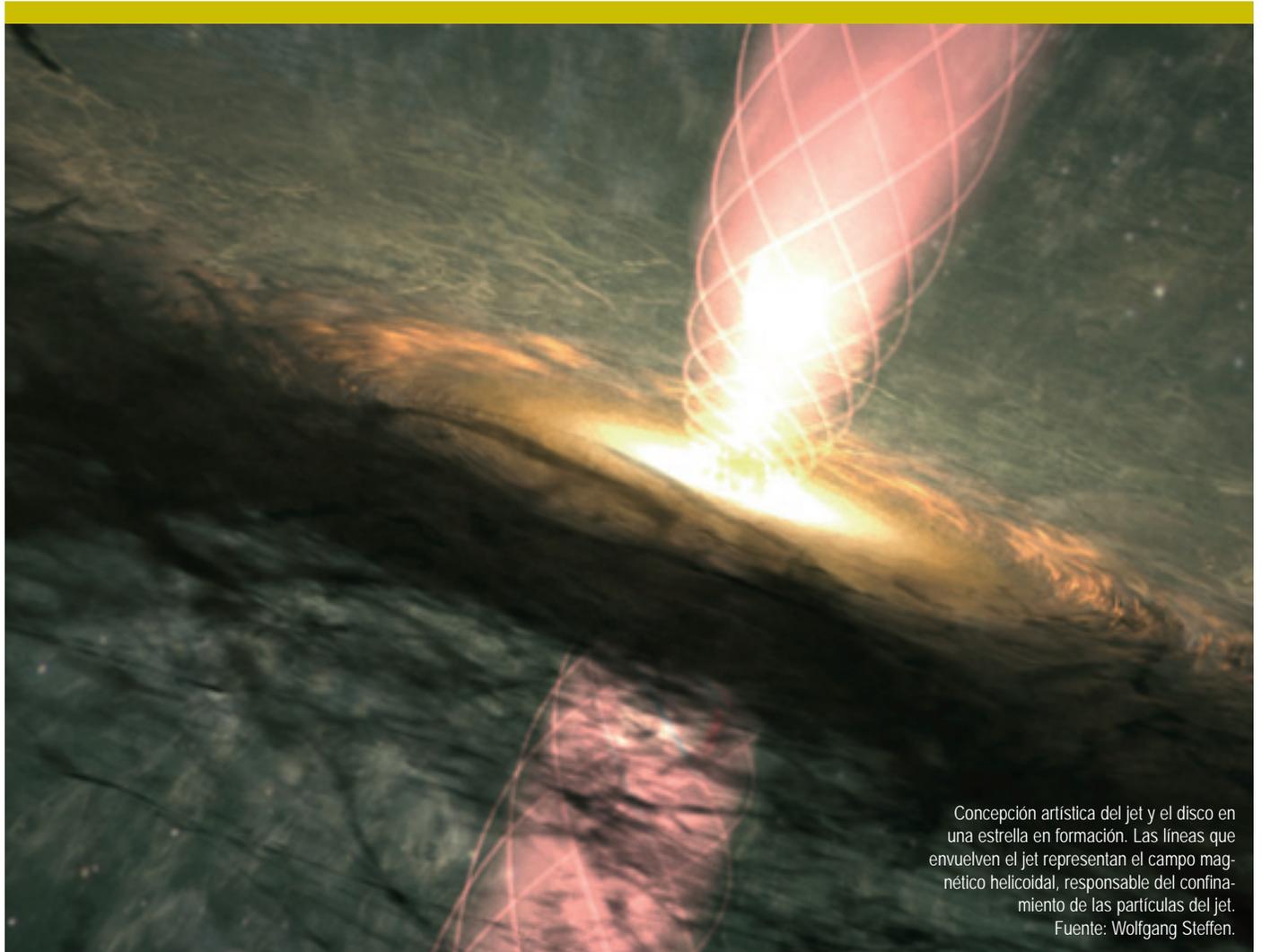
emiten radiación sincrotrón polarizada que nos da información tanto de la intensidad como de la morfología del campo magnético. Así, se encuentra que en la mayoría de estos jets el campo magnético adopta una configuración en forma de hélice predicha por los modelos teóricos. En el caso de los jets estelares, ya hemos visto que la emisión térmica de sus jets no aporta información sobre el campo magnético, de modo que este es el gran desconocido. Resulta irónico que sea, precisamente en estos jets, donde tenemos una mayor información del resto de parámetros físicos que intervienen, como la densidad, velocidad o temperatura del fluido.

Sin embargo, algunos estudios teóricos apuntan hacia una posibilidad de medir el campo magnético. En algunos casos, aunque el fluido en el jet no se mueva a velocidades relativistas, si la velocidad es del orden de unos mil kilómetros por segundo, al chocar el fluido con regiones densas del medio interestelar, es posible producir la aceleración de un pequeño número de partículas hasta velocidades relativistas. Y, si un campo magnético está presente en estos jets estelares, entonces estas partículas relativistas emitirán radiación sincrotrón polarizada y podríamos aplicar las mismas técnicas de polarimetría que en el caso de los jets relativistas

para medir el campo magnético. Analizando el espectro en radio de algunos de los jets en estrellas en formación más potentes se han encontrado evidencias que sugieren que este mecanismo puede estar ocurriendo. La detección de luz polarizada en estos jets supondría no solo la confirmación de que este fenómeno de aceleración está teniendo lugar sino que, además, permitiría estudiar el campo magnético en los jets estelares. Sin embargo, esta luz polarizada es tremendamente débil y requiere de observaciones muy sensitivas para poder ser detectada. Con esta motivación, recientemente realizamos observaciones en radio de la estrella en formación IRAS 18162-2048. Esta estrella, ubicada dentro de nuestra galaxia, a unos 5.500 años luz de la Tierra, es unas diez veces más masiva que el Sol e impulsa un jet con una longitud de unos veinte años luz de extensión. Este jet, denominado HH 80-81, se trata de uno de los jets en estrellas en formación más potentes y colimados que conocemos.

Para observar este jet usamos el *Very Large Array* (VLA), uno de los interferómetros de radio más potentes del mundo, formado por veintisiete antenas de radio de veinticinco metros de diámetro cada una y distribuidas a lo largo de treinta kilómetros en el desierto de Nuevo México (EEUU). La señal recibida por todas estas antenas se combina de forma que juntas actúan como un solo radiotelescopio de treinta kilómetros de diámetro. De esta manera se obtienen imágenes de muy alta sensibilidad y resolución angular. Usando esta técnica, realizamos una de las observaciones más sensitivas que se habían hecho hasta ahora de un jet estelar. Y conseguimos detectar emisión polarizada, lo que confirma la existencia de un campo magnético en este jet. Además, estudiando las características de esta emisión polarizada encontramos que la morfología del campo magnético es helicoidal y envuelve el fluido del jet, similar a lo que ocurre en el caso de los jets de galaxias activas.

La importancia de este descubrimiento es doble. En primer lugar, parece confirmar que, a pesar de las diferencias en sus características, el funcionamiento de los jets estelares y los jets relativistas parece ser el mismo. Pero este descubrimiento, además, abre la puerta a estudios del campo magnético en otros jets estelares que, combinados con las otras técnicas de observación que ya se venían aplicando, proporcionarán una visión más completa del fenómeno de los jets.



Concepción artística del jet y el disco en una estrella en formación. Las líneas que envuelven el jet representan el campo magnético helicoidal, responsable del confinamiento de las partículas del jet.
Fuente: Wolfgang Steffen.

CÓMO SE FORMAN Y COLIMAN LOS JETS

Aunque aún no tenemos una descripción detallada de cómo se forman y se coliman los jets, sí que sabemos cuáles son algunos de los ingredientes principales. Tanto si es impulsado por un agujero negro como si lo es por una estrella, el objeto central siempre se encuentra rodeado de un disco de acreción. El origen y composición de este disco es diferente en cada caso. En las estrellas en formación, por ejemplo, este material se compone de polvo interestelar de las nubes en las que se forman las estrellas. A través de este disco, la estrella va incorporando material, creciendo así desde una masa inicial muy pequeña hasta llegar a su masa final. Cuando la estrella ya está formada, el disco evoluciona para formar un sistema planeta-

rio, similar al Sistema Solar. En el caso de los microcuásares, el disco está compuesto de material que el agujero negro ha arrancado de la atmósfera de una estrella cercana.

A pesar de las diferencias en velocidad, tamaño y densidad del jet, o en la masa del objeto central que lo impulsa en cada caso, todos los jets son morfológicamente idénticos. Siempre observamos un objeto central rodeado de un disco de acreción y los chorros colimados que emergen perpendiculares al disco, en direcciones opuestas a lo largo del eje de rotación del sistema. Esta similitud morfológica sugiere que el mecanismo por el cual se forman, aceleran y coliman los jets debe ser esencialmente el mismo, independientemente de si es

una estrella o un agujero negro el que lo impulsa. En este caso, las diferencias en velocidad o tamaño que aparecen en los distintos tipos de jets serían consecuencia de que en cada caso el "motor" que lo impulsa tiene características diferentes. Los modelos teóricos y simulaciones numéricas de jets han puesto de manifiesto que uno de los ingredientes fundamentales para la formación y colimación de los jets parece ser el campo magnético. El escenario más aceptado actualmente se basa en un acoplamiento del campo magnético con el disco de acreción. Debido a la rotación del disco de acreción, el campo magnético anclado en el mismo se "enrolla" formando una hélice a lo largo del eje de rotación, es

decir, en la dirección de los jets. Las partículas cargadas del disco siguen las líneas de campo magnético, y son por tanto extraídas del disco e inyectadas en el jet. La colimación de las partículas se produce a través de la componente toroidal del campo magnético, es decir, los "anillos" de campo magnético que envuelven el jet. Estos anillos confinan el fluido, como si se tratase de las paredes de un tubo: las partículas cargadas necesitan de mucha energía para poder atravesarlo, mientras que sí se pueden mover libremente siguiendo la líneas de campo a lo largo del jet. Este mecanismo es muy similar al que usamos en los aceleradores de partículas para acelerar y confinar las partículas.



La Nebulosa de la Pipa

Observando las condiciones iniciales de la formación de las estrellas

LA PIPA ES UNA NEBULOSA JOVEN –AÚN NO HA FORMADO ESTRELLAS–, Y CERCANA: EL OBJETO IDÓNEO PARA ESTUDIAR LOS PRIMEROS PASOS DE LA FORMACIÓN ESTELAR

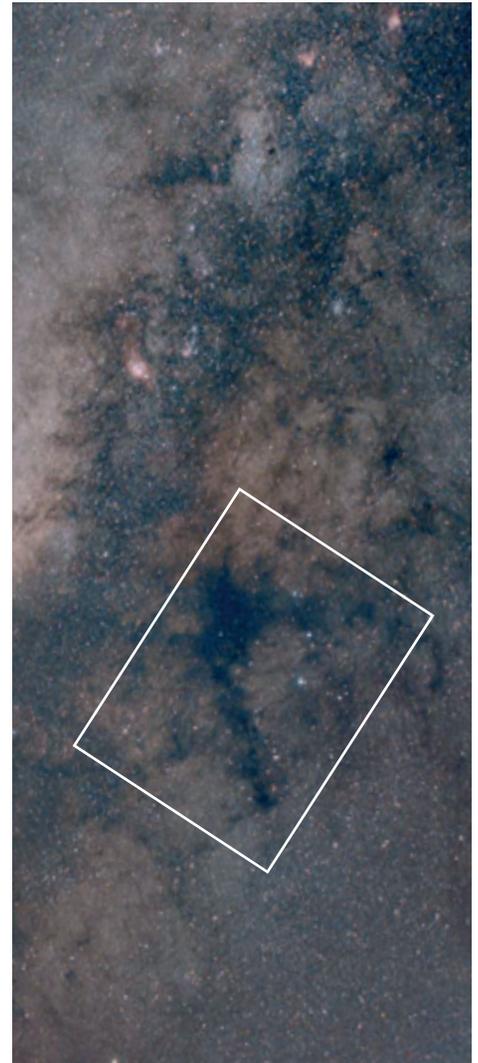
Por Carlos Román (Instituto de Astronomía UNAM, México)

LAS ESTRELLAS SON EL PRINCIPAL OBJETO DE ESTUDIO DE LA ASTROFÍSICA. Prácticamente no hay procesos en el cosmos que no estén relacionados con ellas y, por ello, entender su origen tiene una importancia capital. Sin embargo, la formación de las estrellas todavía se considera un problema abierto, principalmente porque aún no se entienden por completo las llamadas condiciones iniciales del fenómeno. Estas condiciones iniciales o puntos de arranque deben conocerse en detalle antes de poder elaborar una teoría predictiva de la formación estelar, en la que podamos modelar exitosamente el nacimiento de las estrellas mediante la conjunción de observaciones, teorías y simulaciones numéricas.

Hablando de un modo general, se piensa que todas las estrellas tienen un origen similar. Las estrellas se forman a partir de condensaciones de gas en el interior de nubes gigantes de hidrógeno molecular. Estas condensaciones, llamadas núcleos densos, se hallan fuertemente oscurecidas por polvo de carbón y silicio -que actúa como aislante- y son por ello las regiones

más frías (con temperaturas inferiores a 260 grados bajo cero) de las galaxias. El polvo, esencial para el proceso, es producto de explosiones de estrellas de generaciones previas y se distribuye de forma uniforme en las nubes moleculares, aunque contribuye usualmente con menos del dos por ciento de la masa total de la nube. Tras formarse, los núcleos densos continúan contrayéndose hasta alcanzar densidades críticas que provocan el colapso irreversible del núcleo y finalmente dan origen a las llamadas protoestrellas (una suerte de “embriones” estelares) que evolucionan hasta que la estrella nace. La conversión de un núcleo denso en estrella constituye un proceso en el que intervienen muchos procesos físicos complejos, y por ello algunas piezas del rompecabezas no se entienden por completo. Por ejemplo, ¿qué ocurre para que la nube pase de ser una entidad difusa en un estado mayoritariamente turbulento (y, por tanto, caótico) a una fase mucho más ordenada en los núcleos densos? O, ¿cómo interfieren en el proceso los campos magnéticos que se observan en las nubes? Tampoco entendemos completamente cómo la nube “sabe” cómo fraccionarse en grupos de tamaños exactos que terminan formando grupos de estrellas con una distribución de masas (la llamada función inicial de masa) que es prácticamente idéntica en cualquier nube de la galaxia.

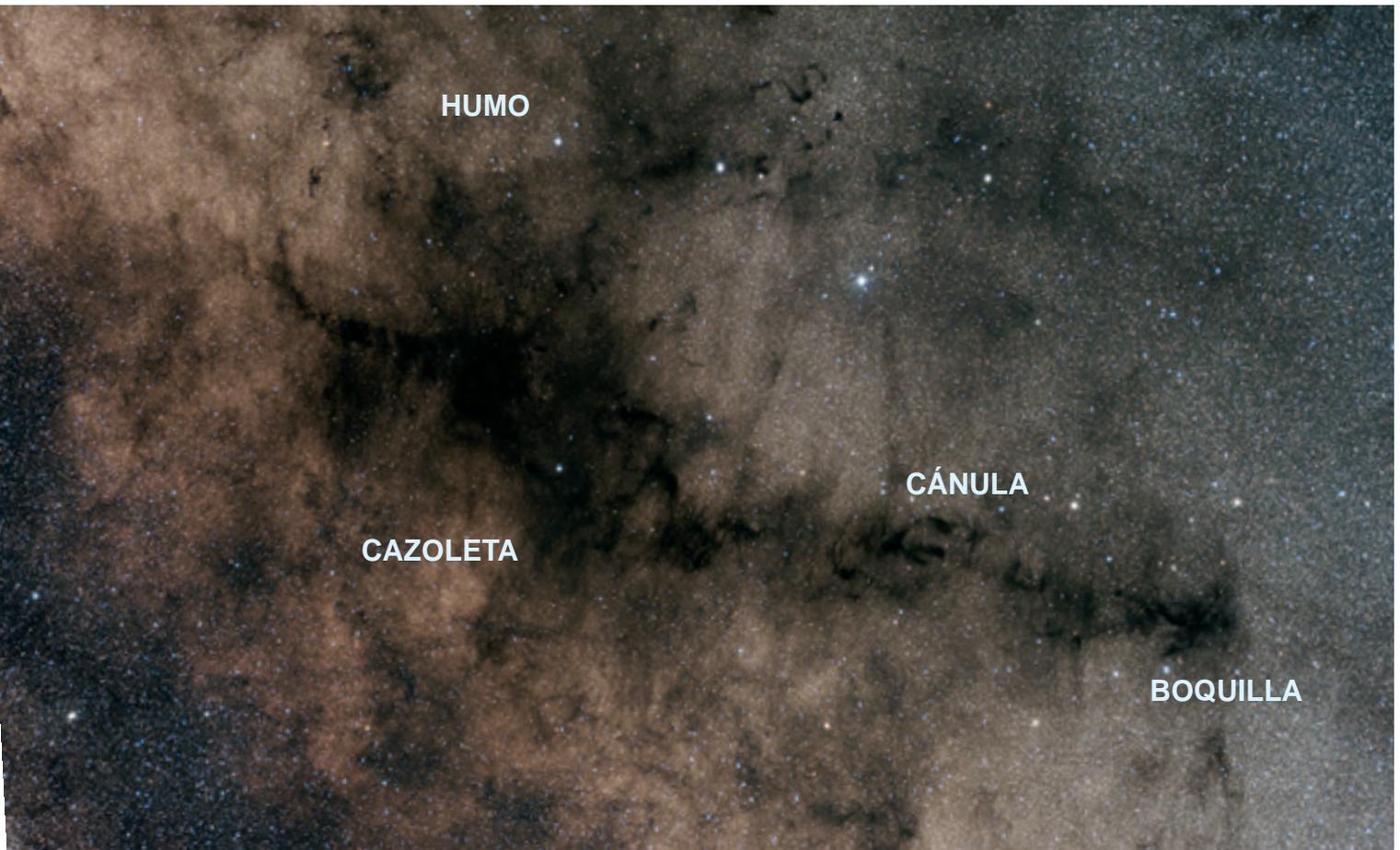
Algo de nuestra ignorancia proviene de la relativa novedad del estudio de la formación estelar en la astrofísica moderna. Debido a que la formación de las estrellas ocurre en zonas tan oscuras y frías, fue un proceso relativamente invisible a las observaciones telescópicas hasta la década de los años setenta del siglo pasado, cuando se desarrollaron las tecnologías para hacer observaciones en el infrarrojo y el radio con las que se penetró finalmente en las tinieblas de las nubes moleculares. Tampoco se tuvo, hasta mediados del siglo pasado, un modelo teórico adecuado para explicar la formación de una estrella a partir de una nube de gas, y tampoco se logró simular en un ordenador la formación de



La Nebulosa de la Pipa, proyectada contra el bulbo galáctico en la región de Sagitario. Fuente: Jaime Fernández.

una estrella hasta hace relativamente poco tiempo.

Por otra parte, debe considerarse el hecho de que el proceso de nacimiento de las estrellas es muy dinámico, y que las nubes evolucionan rápidamente cuando forman estrellas -ya que estas generan vientos y chorros que dispersan el gas-, cambiando sus propiedades de manera drástica. En casi todas las nubes moleculares cercanas, el proceso de formación de las estrellas ya se ha iniciado y, por tanto, las estrellas jóvenes ya han alterado significativamente su



Acercamiento de la Nebulosa de la Pipa, indicando las partes de una pipa imaginaria, de acuerdo a la morfología de la nube. Fuente: ESO.

entorno. Por ello es muy difícil deducir cuáles fueron las condiciones primordiales que derivaron en la etapa actual. A esto se suma la dificultad de observar las nubes con suficientemente detalle, debido a las enormes distancias a las que se encuentran.

La nube idónea

Se requiere, por tanto, observar una nube lo bastante joven como para que no haya formado estrellas aún y que se encuentre a una distancia relativamente corta para poder estudiarla en detalle.

Sorprendentemente, esa nube estuvo ahí siempre, a disposición de los astrónomos, tan obvia en el cielo como muchas constelaciones, y sin embargo no se le dio mucha importancia hasta hace unos pocos años. Esta nube se conoce como Nebulosa de la Pipa, y su silueta característica se puede distinguir incluso a simple vista en una noche oscura, preferentemente en el cielo del Hemisferio Sur. La Pipa se encuentra en la constelación de Sagitario, proyectada contra el bulbo galáctico -cuajado de estrellas gigantes- y se encuentra a una distancia de ciento treinta pársecs, un poco más cercana que las nubes de Tauro y Ofioco (mucho más conocidas y, curiosamente, similares a la Pipa en muchos aspectos). Su

morfología es relativamente simple, y realmente similar a una pipa de fumar (ver imagen superior): presenta un largo filamento de unos once pársecs de largo, que conforma la cánula de la imaginaria pipa, que termina en una condensación amorfa relativamente más grande (la cazoleta de la pipa) y algunos filamentos más delgados hacia el noreste (como el humo que sale de la cazoleta). Incluso con imágenes ópticas se puede deducir que la nube contiene una gran cantidad de núcleos densos, la mayoría de los cuales no ha formado ninguna estrella aún (imagen página contigua). Solo en su extremo oeste (la boquilla de la pipa), se haya un núcleo muy denso, catalogado como Barnard 59, que ya ha formado un pequeño cúmulo de estrellas poco masivas. Condiciones como esta hacen de la Pipa un laboratorio cósmico ideal para estudiar las elusivas condiciones iniciales de la formación estelar.

Uno de los núcleos densos que se localiza en el “humo” de la Pipa, catalogado como Barnard 68 (B68), ha sido estudiado en detalle por considerarse el ejemplo más típico de un glóbulo de Bok. Se trata de un tipo especial de núcleo denso aislado, embebido en un medio ionizado. El perfil de densidad de B68 resultó ajustarse casi a

la perfección con un modelo teórico de una esfera de gas de temperatura constante en equilibrio de presión con el medio local. Esto se considera como una fuerte evidencia de que las condensaciones de baja masa como B68 evolucionan de forma cuasiestática (es decir, cada cambio que experimentan las condensaciones se da en un estado de equilibrio), al menos en las etapas anteriores al colapso protoestelar. También se han estudiado la química y el movimiento del gas en el interior de B68, y se han obtenido interesantes resultados: debido al choque de gas de alta velocidad proveniente de alguna explosión estelar cercana, parece que el glóbulo gaseoso vibra como una campana, lo que apunta a un equilibrio muy débil en B68 que puede que no tarde en romperse.

Un mapa de color

Para comenzar un estudio de otros núcleos como B68 se procedió a hacer mapas de la nube completa. Un mapa de radio era la solución más obvia, y un grupo de astrónomos japoneses lo completó en 1999. Sin embargo, la calidad y resolución de los datos era muy pobre como para resolver los núcleos densos individuales. Aún así, el mapa de radio de la Pipa permitió deducir

que el gas de la cazoleta tiene una velocidad radial un poco más alta que el de la cánula, formando una especie de anillo denso de gas. Este anillo muy posiblemente será la siguiente región de la nube en formar estrellas, después de B59.

Debido a que un mapa de radio con la calidad adecuada resultaba demasiado costoso para cualquiera de los radiotelescopios disponibles actualmente, se procedió a hacer un mapa de densidad del gas en la Pipa mediante una técnica llamada exceso de color, que hace uso del enrojecimiento por el polvo de la luz de las estrellas que se hallan detrás de la nube. El enrojecimiento de una estrella de fondo es proporcional a la cantidad de gas que hay entre el observador y la estrella. Se utilizaron datos del censo infrarrojo 2MASS, que permitieron medir el enrojecimiento que producen el gas y polvo de la Pipa en más de cuatro millones de estrellas gigantes del bulbo galáctico. Promediando los enrojecimientos individuales en regiones individuales de un minuto de arco de ancho, se elaboró al fin un mapa detallado de la nube, similar a un mapa de radio (salvo por la información sobre la velocidad del gas), que permitió resolver cerca de ciento cuarenta núcleos densos adicionales. El mapa 2MASS de la Pipa permitió determinar los radios y masas de todos esos núcleos y, más tarde, usando un radiotelescopio, se obtuvieron mediciones individuales de la velocidad radial del gas hacia cada uno de ellos (una opción más económica que el mapa completo).

Con todo ello, se logró deducir que los núcleos de la Pipa, con excepción del activo B59, son muy jóvenes, tal vez incluso más que B68, y que se encuentran en equi-

Debido al choque de gas procedente de una explosión cercana, parece que el glóbulo B68 vibra como una campana, lo que apunta a un equilibrio débil que puede que no tarde en romperse

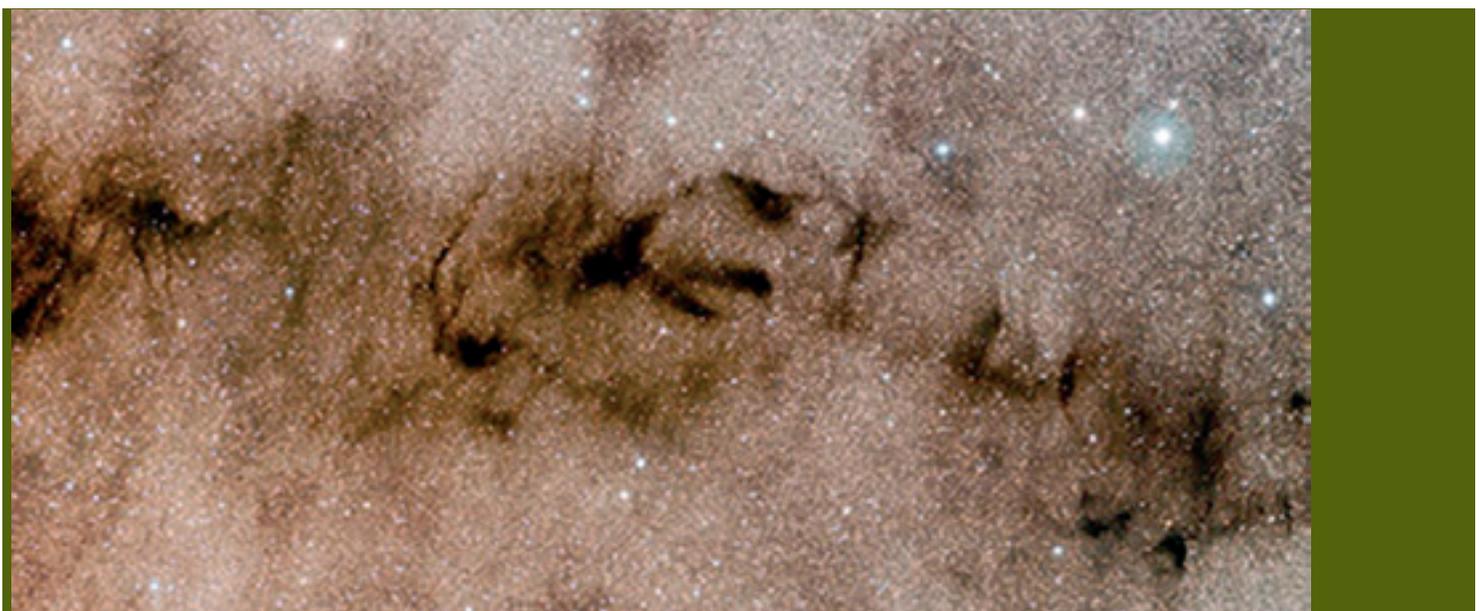
librio local con el medio gracias a la presión que ejerce sobre ellos la propia nube. También se descubrió que los núcleos de la Pipa no parecen seguir el comportamiento que se espera para un gas dominado por movimientos turbulentos y que, por el contrario, el gas dentro de los núcleos parece estar dominado por movimientos ordenados y coherentes. Así, en la escala de los núcleos densos, la turbulencia parece perder mucha de la importancia que tiene durante etapas más tempranas de la evolución de las nubes. Sin embargo, uno de los resultados más interesantes obtenidos del análisis del mapa 2MASS de la Pipa se refiere a la distribución de masas de los núcleos. Esta distribución, que indica cuántos núcleos de cada intervalo de masa hay en una nube es, estadísticamente hablando, idéntica a la distribución de masas de estrellas en cúmulos de estrellas jóvenes, como el Trapecio de Orión. Esto podría significar que la función inicial de masa de las estrellas que mencionamos anteriormente podría estar determinada en una etapa primordial de la nube. En pocas palabras, aquella distribución podría ser una de esas condiciones iniciales que estamos buscando.

Recientemente se incrementó la calidad del mapa 2MASS de la Pipa mediante un conjunto adicional de datos infrarrojos obteni-

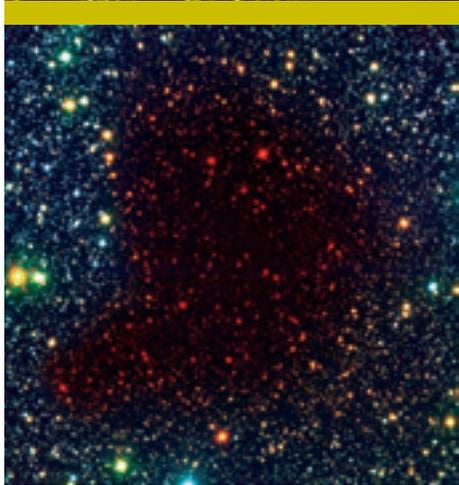
dos con telescopios de 3,5 y ocho metros del Observatorio Europeo del Sur, en Chile, y con el telescopio de 3,5 metros del Observatorio de Calar Alto en Andalucía. Los datos de estos telescopios, aunque solo cubren las áreas más densas de la nube, superan en varios órdenes de magnitud la profundidad y la resolución del censo de 2MASS, y han permitido desarrollar varios estudios detallados. Por un lado se estudió la relación entre extinción y longitud de onda, lo que reveló que, aún cuando se incrementa considerablemente la densidad del gas en núcleos como B59, los granos de polvo absorben la luz de manera similar a como lo hacen en regiones menos densas. Combinando las medidas con datos del telescopio espacial Spitzer, se logró resolver por fin la estructura del núcleo central en B59 que, a pesar de su gran masa, no formará más de una o dos estrellas nuevas.

Nuevos resultados

Otro trabajo de gran utilidad realizado con los nuevos datos infrarrojos de la Pipa es la creación de un nuevo conjunto de mapas con una resolución tres veces mejor en las regiones que contienen núcleos densos. Los nuevos mapas confirmaron que muchos de los núcleos detectados en el mapa de 2MASS contenían subestructura, es decir, que un porcentaje de ellos parece tener varios picos de densidad, en contraste con otros núcleos que tienen un solo pico de densidad. Se decidió entonces analizar las separaciones entre picos de densidad individuales y se descubrió algo muy interesante: a menor escala espacial, es decir, conforme hacemos un acercamiento a la nube, se observa que la cantidad de picos de densi-



Núcleos densos a lo largo de la cánula de la Pipa. Nótese el océano de estrellas al fondo de la región, en su mayoría estrellas gigantes del bulbo de la galaxia.



Comparación del área central del glóbulo B68. Arriba vemos una composición de datos del visible y del infrarrojo cercano; en la imagen inferior se han añadido datos en el infrarrojo que permiten observar las estrellas que se hallan detrás de la nube. Fuente: ESO.

dad aumenta de manera lineal. Este patrón parece ser regular en un intervalo que abarca desde escalas de pársecs (comparables con el tamaño de la nube) hasta escalas un poco más pequeñas que un décimo de pársec. Por debajo de este límite la proporcionalidad se pierde y el número de picos de densidad ya no asciende, lo que parece indicar que hay una escala límite por debajo de la cual la nube ya no se fracciona. Las masas de los picos de densidad más pequeños podrían ser menores que uno o dos décimos de una masa solar.

La proporcionalidad en la distribución de separaciones entre núcleos densos es muy parecida a la que se había observado en las estrellas de baja masa que se formaron en los filamentos de la nube activa de Tauro. Más aún, las estrellas en la nube de Tauro forman pequeños grupos a lo largo y ancho de la nube y, cuando se hizo un mapa de la

cantidad de núcleos densos de la Pipa por unidad de área en el mapa, se descubrió que los núcleos también formaban pequeños grupos, como lo hacen las estrellas en Tauro. Este resultado, junto con el de la distribución de separaciones, sugiere que la distribución espacial de los núcleos densos

¿Es acaso posible que muchos de los picos pequeños de densidad que forman subestructuras en núcleos grandes terminen uniéndose?

de la Pipa (el modo en el que se distribuyen en el área de la nube), es una versión temprana de la distribución espacial que tendrán las estrellas después de formarse.

La existencia de subestructura en los núcleos densos podría tener también consecuencias importantes a la hora de deducir cuál es el tamaño final que puede tener un núcleo que termine formando una estrella. Los picos de densidad más pequeños que se observan en los mapas de alta resolución podrían ser precursores de estrellas de muy baja masa, aunque, por otro lado, un reciente estudio numérico sobre B68 sugiere que un núcleo pequeño cercano a B68 podría unírsele y formar un núcleo más grande. ¿Es acaso posible que muchos de los picos pequeños de densidad que forman subestructuras en núcleos grandes terminen uniéndose? Responder a esta y otras preguntas requiere observaciones en alta resolución de más nubes como la Pipa.

Otro resultado reciente del estudio de la Nebulosa de la Pipa es la posible presencia de un campo magnético. Usando una lente

polarizadora, se observaron estrellas en distintas regiones de la nube y se descubrió que las orientaciones de los vectores de polarización de las estrellas eran, en promedio, casi siempre perpendiculares al eje principal o cánula de la Pipa. Esto es lo que se esperaría de una nube en la que un campo magnético ayudó a dirigir el flujo del gas para formar las estructuras filamentosas de la nube. Este resultado sugiere fuertemente que la nube posee un campo magnético que abarca toda su extensión. El campo magnético, además, sería más intenso en la región de la cazoleta y tendría su menor intensidad en B59. El campo magnético incluso parecería estar relacionado con el estado evolutivo de los núcleos. Esto último se deduce de estudios de la química de varios núcleos densos, hechos con la antena de radio de IRAM, en Sierra Nevada.

La Nebulosa de la Pipa ha resultado ser una verdadera mina de diamantes para el estudio de las condiciones iniciales de la formación estelar. Los resultados obtenidos de su estudio en los últimos años ya han dado excelentes frutos científicos, y han abierto el apetito de muchos investigadores para estudios más complejos. Un ejemplo de ello es la prioridad que se dio a la observación de la Nebulosa de la Pipa en el infrarrojo lejano con el telescopio espacial Herschel, que comenzó a operar hace apenas algunos meses.

REFERENCIAS

Alves, J. et al. 2007, A&A, 462, pp. L17
 Alves, F. et al. 2008, A&A, 486, pp. L13
 Lombardi, M. et al. 2006, A&A, 454, pp. 781
 Onishi, T. et al. 1999, PASP, 51, pp.871
 Román Zúñiga, C. et al. 2010, ApJ, 725, pp. 2232

La galaxia que se confundió con un guisante

INVESTIGADORES DEL IAA MIEMBROS DEL GRUPO CONSOLIDER-GTC ESTALLIDOS REVELAN NUEVOS DATOS SOBRE LAS GALAXIAS "GUISANTE VERDE"

Por Natalia R. Zelmanovitch (Consolider-GTC)

AÑO 2009. UNOS OBJETOS COMPACTOS, REDONDOS Y VERDES. No es de extrañar que los astrónomos aficionados del programa GalaxyZoo, que cuenta con un banco de imágenes *online*, los llamaran "guisantes verdes" (*green peas*, en inglés). Buscando en las placas obtenidas por el cartografiado Sloan Digital Sky Survey (SDSS), encontraron 250 entre más de un millón, algo que ningún astrónomo profesional podría haber hecho del mismo modo en una investigación. Solo el trabajo en equipo de cientos de aficionados hizo posible la clasificación de los guisantes verdes como un tipo de galaxia diferenciada de las demás.

El objetivo de los participantes en el Galaxy Zoo era encontrar objetos que tuvieran algo extraordinario en su morfología. Al principio no se sabía exactamente qué eran estos "guisantes verdes". Al estudiar las imágenes se vio que sus tamaños físicos eran, realmente, muy pequeños. Muchas de estas galaxias se habían clasificado, de hecho, como estrellas, por lo compactas que eran. Empezó entonces una carrera por saber cuál era la naturaleza de estos objetos. Los *green peas* llamaron la atención de un grupo de la Universidad de Yale, que adelantó algunas conclusiones en un primer artículo. En él, con los datos que tenían en aquel momento, se deducía que eran galaxias muy evolucionadas

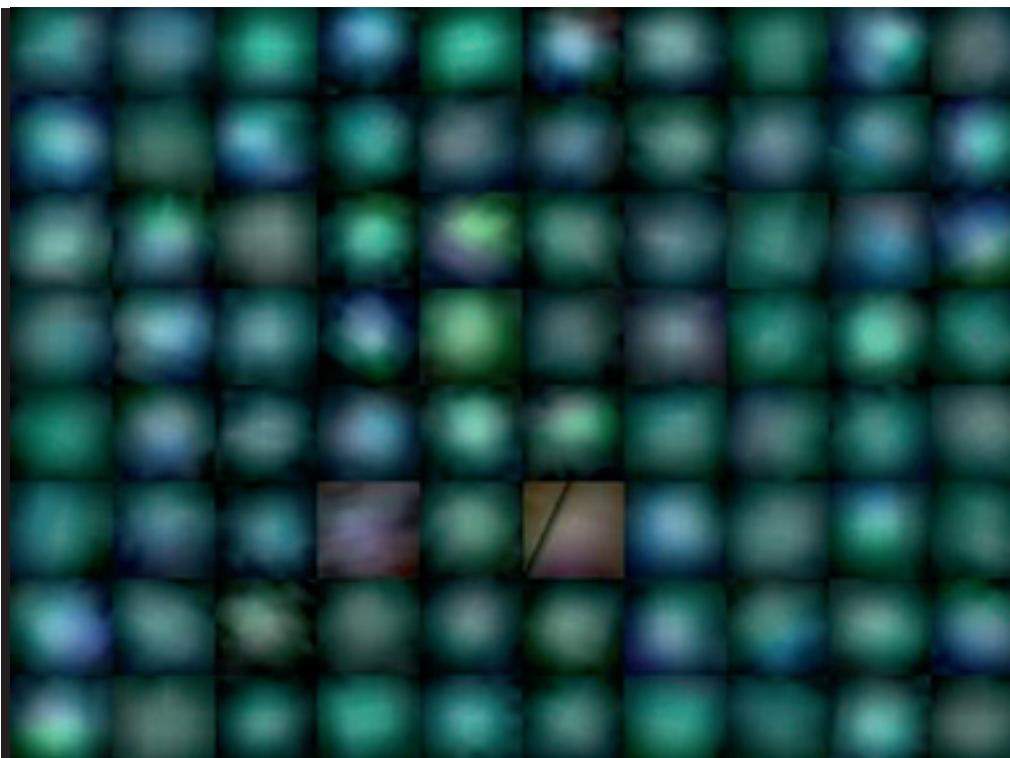
porque parecían tener muchos metales pero, al mismo tiempo, eran muy compactas, propiedad que caracteriza a las galaxias menos evolucionadas.

El color también era algo extraño: las galaxias evolucionadas tienden al rojo debido a que sus estrellas ya son viejas y se están enfriando (las estrellas jóvenes y activas se ven azules) y estas eran de un verde intenso. Este color se debe a que estas galaxias tienen, en la zona de su espectro correspondiente al verde (en torno a los 500 nanómetros), unas fuertes líneas de emisión debidas al oxígeno ionizado dos veces, lo que aumenta la luminosidad de este color en las composiciones de las placas del cartografiado SDSS.

Por otro lado, el equipo de Yale destacó que la propiedad más notable de estas galaxias era su tasa de formación estelar por unidad de masa que, al parecer, era inmensa. Esto resulta común en el universo muy lejano, pero se trata de una zona que no está tan alejada: el Universo tiene unos 13.700 millones de años, el Sistema Solar se formó hace unos 5.500 millones de años y se cree que las galaxias guisante verde se activaron hace aproximadamente tres mil millones de años. Por último, el grupo afirmaba que estos objetos ya habían alcanzado casi el contenido de metales que tiene el Sol, lo que resultaba un dato bastante contradictorio. Evolucionadas y con mucha metalicidad pero, al mismo tiempo, compactas, con propiedades de galaxias mucho más primitivas: había cosas que no encajaban.

Observaciones con GTC

Gracias a la información recopilada para tres de estos objetos a partir de observaciones realizadas previamente con el Telescopio Espacial Hubble por otros proyectos, y a la aplicación de modelos desarrollados por el grupo, el equipo liderado por José Vilchez, investigador del IAA, junto con Enrique Pérez-Montero y Ricardo Amorín (del mismo centro de investigación), reveló nuevos datos sobre estas peculiares galaxias verdosas. "Nos dimos cuenta de que la morfología, al irnos a muy alta resolución espacial, no era tan redonda como se creía en un principio y las galaxias



Galaxias "guisante verde". Fuente: SDSS.

parecían estar divididas en pequeñas partes, lo que podía indicarnos un choque de galaxias muy compacto y fuerte”, afirma Vílchez.

Sin embargo, era fundamental conocer cómo era la población estelar de estas galaxias y obtener mayor sensibilidad y resolución espacial: para ello era necesario observar con el Gran Telescopio Canarias (GTC). “Pedimos tiempo para realizar imagen muy profunda con el fin de ver hasta dónde podíamos delimitar la extensión del posible disco de estrellas que están ‘debajo’ del brote de formación estelar; a su vez, queríamos realizar espectroscopía para obtener no solo mejor información sobre metalidades y propiedades físicas, sino también para intentar ver la población más joven de estrellas”.

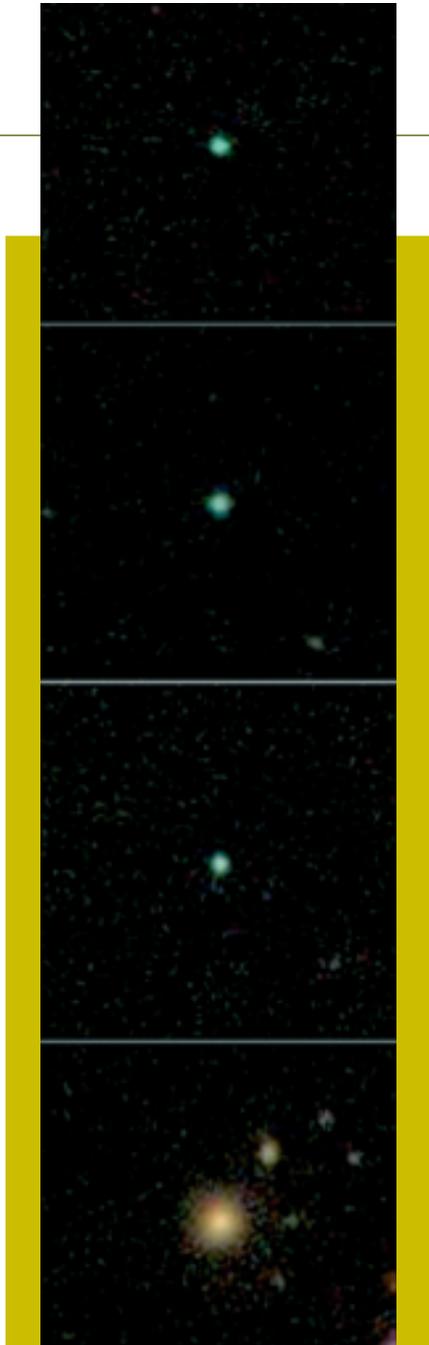
En un primer análisis, a partir de la espectroscopía del cartografiado SDSS, se observó que la naturaleza de estas galaxias era distinta de lo que se creyó en un principio y se llegó a unas conclusiones, en cierto modo, más razonables. Los objetos, pequeños y compactos, parecían ser realmente jóvenes químicamente hablando, por lo que no se trataría de objetos evolucionados. Pero, al mismo tiempo, cuando se observaban en relación con otras galaxias conocidas que presentaban formación estelar se veía que su masa estelar, frente al contenido de metales, ofrecía una información que las diferenciaba de las demás: “Estas galaxias están produciendo estrellas muy rápido, pero aún están por debajo de la tasa de producción de otras galaxias locales, y tienen menos metales”, explica Pérez-Montero.

El oxígeno frente al nitrógeno

La cantidad de metales nos dice cuán eficiente ha sido una galaxia en su historia a la hora de transformar el hidrógeno en elementos más pesados. Es como una fábrica, un enorme horno en el que el hidrógeno se ha ido convirtiendo en metales liberados al medio a través de vientos y eyecciones estelares tras la explosión de las estrellas en forma de supernova.

Comparando la abundancia de nitrógeno con la de oxígeno se pueden obtener datos reveladores. Se sabe que el oxígeno lo producen las estrellas más masivas que tienen una vida corta; y el nitrógeno lo producen, sobre todo, estrellas que duran mucho más, las que tardan más tiempo en morir. Esto nos da una idea de la evolución de la galaxia.

La mayoría de las galaxias sigue una relación entre la cantidad de nitrógeno y la de



Las galaxias guisante verde sorprendieron por su reducido tamaño y su color verdoso, que las distinguen de las galaxias que acostumbraban a ver los usuarios del GalaxyZoo. Fuente: Carolin Cardamone y SDSS.

oxígeno que viene marcada por su contenido metálico, siendo esta relación constante cuando tienen muy poco oxígeno. Sin embargo, las *green peas* parecen alterar esta norma. Los anteriores investigadores que midieron la abundancia de oxígeno de estas galaxias utilizaron solo sus líneas de nitrógeno: de ahí se extrajeron resultados contradictorios y por eso llegaban a la conclusión de que la metalicidad era alta.

“Para encontrar la proporción real entre el nitrógeno y el oxígeno en estas galaxias había que ir un paso más allá y calcular la abundancia de oxígeno midiéndola directamente. Para ello, se utilizaron las líneas de emisión del oxígeno”, explica Vílchez. “Cuando hicimos el análisis del espectro utilizando estas líneas más débiles dedujimos, por un lado, que el contenido de oxígeno no era tan alto como se había sugerido

do y, por otro, que el de nitrógeno sí lo era. Al analizar el problema en más profundidad vimos que el oxígeno de estas galaxias es muy bajo”.

Esto podría darse en galaxias en las que está cayendo una enorme cantidad de gas nuevo, poco procesado, produciendo gran cantidad de nuevas estrellas y llegando a “diluir” parte del oxígeno disponible en ese momento en la galaxia. Por tanto, la teoría del equipo del IAA sugiere que, probablemente, estas galaxias están acumulando cantidades inmensas de gas que se está procesando con una gran actividad de formación estelar. Esto explica que la tasa de formación estelar observada sea tan alta, que sean muy compactas y que químicamente estén prácticamente empezando a enriquecerse.

“Ahora vemos que estas galaxias, en un universo relativamente cercano, son objetos extraordinarios. Para nosotros pueden ser unos trazadores locales, pistas más cercanas de lo que podría haber sucedido hace muchos miles de millones de años. No obstante, parece que no se trata de un fenómeno frecuente, en parte porque son objetos poco brillantes y se necesitan telescopios como el GTC o incluso mayores para observarlos”.

La masa de estas galaxias es del orden de entre mil y diez mil millones de masas solares. Nuestra Vía Láctea tiene del orden de cien mil millones; las galaxias guisante verde son dos órdenes de magnitud menos masivas que una galaxia espiral como la nuestra. Son más pequeñas en tamaño y más compactas.

“En la imagen profunda que hemos obtenido con GTC, algunas de estas galaxias ya se ven algo elongadas, de modo que empieza a revelarse su auténtica morfología; por ejemplo, en algunas se adivinan misteriosos objetos satélites o compañeros del cuerpo principal, aunque aún no se llega a ver si son objetos extendidos. Aún no sabemos, sin embargo, cuántas de ellas no son completamente compactas. Con los nuevos datos de GTC buscábamos ver el contenido estelar de esas galaxias, la fracción de estrellas muy jóvenes frente al total, despejando el peso real de una posible población subyacente más vieja. El GTC ha proporcionado además nuevos espectros muy profundos en los que se puede ver con claridad la población de estrellas más masivas: ya estamos obteniendo datos sobre las estrellas jóvenes, su edad, su contenido metálico... la investigación está en marcha”. Nuevos datos que nos irán aclarando el misterio de los guisantes verdes.

Palomas y elefantes

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

Hotel New Yorker, Manhattan. 7 de enero de 1943

En la habitación 3327 agoniza el que ha sido su único ocupante durante los últimos diez años. Tumbado en la cama, rodeado de palomas enfermas o heridas que sistemáticamente ha ido recogiendo de la calle, un viejo y demacrado inventor de ochenta y seis años revive su vida. Imágenes de su infancia en Croacia o del día en que consiguió la nacionalidad norteamericana se presentan ante sus ojos con tanta intensidad que parecen reales. Recuerda los días gloriosos, las reuniones en el Waldorf-Astoria con influyentes magnates como J.P. Morgan o los Vanderbilt, las cenas de la alta sociedad, los grandes titulares con su nombre o su larga amistad con Mark Twain. Pero también los instantes sombríos como la extenuante búsqueda de financiación, las decisiones que le llevaron a la ruina, el cierre de sus laboratorios, el robo de sus patentes o el Nobel que nunca llegó. Y nítidamente rememora todos sus inventos y experimentos, a los que dedicó una vida entera: la torre Wardenclyffe ideada para iluminar y comunicar el mundo sin necesidad de cables, los experimentos con millones de voltios en su laboratorio de Colorado Springs, la aeronave de despegue vertical, el sistema para la comunicación interplanetaria, el rayo pacificador que habría acabado con la amenaza de guerra, la turbina capaz de aprovechar la inagotable energía geotérmica, las corrientes eléctricas para fisioterapia, el dispositivo para crear terremotos, el submarino teledirigido y, claro,...la radio. Pero, entre todas estas visiones, una de ellas se abre paso con más fuerza que ninguna: la tarde que visitó las cataratas del Niágara con George Westinghouse.

Cataratas del Niágara. Abril de 1895

Toneladas de agua caen desde cincuenta y dos metros de altura. La electricidad flota en el ambiente. Dos figuras observan el magnífico espectáculo. Una es un hombre de cincuenta años, de ojos vivos y un aspecto que recuerda al de una morsa. Se llama George Westinghouse, un empresario que ha hecho fortuna gracias al invento del freno neumático para el ferrocarril. Está celebrando la culminación de un nuevo negocio sin precedentes: la puesta en marcha de la central hidroeléctrica que, aprovechando la fuerza del Niágara, suministrará energía eléctrica al resto del país. La otra figura corresponde al

hombre al que debe todo esto. Diez años más joven, espigado, elegantemente vestido y de origen serbio es el genial inventor del sistema polifásico de corriente alterna que permite la transmisión de electricidad a larga distancia. Gracias a este invento y a su renuncia a cobrar por los derechos de patente, Westinghouse ha podido afrontar económicamente su magna obra y celebrar la derrota de su enemigo personal, Thomas Alva Edison, en lo que los periódicos han bautizado como “la guerra de las corrientes”.



- Entonces, finalmente, ¿Edison ha perdido? - pregunta el serbio.

-No del todo -responde el empresario- los cables de transmisión son suyos. Pero aún sigue electrocutando animales obstinado en convencer a la sociedad de los peligros de la corriente alterna. Lo llama *westinghousización*.

Y su risa resuena por todo el valle.

Luna Park, Coney Island. Enero de 1903

Se llama Topsy. Pesa más de seis toneladas y ha matado a tres hombres, entre ellos su domador, quien le hizo comer cigarrillos encendidos. Será la primera elefanta que va a

morir en una electrocución pública ante más de mil quinientas personas. Tras aplicarle 6600 voltios de corriente alterna, el animal se tambalea y muere en escasos segundos. Detrás de esta mortal exhibición se encuentra Edison. El conocido “mago de Menlo Park” es también uno de los empresarios más duros y avisados de la recién estrenada era tecnológica. Presidente de la multinacional General Electric, lleva más de una década intentando desacreditar el sistema de corriente alterna (AC) de la Westinghouse Electric en favor de la corriente continua (DC) como única manera de llevar la incipiente energía eléctrica a los hogares e industrias americanas. A pesar de todo, por muchos animales que electrocute con corriente alterna, Edison es consciente de que ha perdido la batalla. Y no la perdió cuando la comisión dio los derechos de explotación hidroeléctrica del Niágara a Westinghouse, ni cuando unos años antes la Westinghouse asombró al mundo con la majestuosa iluminación de la Exposición Universal de Chicago. No, la perdió muchos años antes, cuando despidió a aquel ingeniero serbio que por entonces trabajaba para él. Aún recuerda el día en que lo contrató.

Quinta Avenida. Un día de verano de 1884

Es una mala tarde para Edison. Con la ayuda de un inversor como J.P Morgan ha puesto en marcha la primera central eléctrica que lleva luz en forma de corriente continua a algunas casa adineradas de Nueva York, así como a teatros y fábricas de la ciudad. También ha comenzado a instalar iluminación a bordo de barcos. Sin embargo, todavía es una tecnología en ciernes y esa misma tarde ha tenido que enviar a todos sus ingenieros a la mansión de los Vanderbilt, donde se ha declarado un incendio por un cortocircuito. Además, acaba de recibir una llamada telefónica de uno de sus clientes: no le funciona el generador eléctrico de su barco y exige su reparación inmediata. Edison está desesperado. En ese instante, un joven elegante y con un ligero acento extranjero se presenta ante él con una carta de recomendación de un colaborador de Edison en Europa. Edison lee la carta en voz alta:

- Conozco a dos grandes hombres, usted es uno de ellos, el otro, es el joven portador de esta carta. ¡Vaya!, a esto lo llamo yo una carta de recomendación. Y, ¿cómo ha dicho usted que se llama joven?

- Nikola Tesla.

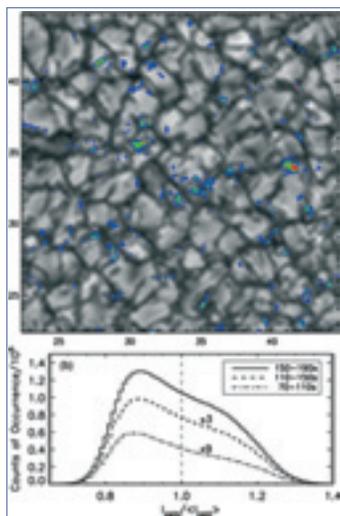
- Muy bien, señor Tesla, ¿sabe usted arreglar el alumbrado de un barco?

SUNRISE, UN TELESCOPIO QUE OBSERVÓ EL SOL DESDE UN GLOBO ESTRATOSFÉRICO EN EL ÁRTICO, HA REVELADO UNA ESPECTACULAR ACTIVIDAD EN REGIONES DE LA SUPERFICIE SOLAR QUE TRADICIONALMENTE SE CONSIDERABAN EN CALMA. LA MAYORÍA DE LOS RESULTADOS PROCEDE DEL INSTRUMENTO IMAx, EL MAGNETÓGRAFO DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN ESPAÑA BAJO LA DIRECCIÓN DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS Y EN EL QUE COLABORA EL IAA. DECONSTRUIMOS AQUÍ ALGUNOS DE LOS RESULTADOS.



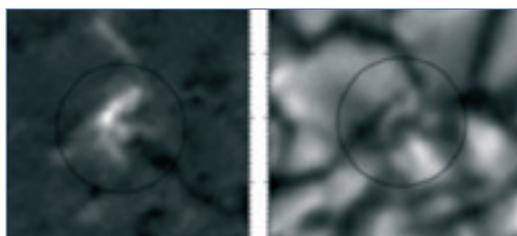
1 ENERGÍA ACÚSTICA

Uno de los resultados aporta luz sobre un antiguo problema, el calentamiento de la cromosfera, la capa inmediatamente superior a la fotosfera (esta podría considerarse la "piel" o superficie del Sol, ya que es la capa que vemos cuando lo miramos). Se desconocía por qué, si la temperatura de la fotosfera se estima en 6.000 grados, en la cromosfera se miden temperaturas de hasta 20.000 grados. IMAx/Sunrise ha hallado que en las regiones por debajo de la fotosfera se produce el doble de energía acústica de lo que se pensaba, lo que se acerca a los valores necesarios para explicar el calentamiento cuando dicha energía se transporta hacia arriba. Esta energía se produce por los movimientos convectivos en el Sol, es decir, por material caliente que asciende hacia la superficie, se enfría y vuelve a descender. Esta convección genera cambios de presión que se propagan en forma de ondas que, al transportarse, liberan energía térmica y aumentan la temperatura.



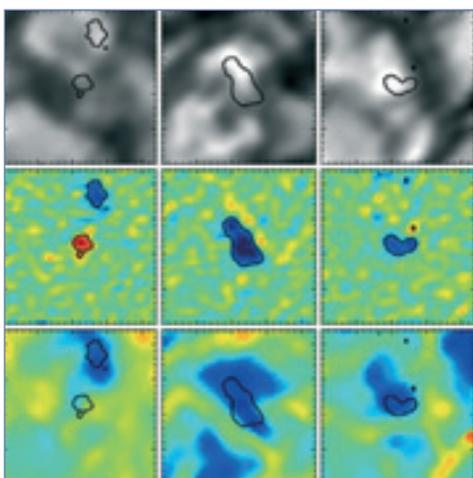
2 VÓRTICES SOLARES

La convección en la superficie del Sol tiene lugar a través de determinados puntos, donde se localizan unas corrientes descendentes que recogen el material frío y lo devuelven al interior solar. El plasma, según se aproxima al sumidero, gira y produce vórtices (o remolinos), un fenómeno que se había predicho teóricamente en los años noventa del siglo pasado pero que no se había observado hasta hace apenas dos años. IMAx/Sunrise ha permitido caracterizar estos vórtices, que han resultado ser dos veces



más abundantes de lo que se creía y presentan una tendencia a rotar en el sentido contrario a las agujas del reloj, lo que constituye una sorpresa y que los autores atribuyen a la rotación diferencial del Sol (las regiones ecuatoriales giran más rápido que las polares). Aunque la duración media de estos remolinos no suele superar los diez minutos, algunos se desarrollan durante más de veinte.

3

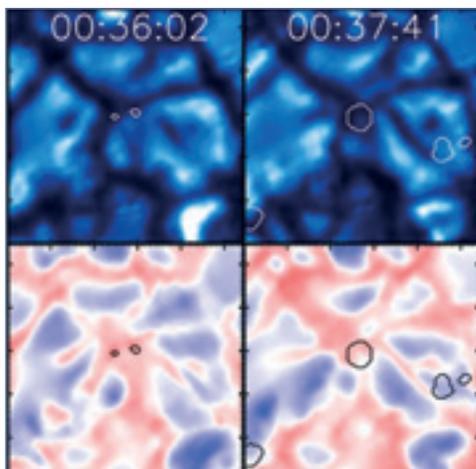


CHORROS MAGNÉTICOS SUPERSÓNICOS

A diferencia de las regiones activas o con manchas, y debido a sus reducidas escalas espaciales y temporales, la evolución del campo magnético en la granulación solar resulta difícil de estudiar. La granulación se produce por la existencia de gas caliente subiendo hacia la superficie (similar al burbujeo del agua al hervir) y se manifiesta en forma de gránulos, que presentan un tamaño medio de unos mil kilómetros y una duración de unos cinco minutos - como comparación, una mancha solar puede medir cuarenta mil kilómetros y durar meses. IMAx/Sunrise ha hallado chorros magnéticos supersónicos en las celdas granulares que muestran cómo el flujo magnético emerge a través de la superficie del Sol en calma. Se trata de un fenómeno originado por la interacción de las líneas de campo magnético: como no pueden cruzarse, cuando las líneas emergentes encuentran otras preexistentes tiene lugar una "reorganización" o reconexión magnética que libera gran cantidad de energía.



4

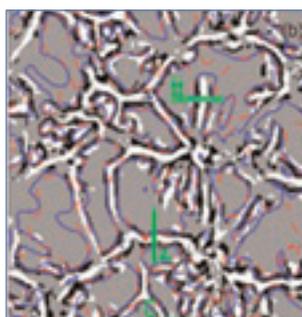


ESTRUCTURAS MAGNÉTICAS HORIZONTALES

Hace apenas tres años, observaciones de gran resolución espacial desvelaron que en las regiones en calma de la fotosfera existen estructuras con un campo magnético débil y muy horizontal. Empleando un sistema de detección automática, IMAx/Sunrise ha estudiado estas estructuras y ha revelado que el ritmo de aparición de estos campos horizontales es de entre diez y cien veces mayor que lo que se estimaba. De carácter muy dinámico, estas estructuras aparecen y desaparecen preferentemente en los bordes de los gránulos y no muestran un tamaño o una duración determinados.

CAMBIO DE DIRECCIÓN DE LOS FLUJOS CONVECTIVOS

5



Los datos de IMAx/Sunrise han permitido identificar por primera vez la estrecha línea que separa el flujo de material ascendente -en los gránulos- y el flujo descendente -en los carriles intergranulares-.

6

TUBOS DE FLUJO MAGNÉTICO

Un antiguo problema, que data de los años 70 del siglo pasado, se refiere a la existencia de tubos de flujo magnético a pequeña escala, que se consideran los ladrillos del magnetismo solar pero cuya existencia se había demostrado solo de forma indirecta debido a su reducido tamaño. La inigualable resolución IMAx/Sunrise ha permitido obtener pruebas directas de numerosos de estos tubos magnéticos, que ayudan a completar el complejo puzzle que constituye el campo magnético solar.

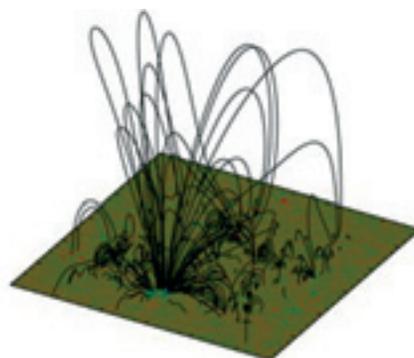


7

BUCLAS EN EL SOL EN CALMA

Sunrise observó la superficie del Sol con un detalle de unos cien kilómetros, una resolución sin precedentes que le permitió estudiar la conexión magnética entre la fotosfera, la cromosfera y la corona a través del análisis de bucles magnéticos en las regiones del Sol en calma. Los investigado-

res hallaron una estructura asimétrica, ya que la mayoría de los bucles que alcanzan la cromosfera o las capas superiores mantienen un pie en regiones de la fotosfera con un campo magnético intenso mientras que el otro presenta un campo más débil.



Para más información, consultar el especial sobre el Sol de esta publicación (número 21) o los reportajes sobre Sunrise y sobre el campo magnético solar publicados en el número 29 (pags 2-6).



el "Moby Dick" de...

...Martin Guerrero Roncel (IAA-CSIC)

La Nebulosa del Ojo de gato

Fecha: once de enero de 1999. Lugar: algún punto del Atlántico Norte, a bordo de un vuelo de la KLM en ruta desde Amsterdam a Chicago. Releía un artículo científico, pero lo que decía no hacía más que llenar mi cabeza de negros augurios. Había aceptado un contrato postdoctoral en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign (EEUU), y la responsable de mi investigación, la profesora You-Hua Chu, me había convencido para iniciar trabajos sobre la emisión difusa en rayos X en nebulosas planetarias. Las nebulosas planetarias me resultaban muy próximas, habían sido el tema central de mi tesis doctoral y acababa de publicar un catálogo de imágenes. Sin embargo, la emisión difusa en rayos X en el interior de estos objetos, que se esperaba estuviera asociada al choque entre el viento estelar y la propia nebulosa, me era completamente desconocida. Y lo que estaba leyendo no acababa de convencerme. Había por aquel entonces poquísimas nebulosas planetarias con emisión en rayos X, en una buena parte de los casos debido únicamente a la estrella central y, en otros, procedente de... ¡un objeto en el campo de visión que no había sido resuelto debido a la mala calidad de las observaciones disponibles! ¿Qué hacía yo en ese vuelo, justo el día de mi cumpleaños, con destino a un campo de investigación que parecía carente de futuro?

Era cierto que había habido muchos errores y problemas con las observaciones previas en rayos X de nebulosas planetarias, pero había alguna esperanza. Justo por aquel entonces NASA y ESA se disponían a lanzar Chandra y XMM-Newton, dos nuevos observatorios en rayos X, mucho más potentes y con mejor resolución espacial que los existentes previamente. A la espera de la puesta en funcionamiento de esos satélites, nos dispusimos a revisar todas las observaciones previas de ROSAT de nebulosas planetarias. Y así, mi tarea durante el primer año allí fue la rutinaria revisión del archivo de ROSAT. Entre las nebulosas planetarias observadas, solo trece se detectaban en rayos X y, en la mayor parte de ellas, la emisión era la que se esperaba de sus calientes estrellas centrales. Había una nebulosa planetaria, no obstante, que nos llamó la atención: NGC 6543, la Nebulosa



Nacido en Marchena (Sevilla) en 1968. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid, realizó la tesis doctoral en el Instituto de Astrofísica de Canarias y en la Universidad de La Laguna, Tenerife (1995). En la actualidad es Investigador Científico del CSIC en el IAA.



Imagen en falso color de la Nebulosa del Ojo de Gato en el óptico (rojo y verde) y en rayos X (azul).

del Ojo de Gato, la que se habría de convertir en mi Moby Dick particular.

Un candidato idóneo

La Nebulosa del Ojo de Gato se encuentra muy cerca del Polo Norte Galáctico y, precisamente en esa dirección, ROSAT llevaba a cabo observaciones rutinarias para su calibración. Por mera casualidad, pues, la observación de ROSAT de la Nebulosa del Ojo de Gato tenía un tiempo total de integración superior a los cien mil segundos, mientras que para muchas otras nebulosas planetarias no llegaba a cinco mil. Esa

“No solo confirmamos la predicción del modelo, sino que descubrimos un tipo de emisión inesperada”

observación tan profunda nos permitió descubrir emisión aparentemente extensa y con la firma espectral esperada para el viento estelar calentado por el choque con la nebulosa. Por este motivo y por su apropiado tamaño angular, la Nebulosa del Ojo de Gato era el candidato ideal para observación con el satélite Chandra. Así que elaboramos una propuesta que convenció al comité de asignación de tiempos para que Chandra nos observara este objeto. Era cuestión de unos meses, mientras nuestras observaciones eran programadas y ejecutadas.

Una mañana de mayo de 2001 me dirigía al

Departamento de Astronomía en mi vieja bicicleta. Al llegar allí, You-Hua me esperaba con una amplia sonrisa. Había recibido imágenes preliminares de las observaciones Chandra de la Nebulosa del Ojo de Gato y se mostraba muy optimista porque la imagen mostraba emisión difusa en rayos X, además de una fuente puntual. Rápidamente, registramos la imagen en rayos X con una óptica y el resultado nos pareció espectacular. La emisión en rayos X quedaba perfectamente confinada dentro de la burbuja más interna que se aprecia en el óptico (ver imagen). En pocas palabras, por primera vez se había detectado viento estelar calentado por choques confinado dentro de la nebulosa planetaria tal y como predecía el modelo canónico de formación de nebulosas planetarias desde 1978.

Maravillados estábamos cuando nos percatamos de una peculiaridad adicional. La fuente puntual de rayos X coincidía con la estrella central de la Nebulosa del Ojo de Gato, pero ..., espera, esa estrella es demasiado fría para presentar emisión fotosférica en rayos X. Además, el espectro de rayos X descartaba categóricamente que fuese emisión fotosférica de la estrella central. No solo habíamos confirmado la predicción del modelo canónico de vientos en interacción, sino que habíamos descubierto un tipo de emisión inesperada en la estrella central de una nebulosa planetaria. Después se ha descubierto este tipo de emisión en unas pocas estrellas centrales más, pero su origen, como en el caso de la Nebulosa del Ojo de Gato, sigue siendo, cuanto menos, enigmático. ¿Está relacionado con la acreción de material sobre la estrella central? ¿Tal vez desde un disco? ¿O tal vez se deba a la emisión coronal de una compañera de baja masa? Ambos, discos y compañera podrían guardar relación con los flujos bipolares en precesión que se observan en esta nebulosa. O, como ocurre en estrellas masivas de tipo OB, ¿podrían ser choques en el viento estelar?

En fin, preguntas sin resolver de una vieja ballena que aún defiende sus más recónditos secretos.

Hartley 2: ¿el paradigma cometario?

Análisis de los datos sobre el Hartley 2 obtenidos por la sonda EPOXI

► El pasado 4 de noviembre, la sonda Deep Impact, en su misión extendida EPOXI, tomó imágenes y espectros del cometa 103P/Hartley o Hartley 2 desde una distancia aproximada de 700 kilómetros. Las imágenes revelaron un núcleo muy alargado, con forma de cacahuete, que mide aproximadamente 2,2 kilómetros de largo y 400 metros de ancho. Lo más espectacular, según el equipo científico de la misión, reside en que las imágenes mostraban chorros de gas y partículas que podían ser trazados, por primera vez, hasta la región de origen en el núcleo. En expresión navideña, las imágenes mostraban que el núcleo sufría una tormenta de nieve, rodeado de "bolas de nieve" con tamaños que oscilaban desde el de una pelota de golf hasta el de una de baloncesto.

Este resultado de la alta resolución y nitidez de las imágenes supongo que ha sido celebrado con satisfacción por la más pura ortodoxia de la fe cometaria pues, desde hace mucho tiempo, ha sido discutido, buscado, sobre todo, creído y, por fin, encontrado. Ese resultado, quizá difícil de entender (porque lo es de explicar) para el que no haya vivido las idas y venidas en la búsqueda de partículas de hielo alrededor de los núcleos cometarios o las discusiones sobre la actividad cometaria y el origen de los chorros, casi empaña lo, en mi opinión, realmente importante: que esos chorros en concreto están constituidos por dióxido de carbono. En palabras de la Doctora Sunshine, coinvestigadora principal de EPOXI, este descubrimiento ha sido posible gracias a que hemos ido hasta el cometa, ya que el CO₂ no se puede detectar desde Tierra. El hecho de que los chorros detectados estén formados por CO₂ es muy importante porque afianza la idea de que los cometas, al menos algunos, deben contener todavía material pristino, prácticamente inalterado desde su formación. El CO₂ es muy volátil y su presencia, formando los chorros, nos

indica que el núcleo ha sufrido escaso procesado térmico ya que, de otra manera, ese compuesto habría, prácticamente, desaparecido hace tiempo.

Otro hecho singular es que las producciones de agua y de CO₂ parecen separadas. La del CO₂ está restringida principalmente, según se puede ver en las imágenes, a uno de los extremos, de apariencia altamente rugosa. A su vez, el agua detectada parece proceder de la "cintura" del núcleo, de una zona suave sin rugosidad apreciable con la resolución alcanzada. Y esa descripción permite plantear algunas preguntas interesantes, especialmente para aquellos que se ocupan de la evolución termofísica y destinadas a relacionar lo que podemos observar desde Tierra con el origen y formación de los cometas: ¿por qué la región de la que procede el CO₂ está tan fría -ya que no se observa sublimación de agua- si está expuesta al sol?, ¿es la rugosidad tan importante en el balance energético?, ¿está el CO₂ en forma de hielo puro o contenido en amorfo de agua?, ¿procede el agua realmente de la "cintura"



Imagen del núcleo del cometa Hartley 2 tomada desde el punto de máximo acercamiento. NASA/JPL-Caltech/UMD.

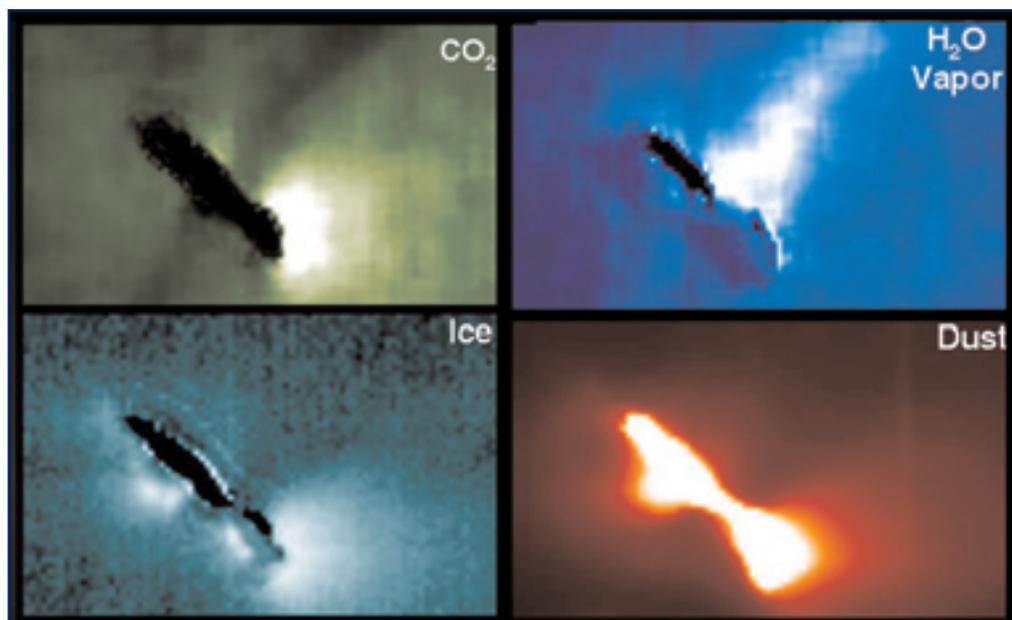
o lo que se "ve" se debe a efectos térmicos y dinámicos en la coma? Y si procede de la cintura, ¿cuál es la justificación para esa composición heterogénea en un cuerpo tan pequeño? Estoy seguro de que los artículos que se publicarán al respecto responderán a esas preguntas.

Hartley 2 es el quinto cometa visitado por una sonda espacial y, hasta la fecha, todos se definen por sus singularidades, de modo que resulta difícil encontrar los elementos comunes. Así, en mi opinión, uno podría decir que los accidentes cometarios nos

escamotean su esencia y, si uno es víctima de Platón, aún queda mucho trabajo, eso sí, con los permisos de la escolástica y de la imperiosa necesidad de publicar artículos. Estoy convencido de que con los cometas estamos como cuando se descubrió el ornitorrinco sesenta años antes de la publicación de *El origen de las especies*: era un pato raro.

Sobre la misión

En mi opinión, esta misión de la NASA-Universidad de Maryland (y construida por Ball Aerospace) consti-



Mapas de la coma del cometa Hartley 2 mostrando la distribución de CO₂, vapor de agua, hielo y polvo. Las imágenes parecen indicar que todos los elementos tienen un origen común excepto el vapor de agua, que parece proceder de la "cintura" del cometa. NASA/JPL-Caltech/UMD.

tuye todo un ejemplo de eficiencia. Las fases de planificación y diseño se desarrollaron entre noviembre de

1999 y mayo del 2001. Construida y sometida a las correspondientes pruebas, la misión fue lanzada en

enero del 2005, con el objetivo, como muchos recordarán, de alcanzar el cometa Tempel 1 y lanzarle un impactador de 370 kilos de peso. El impacto se produjo, según lo planeado, el 4 de julio del mismo año del lanzamiento y se obtuvo información única en la exploración cometaria. Después, la misión fue extendida y rebautizada como EPOXI, en referencia a los dos componentes de su extensión: *Extrasolar Planet Observations and Characterization*, EPOCh, y *Deep Impact Extended*

Investigation, DIXI). Durante la fase EPOCh, los instrumentos de Deep Impact han proporcionado información sobre posibles planetas extrasolares e, incluso, realizaron observaciones que permitieron la detección inequívoca de agua (o hidroxilo) en la Luna. Ahora nos encontramos en el análisis de los datos tomados durante la fase DIXI, la visita al cometa Hartley 2, y ya se ha empezando a hablar de una segunda extensión.

Pedro J. Gutiérrez (IAA)



La galaxia más lejana, otra vez...

UDFy-38135539, con un valor de redshift $z=8,6$, constituye la galaxia más lejana jamás observada. Se muestra como era cuando el Universo tenía solo 600 millones de años, menos del 5% de su edad actual



pasa de una pequeña masa de células indiferenciadas a una versión diminuta de una persona.

Parece ser que en el Universo temprano ocurrió algo parecido. Si tomamos los últimos diez gigaaños* (aproximadamente entre $z=0$ y $z=2$), para los que tenemos medidas razonablemente detalladas, observamos galaxias bastante similares. Es cierto que en este tiempo hay evolución en la tasa de formación estelar (más fuerte en el pasado), posiblemente causada por el progresivo agotamiento del gas neutro en las galaxias, y también ha decrecido en nuestra época la densidad de galaxias activas y su intensidad. Pero estas pueden considerarse, como en el crecimiento del cuerpo humano, cuestiones de escala, y no cambios radicales. Sin embargo, más allá de esta época ($z>2$) prácticamente desaparecen las galaxias con grandes estructuras elípticas y espirales, y las galaxias dominantes en términos de luminosidad suelen ser irregulares y estar sometidas a encuentros o fusiones. Es lo que se espera en un marco de formación jerárquico, en el que las primeras galaxias que se forman son pequeñas, y por fusiones sucesivas van formando estructuras mayores. Desde los años 90 y gracias a las téc-



nicas de selección por color, se han ido construyendo catálogos cada vez más completos en el rango $z=2-5$, hasta alcanzar muestras con más de veinte mil galaxias. Esta época corresponde a una edad aproximada del Universo entre uno y 3,5 gigaaños. ¿Son estas galaxias, en cierto modo, primordiales o muy diferentes a las actuales? Bien, en realidad, tampoco demasiado... como hemos dicho en el párrafo anterior, hay diferencias morfológicas, pero sus poblaciones estelares no parecen ser muy diferentes de las que se observan en las galaxias con formación estelar más fuerte de nuestro entorno. Y hay una observación que es aun más importante para los cosmólogos: su composición química presenta abundancias de metales relativamente altas y similares a las actuales, lo que indica que han sido ya fuertemente enriquecidas por la presencia de varias generaciones de supernovas. No aparecen en ellas la esperada primera generación de

estrellas (Población III), formadas por hidrógeno y helio puros tal como surgieron de la Gran Explosión, que serían la señal de las galaxias primigenias.

Las más lejanas

¿Y qué sabemos entonces de los primeros mil millones de años? Solo un puñado de galaxias han sido observadas en este periodo, incluida nuestra protagonista. Además, se han observado explosiones de rayos gamma hasta redshift $z=8.2$, y cuásares hasta $z=6.4$. Cada uno de estos objetos representa una información preciosa, y en su estudio se han utilizado los más potentes telescopios. No obstante, dos problemas observacionales limitan nuestras posibilidades. En primer lugar, estos objetos tan lejanos son necesariamente poco brillantes, e incluso con telescopios de ocho o diez metros es difícil recoger poco más que la evidencia de su presencia. Pero ocurre algo más: el corrimiento al rojo

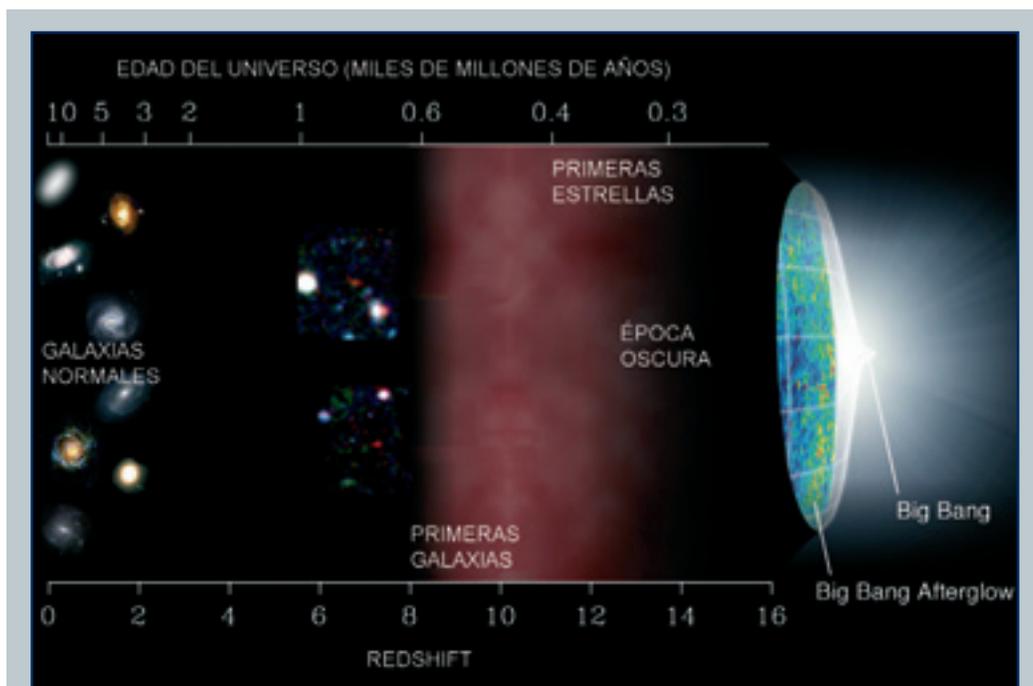
* Un gigaaño equivale a mil millones de años -y es mucho más rápido de decir.

es tan alto que su principal indicador, la línea de absorción Lyman alfa producida por el hidrógeno neutro y que en reposo se observa en el ultravioleta (1216 Angstroms), se desplaza al infrarrojo, cerca de 10000 Angstroms. Por tanto, es necesario utilizar instrumentación infrarroja, menos sensible y más perjudicada por los efectos de la atmósfera terrestre.

En el caso concreto de UDFy-38135539, la galaxia fue detectada por primera vez en imágenes del Hubble Ultra Deep Field, y seleccionada como un candidato a muy alto redshift en virtud de sus colores. Después, gracias a la cámara espectrógrafo Sinfoni en el VLT, se confirmó el redshift al detectar una única línea de emisión a 11615 Angstroms. Identificando esta línea con emisión Lyman alfa se obtiene el redshift $z=8.555$, compatible con las expectativas basadas en la fotometría. En principio, la detección de una única línea permitiría otras interpretaciones, como emisión de OII a 3727 Angstroms con un redshift $z=2.12$, o emisión de OIII a 5007 Angstroms con $z=1.32$. No obstante, existen diversas razones que justifican la elección de la opción a alto redshift: en el caso del OII, por ejemplo, debería observarse la línea como un doblete que no existe. Además, la abundancia de datos fotométricos sobre este objeto pone límites muy severos a los posibles valores del redshift.

La intensidad de la línea es típica de otros emisores Lyman alfa en el intervalo $z=3-7$, así que no es un objeto especial en ese sentido. Su luminosidad en banda ancha sería también típica de una galaxia promedio, si se nos permite extrapolar las funciones de luminosidad medidas a $z<6$.

Alberto Fernández-Soto
(IFCA, CSIC/UC)



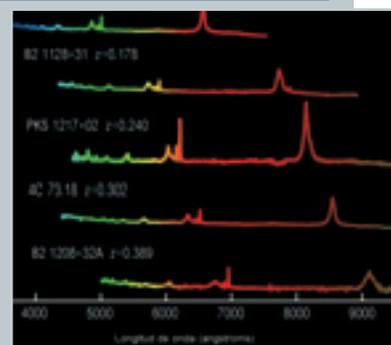
Alto redshift y reionización

Arriba vemos una línea temporal, que relaciona la edad del Universo con el redshift (o corrimiento al rojo) correspondiente. El redshift, denotado z , se emplea para medir cuánto se ha desplazado hacia el rojo del espectro la luz de una galaxia lejana debido a la expansión del Universo (a la derecha vemos un ejemplo con varios objetos: a mayor redshift, más se desplazan las líneas hacia el rojo).

Un aspecto interesante de estos objetos a muy alto redshift reside en que la radiación que emiten atraviesa el medio intergaláctico (IGM) que, en esa época, podría estar en plena reionización. Llamamos así al proceso en el que las primeras fuentes de

radiación ultravioleta (estrellas masivas, núcleos galácticos activos, o una mezcla de ambos) ionizaron el hidrógeno formado en el momento de emisión del Fondo Cósmico de Microondas, dejando el IGM casi totalmente ionizado que observamos a todos los redshifts $z<6$.

Las propiedades de la emisión de UDFy-38135539, la galaxia hasta ahora más distante, y el hecho de que observemos radiación ultravioleta que escapa de ella indican que, posiblemente, esta galaxia forma parte de un grupo más numeroso en el que otras galaxias estén ionizando el IGM, formando una especie de gigantesca burbuja de Strömgren a su alrededor -la zona, aproximada-



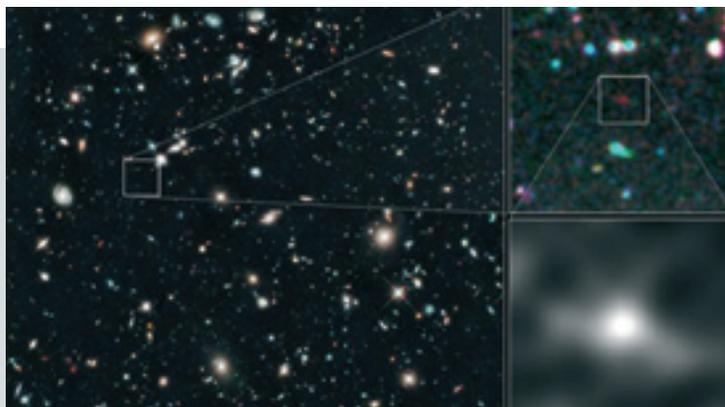
mente esférica, que rodea a una estrella joven masiva, dentro de la cual su radiación ultravioleta ioniza el medio interestelar, que es neutro fuera de ella. Los cosmólogos tomamos prestado este nombre para hablar de la zona ionizada alrededor de una galaxia al inicio de la reionización. Muchas más observaciones como esta serán necesarias para resolver las incógnitas sobre la época de la reionización.

EN BREVE

¡Última hora!

► En una muestra de cuán excitantes son estos tiempos para la Cosmología, el día 26 de enero, mientras esta revista estaba a punto de entrar en imprenta, NASA anunció el descubrimiento de una nueva galaxia que posiblemente se halle a $z=10.3$, ¡en las mismas imágenes del Hubble Ultra Deep Field!

La galaxia que ha destronado a UDFy-38135539, protagonista de estas páginas, se encontraría a 13.200 millones de años luz de distancia y emitió su luz cuando el Universo contaba con 480 millones de años.



Bacterias que utilizan arsénico: algunas precauciones



El pasado diciembre, la NASA anunciaba un descubrimiento “que impactaría en la búsqueda de vida extraterrestre”. El hallazgo, que ha levantado críticas entre la comunidad científica, era más bien “terrestre”

► La noticia ha salido recientemente a bombo y platillo. Científicos de la NASA (y de otras instituciones) descubren una bacteria que emplea arsénico en lugar de fósforo. En algunos medios de comunicación se habla del descubrimiento de “un nuevo modo de vida”. Esto último es un pelín exagerado, ya que la bacteria en cuestión pertenece a una familia bien conocida (*Halomonadáceas*).

Tras echarle un vistazo al artículo publicado en *Scienceexpress*, y reconociendo que se trata de una bomba periodística, creo que todavía es pronto para echar las campanas al vuelo. No porque el descubrimiento no sea interesante, sino porque los autores tendrán que presentar bastante más evidencia experimental para convencer a la comunidad científica de que realmente las cosas son como ellos dicen. Pero vamos por partes:

Todos los seres vivos dependemos de seis elementos básicos: carbono,

hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre y fósforo. Algunos elementos adicionales son también necesarios pero solo en pequeñas cantidades (oligoelementos), como el calcio, hierro, zinc, cobre, magnesio o manganeso (básicamente, lo que contienen los complementos nutritivos minerales). En algunos casos se ha visto que es posible sustituir un oligoelemento por otro, pero el intercambio de algunos de los “seis grandes” se consideraba imposible.

El arsénico es un elemento químico relativamente parecido al fósforo y ambos ocupan posiciones contiguas en la tabla periódica. Ambos tienen un radio atómico y una electronegatividad similar, por lo que su comportamiento químico también es parecido. En particular, la forma más abundante del fósforo en los seres vivos, el fosfato, se comporta de manera muy parecida al arseniato. Precisamente en esta similitud química se basa la toxicidad del arseniato, que puede incorporarse

en muchos procesos biológicos dado que no es distinguible del fosfato, pero las pequeñas diferencias químicas entre uno y otro hacen que muchos procesos biológicos acaben siendo inhibidos, dado que los compuestos de arseniato son mucho menos estables que los correspondientes compuestos de fosfato.

En el trabajo publicado por Felisa Wolfe-Simon y colaboradores se describe una bacteria procedente del lago Mono de California, cuyas aguas contienen altos niveles de arsénico. Los investigadores muestran que esta bacteria, denominada cepa GFAJ1, contiene, asimismo, cantidades elevadas de este elemento. Más importante, la bacteria no crece en un medio carente de fósforo y arsénico y crece bien cuando el medio contiene fósforo. Lo novedoso es que, si al medio carente de los dos elementos se le suministra solo arsénico, la bacteria es capaz de crecer, aunque diez veces menos que en presencia de fósforo.

Utilizando otras técnicas, estos investigadores demuestran también que el arsénico está presente y es abundante en las principales moléculas orgánicas de las bacterias: DNA, proteínas y lípidos. A partir de estos datos, los autores concluyen que la cepa GFAJ1 está utilizando arsénico en todas aquellas moléculas en las que normalmente se emplea fosfato, como el ATP o el NADPH.

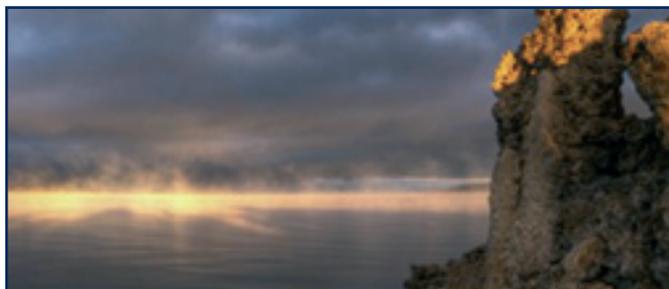
Bien. Es posible que sea así y en tal caso se trata de un descubrimiento realmente importante. Sin embargo, hay muchas preguntas que deben ser abordadas antes de aceptar esta conclusión. Por ejemplo, habrá que ver si realmente las células emplean tri arseniato de adenosina en vez de su equivalente (tri fosfato de adenosina) y si este compuesto es realmente capaz de cumplir su papel esencial en el metabolismo energético.

Análogamente, habrá que excluir la posibilidad de que los compuestos se encuentren unidos a arsénico pero que la célula esté empleando el fósforo para sus reacciones bioquímicas. También habrá que excluir la posibilidad de que la alta concentración de arsénico active un transportador de fosfato que permita a la bacteria asimilar de forma muy eficiente pequeñas cantidades de este elemento. La lista de posibilidades es larga.

Me gustaría aclarar que no estoy en contra de los “descubrimientos extraordinarios” y que estoy razonablemente dispuesto a cambiar de chip cuando lo exigen los datos. La “carga de la prueba” es de los autores.

Pablo R. Palenzuela (UPM)

Del blog La lógica del titiritero
<http://pablorpalenzuela.wordpress.com/>



ENTRE BASTIDORES

El proceso de aprobación de la Ley de la Ciencia ha suscitado un debate sobre el estado de la ciencia e investigación en nuestro país. El pasado 30 de noviembre expiró el plazo para la presentación de enmiendas al Anteproyecto de Ley, provocando un máximo de “popularidad” y un brote de protestas en pro de modificaciones y mejoras sobre el texto por parte de varios colectivos. Tanto los diversos grupos políticos como la Federación de Jóvenes Investigadores

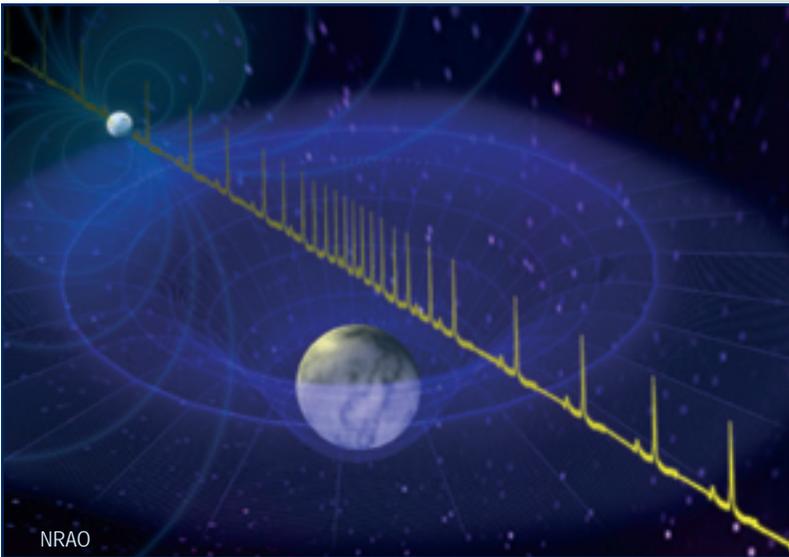
COJO MI CEREBRO Y ME VOY
COLECTIVO POSTDOC DEL IAA

han expuesto sus exigencias y disconformidades con diferentes puntos de la Ley.

Desde el ámbito Astrofísico, el esfuerzo coordinado del colectivo postdoc de varios centros se ha plasmado en la redacción de un documento base expresando sus reivindicaciones particulares, apoyado con una recogida de firmas en cada centro. Tal iniciativa viene motivada fundamentalmente por los recortes en condiciones laborales y presupuestarias asociadas a

la carrera científica, por la falta de compromiso de inversión en investigación que conllevaría una apuesta firme por un cambio de nuestro modelo productivo, y por la fragilidad del Anteproyecto ante las inclemencias electorales, véase la ausencia de una política científica a largo plazo o un pacto de estado por la ciencia en este país. Con la crisis económica como telón de fondo, se han escuchado frases como “caminar hacia una sociedad basada en el conocimiento y la investigación”, que no queda claro cómo interpretar con la nueva Ley de la

El enorme interés astronómico de los púlsares



► La investigación sobre púlsares es probablemente el único tema de investigación astronómica que ha merecido dos Nobel: Hewish lo obtuvo en 1973 (en su trabajo contribuyó de manera fundamental su estudiante de doctorado Jocelyn Bell), y Taylor y Hulse lo obtuvieron en 1993 por el descubrimiento de los púlsares binarios, sistemas que despiertan gran interés astronómico por ser potenciales emisores de ondas gravitatorias.

Los púlsares son actualmente un tema de plena actualidad en la investigación astronómica, entre otras razones por las implicaciones inmediatas de los resultados observacionales en la física fundamental. En los últimos meses han aparecido artículos de investigación innovadores e impactantes que han puesto en solfa teorías que se creían ya asentadas sobre la física de los púlsares y magnetares¹.

En el primero de los resultados, Demorest y colaboradores (2010) han

determinado que la masa de la estrella de neutrones PSR J1614-2230 es de unas dos masas solares. En una estrella de neutrones toda la masa está agrupada en un radio de unas decenas de kilómetros, de forma que los protones y electrones reaccionan entre sí formando neutrones; así, la estructura de la estrella consta de una corteza densa y sólida y un interior fluido, constituido fundamentalmente por neutrones. Según los autores, que el púlsar pueda ser tan masivo descartaría los modelos de los condensados de bosones para estas estrellas, favoreciendo los modelos de quarks en fuerte interacción.

¿Cómo han podido determinar la masa con tanta precisión? Para ello observaron el sistema binario formado por un púlsar (PSR J1624-2230) y una enana blanca. El púlsar tiene un periodo de 3,15 milisegundos y su compañera enana necesita nueve días para completar una órbita en torno a él.

Ambas estrellas distan entre sí 3.000 años luz y tienen una órbita situada prácticamente de canto con respecto al observador, lo que favorece el trabajo experimental. Cuando la enana blanca se sitúa prácticamente frente al púlsar, las ondas de radio emitidas por el propio púlsar pasan muy cerca de ella de manera que la radiación (el periodo del pulso) se retarda como consecuencia de la distorsión del espacio tiempo (ver imagen) -es lo que se conoce como el "retardo de Shapiro"². En este sistema binario este efecto es muy fuerte y fácil de medir, tanto por la ubicación relativa de ambas estrellas como por la masa de la enana blanca. Gracias a esta medida, se ha podido determinar la masa de la estrella de neutrones, que ha resultado mucho mayor que la prevista por los modelos.

Magnetar con déficit de Gauss

En el segundo de los trabajos observacionales, Rea y colaboradores han estudiado el magnetar SGR 0418+5729 y han medido su campo magnético superficial. Y, para su sorpresa, ha resultado ser del orden de 7.5×10^{12} Gauss, casi un factor cien más débil de lo que cabría esperar para un magnetar (del orden de 10^{14} -

10^{15} Gauss). Los autores han determinado con gran precisión la intensidad del campo magnético gracias a medidas reiteradas de su periodo con campañas intensivas en rayos X (con Chandra y con XMM). Este resultado sugiere que hay magnetares con un campo magnético superficial similar al de un púlsar normal. Pero, ¿de dónde emana entonces la energía para desplegar los enormes estallidos de emisión que presentan estos objetos? Los autores proponen que esta energía debe proceder de la energía magnética almacenada en el campo magnético toroidal interno a la estrellas (sería del orden de 5×10^{14} Gauss): este intenso campo podría tensionar la corteza de la estrella, deformar e incluso romper las capas más externas, de modo que la enorme energía magnética interna se transfiriere al exterior provocando los estallidos intensos en la emisión. Así, aun cuando el campo magnético superficial de SGR 0418+5729 fuera relativamente débil, el objeto podría comportarse como un magnetar por la enorme energía asociada al campo magnético interno. ¡Sería el primer ejemplo de un magnetar "viejo", mostrando los últimos vestigios de su actividad magnética interna!

Antxon Alberdi (IAA)

1. Véase el artículo sobre magnetares del número 26 de esta revista.

2. El "retardo de Shapiro" es uno de los cuatro tests que permite medir los efectos de la Relatividad General en nuestro Sistema Solar: una señal de radar pasando cerca de un objeto masivo tarda más tiempo en llegar a su objetivo y regresar que si lo hiciera si ningún objeto estuviera presente (Shapiro lo demostró enviando una señal de radar a Venus, mostrando que la señal se retrasaba cuando la Tierra, el Sol y Venus se encontraban alineados más favorablemente).

Ciencia en la mano. La inversión en i+d ha sufrido un recorte en torno al 30%, mientras que el número de plazas ofrecidas por el CSIC se resiente en un 90%. Si nos creemos que se apuesta por la investigación, parece que los dos o tres que se queden van a tener que levantar el país ellos solos.

Como se resalta en el documento base, en la nueva Ley de la Ciencia todavía se mantiene la posibilidad de ser becario predoctoral en el sector privado; además, en esta etapa, los sueldos pueden ser hasta un 44% inferiores a los esta-

blecidos por Ley para trabajadores que realicen cometidos similares. La etapa postdoctoral inicial no aparece contemplada, así que programas como los Juan de la Cierva o JAE-Doc son totalmente ignorados; y el joven investigador que haya padecido lo anterior y haya sobrevivido comprobará que el programa Ramón y Cajal ha sido sustituido por un contrato de acceso al Sistema Español de Ciencia y Tecnología y que el compromiso de estabilidad asociado al RyC se ha borrado del mapa. Si esta es la forma de apostar por la investigación y definir y

dignificar la carrera investigadora, permítannos ustedes que cojamos nuestros cerebros y nos fuguemos. Para no volver. Quizás podamos montar una casa de turismo rural entre todos, proyecto cada vez más popular entre los jóvenes investigadores.

Más información: www.investigaciondigna.es
Para unirte a la causa en:
<http://widgets.causes.com/causes/552128-unidos-por-una-carrera-investigadora-digna>

Pilares científicos

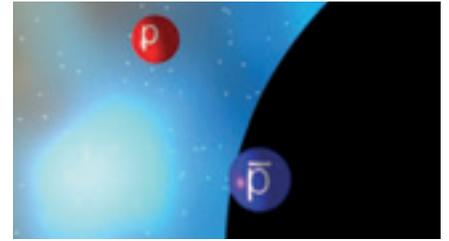
LOS AGUJEROS NEGROS

EL MARCO TEÓRICO Y LAS EVIDENCIAS OBSERVACIONALES

La relatividad general es una teoría física comprobada experimentalmente en múltiples ocasiones que describe la interacción gravitatoria en términos geométricos. Esta teoría contiene agujeros negros como posibles soluciones de sus ecuaciones de campo. Además, en conjunción con las teorías actuales sobre la estructura de la materia, la relatividad general determina que el estado final e inevitable del colapso gravitatorio de una estrella suficientemente grande es un agujero negro. Vistos desde el exterior, las únicas cantidades que los caracterizan, independientemente de cómo se hayan formado o de cuál haya sido su histo-

ria, son su masa y su momento angular.

Existe evidencia observacional de la existencia de agujeros negros, obtenida mediante el estudio de los perfiles de emisión de radiación de la materia que cae en ellos y de las curvas de rotación de los objetos cercanos. Los agujeros negros pueden ser de tamaño estelar o tener masas de proporciones galácticas. De hecho, los núcleos galácticos típicos son agujeros negros de cientos de miles o millones de masas solares. Los agujeros negros contienen, en general, singularidades en su interior. Sin embargo, están separadas del exterior por un horizonte de sucesos que se comporta como una membrana unidireccional (una vez en el interior ya no es posible salir) que impide que las singularidades afecten a los fenómenos



físicos que tienen lugar fuera del agujero negro. En particular, el campo gravitatorio que genera un agujero negro, a una cierta distancia del mismo, es idéntico al que generaría una estrella normal.

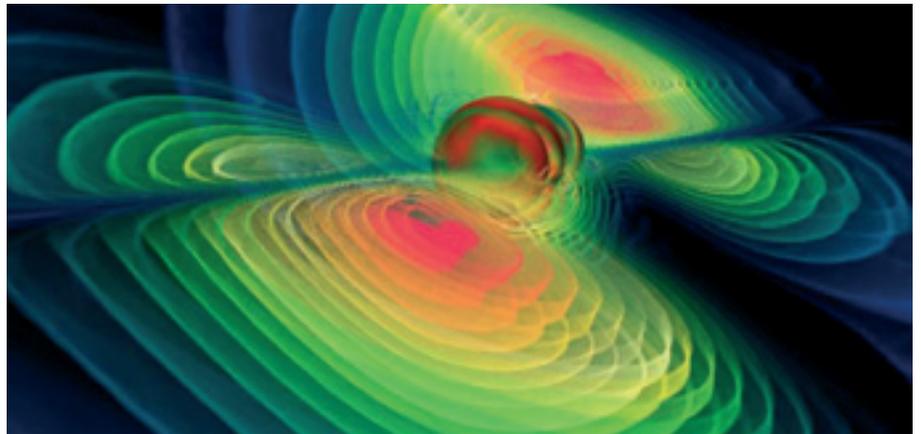
Debido a los efectos cuánticos, los agujeros negros pueden emitir radiación a una temperatura muy baja (en el caso de agujeros negros astrofísicos). Esta emisión cuántica recibe el nombre de radiación de Hawking y se genera a partir de la sopa de partículas y antipartículas en continua creación y aniquilación que constituye el vacío cuántico.

Incertidumbres

TEORÍA CUÁNTICA DE LA GRAVEDAD

LOS AGUJEROS NEGROS SON, QUIZÁ, LA ÚNICA PUERTA QUE NOS CONECTA CON EL MUNDO DE LA GRAVEDAD CUÁNTICA

Las singularidades representan los límites de validez de la relatividad general. En estas situaciones, las densidades de energía son tan altas que el tejido espacio temporal se rompe. Sin embargo, se espera que los efectos cuánticos sean también extremos en ellas y sean capaces de suavizarlas. Aunque hoy en día existen varias teorías candidatas para describir la gravedad cuántica (las teorías de cuerdas y la gravedad cuántica de lazos son, quizá, las más desarrolladas), ninguna de ellas se halla todavía libre de dificultades. Los mecanismos físicos que tienen lugar en las proximidades de los horizontes de sucesos y que dan lugar a la radiación de Hawking tienen aspectos todavía pendientes de dilucidar, si bien en los últimos años se están consiguiendo avances significativos gracias al análisis, tanto teórico como experimental, de otros sis-



temas (principalmente de materia condensada y ópticos), en los que se pueden generar configuraciones análogas a los agujeros negros. La emisión de radiación Hawking hace que el agujero pierda energía y que se haga, por tanto, cada vez más pequeño: que se evapore. El proceso de evaporación en sus etapas finales entra en un régimen en el que los efectos cuánticos y los gravitatorios son de magnitud comparable, por lo que vuelve a hacerse necesaria una teoría cuántica de la

gravedad para poder comprender dicho proceso.

La detección de ondas gravitatorias, que se espera que sea posible en los años venideros, puede proporcionar información muy valiosa sobre la dinámica de los agujeros negros, y en particular de cómo interaccionan con otros objetos estelares y también con otros agujeros negros, puesto que la emisión de ondas gravitatorias es muy intensa en estas situaciones, de acuerdo con las predicciones de la relatividad general.

divulgación

> SEMANA DE LA CIENCIA 2010 // www.iaa.es/scyf2010

NOCHES DE CIENCIA IV. INVENCION >>>>>

Conferencias disponibles en <http://nochesdeciencia.com/index.php/hemeroteca/ano-2010>

En 2010 celebramos la cuarta edición del ciclo de conferencias Noches de Ciencia. Y, en pleno debate sobre los recortes presupuestarios a la ciencia, pensamos que lo idóneo sería debatir, precisamente, sobre la importancia de la ciencia para la sociedad o, en otras palabras, sobre cómo el conocimiento mejora nuestra vida.

Son incontables los ejemplos a los que podemos recurrir para ilustrar esta estrecha relación entre

ciencia y tecnología, una relación que pone de manifiesto el carácter creador y emprendedor del ser humano. Pero acotamos el programa a cuatro grandes temas: salud, Tierra, materia y luz. Así, durante estas Noches de Ciencia vimos cómo el conocimiento se ha ido abriendo paso, a veces a tropiezos, en estas cuatro disciplinas, y analizamos también los avances que ese conocimiento ha generado.

<<<<<< ¡CONTACTO PELICANO!

Web <http://www.iaa.es/quinoleta/portada.html>

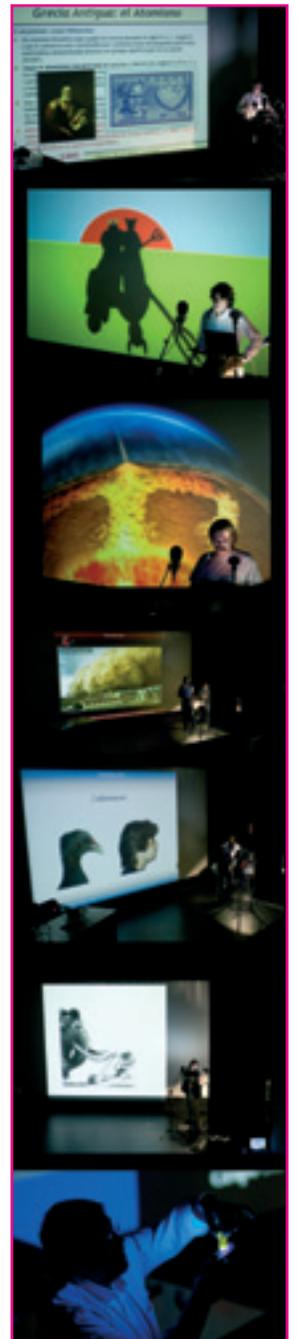
¡Contacto Pelicano! es una obra de teatro de marionetas realizada por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y la compañía teatral La Guiñoleta, gracias a la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT). Su principal objetivo, entre otros, es el de transmitir conceptos de

Astronomía de una manera divertida y original. Un total de unos dos mil niños disfrutaron de este espectáculo, que realizó una gira por la provincia de Granada. También se celebró una función para público general que entusiasmó a grandes y pequeños.

V V V GALERÍA DE INVENTORES V V V

El ciclo se complementó con una exposición, la Galería de Inventores, que recoge algunos de los personajes que, con su talento e iniciativa, han protagonizado importantes avances o cambiado el modo de pensar de su época. Genios como Galileo,

personajes casi sobrehumanos como Da Vinci o poéticos como Ibn-Firnas -el primer hombre que intentó volar-, compartieron cartel con otros como Edison, Nikola Tesla, Antonio Meucci, Niepce o Alexander Fleming.



DESARROLLO TECNOLÓGICO

MEGARA

<http://quaix.fis.ucm.es/megara>

El pasado año, el comité responsable del Gran Telescopio Canarias (GTC), el telescopio óptico infrarrojo más grande del mundo, anunció la elección del espectrógrafo MEGARA para la siguiente fase de diseño y futura construcción del próximo instrumento óptico para el GTC. MEGARA será construido, bajo la dirección de la Universidad Complutense de Madrid, por un consorcio de instituciones entre las que se encuentra el IAA-CSIC.

El espectrógrafo MEGARA poseerá unas capacidades únicas en su categoría para estudiar el espectro de los objetos celestes, que permitirán determinar con precisión las propiedades de las estrellas y el gas que forman las galaxias, incorporando tanto la observación bidimensional (un campo de un minuto de arco por un

minuto de arco) como la de múltiples objetos simultáneamente.

La construcción de este instrumento supone por tanto un gran reto cuya consecución contribuirá, además, a situar en una posición inmejorable nuestra capacidad tecnológica frente a los desafíos del futuro cercano, por ejemplo de cara a la construcción del telescopio europeo E-ELT.

Cuando entre en funcionamiento, MEGARA representará más de tonelada y media de última tecnología en un aparato del tamaño de un coche pequeño. Según los planes, el instrumento debería ser instalado en el telescopio en el año 2015, listo para ser usado por la comunidad española a partir de esa fecha.

José M. Vilchez (IAA)



Recreación 3D de MEGARA en uno de los fotos del GTC.

Consorcio MEGARA: Universidad Complutense de Madrid, Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC), Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica de México y la Universidad Politécnica de Madrid.

HOMENAJE

Adiós a un amigo

Murió el Hermano Merlo. Los astrofísicos más jóvenes del IAA probablemente no han llegado a conocerle. Y, sin embargo, el asentamiento y el desarrollo de la astrofísica en Granada han pasado por sus manos callosas. Si hoy la investigación astrofísica puede llevarse a cabo con las posibilidades existentes es, en una gran medida, gracias a él. No resulta fácil apreciar las raíces cuando se recogen los frutos. Los astrofísicos más veteranos lloramos su pérdida como la de un hombre sencillo, inteligente, eficiente, tozudo, modesto, desinteresado, generoso, humano y servicial, que puso su vida en la astronomía, no haciéndola él mismo, sino procurando que los demás pudiéramos hacerla.

Le recordamos como un modesto trabajador, siempre con un destornillador en la mano, siempre con fe y paz en la mirada. Le conocimos en el observatorio de Cartuja, en su fase jesuita, ejerciendo de relojero, mecánico, electricista, fontanero y un largo etcétera –baste como ejemplo la puesta en marcha de un antiguo sismógrafo de péndulo–.

Le conocimos en su fase universitaria, ayudándonos en el observatorio del Mohón del Trigo, sin olvidar sus subidas semanales



al Pico Veleta para cambiar los rollos del registrador con los datos del fotómetro de *airglow* instalado allí y las dificultades para descender hasta el Albergue Universitario, en pleno invierno, cuando no funcionaba el antiguo telecabina del Veleta.

Le conocimos en los balbuceos difíciles del comienzo del IAA, primero en La Madraza y más tarde en la Estación Experimental del Zaidín. Fue una figura muy importante en la finalización de las instalaciones del OSN.

La base de datos meteorológicos del Observatorio de Cartuja, una de las más antiguas y completas de Europa, son fruto, en muy buena parte, de su laboriosidad incansable. Y una larguísima serie de trabajos que no pueden prosperar sin el empeño de

personas como él. Es hoy un gran placer y una gran alegría contemplar que su tesón no cayó en saco roto, que hay una nueva generación de astrofísicos que trabajan, sin sospechar lo mucho que le deben. Querido hermano Merlo, tu sudor fue savia.

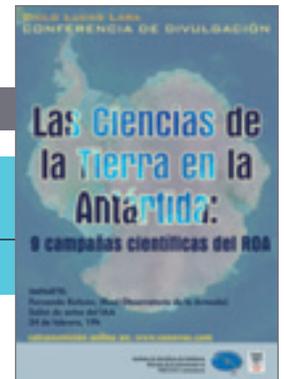
Eduardo Battaner (Dpto. de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada) y Ángel Rolland (IAA-CSIC)

AGENDA

<http://www.iaa.es/conferencias>

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

24 feb.	Fernando Belizón (ROA)	Las Ciencias de la Tierra en la Antártida: 9 campañas científicas del ROA
31 mar.	Francisco González Galindo (IAA)	El exótico clima marciano



¡¡NUEVO!!

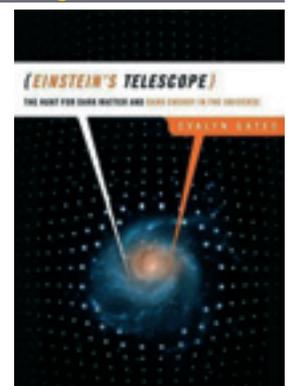
LAS CONFERENCIAS SE RETRANSMITEN A TRAVÉS DE INTERNET EN WWW.SONOVOZ.COM, DESDE DONDE TAMBIÉN PUEDEN DESCARGARSE SESIONES ANTERIORES

RECOMENDADOS

EINSTEIN'S TELESCOPE, Evalyn Gates (Kavli Institute for Cosmological Physics, Univ. Chicago)

Existen numerosos libros de divulgación sobre cosmología –algunos auténticos clásicos–, pero son pocos los dedicados al fenómeno de las lentes gravitacionales y a su utilización como técnica aplicada en diferentes disciplinas astronómicas. Quizá sea por la complejidad conceptual que conlleva su explicación, pero en este caso la autora sale bien del envite. No duda en dedicar los primeros capítulos a establecer las bases del fenómeno y, aunque el libro está enfocado al empleo de las lentes gravitacionales para cartografiar el contenido de materia oscura en el Universo y a dilucidar el efecto de la energía oscura,

también presenta otras aplicaciones de dicha técnica, como su uso en la detección de planetas extrasolares o de agujeros negros solitarios. La autora emplea un lenguaje muy cercano y ameno, pero preciso y con buenas analogías en conceptos tan difíciles de divulgar como el de lente gravitacional débil (aunque, en ocasiones, se echan de menos más ilustraciones y gráficos). Además hace una revisión muy al día de la investigación cosmológica actual. En resumen, un buen texto dirigido a un lector interesado en ciencia y con cierto bagaje como lector de libros de cosmología. **Emilio J. García (IAA)**



CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

El IAA organiza mensualmente charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden obtener más información en la página Web del instituto o contactando con Emilio J. García (Tel.: 958 12 13 11; e-mail: garcia@iaa.es).

