

I NFORMACIÓN y A CTUALIDAD A STRONÓMICA

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

OCTUBRE DE 2011, NÚMERO 35

Contando nebulosas planetarias

Exploración cometaria
Espectroscopía (I): leyendo entre líneas

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

IMAGEN: *Nebulosa Dumbbell*. Fuente: ESO

Directora: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Miguel Abril, 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

Nebulosas planetarias ...2

¿Solo 25 años de ciencia cometaria?...6

Leyendo entre líneas (I) ...11

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. La física del Correcaminos ...14

EL "MOBY DICK" DE... Isabel Márquez (IAA-CSIC) ...16

CIENCIA EN HISTORIAS. La ciencia es un fraude...desde siempre ...17

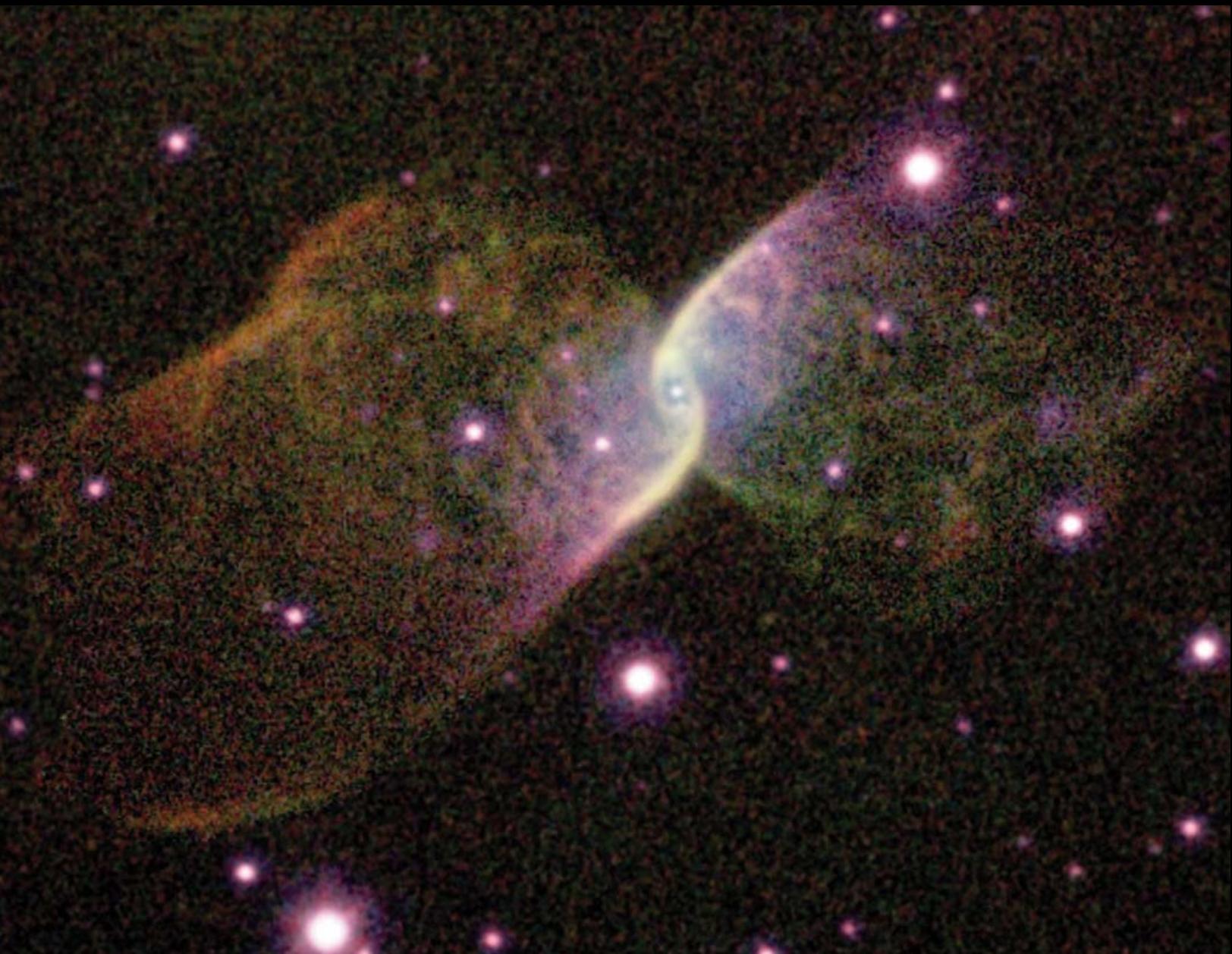
ACTUALIDAD ...18

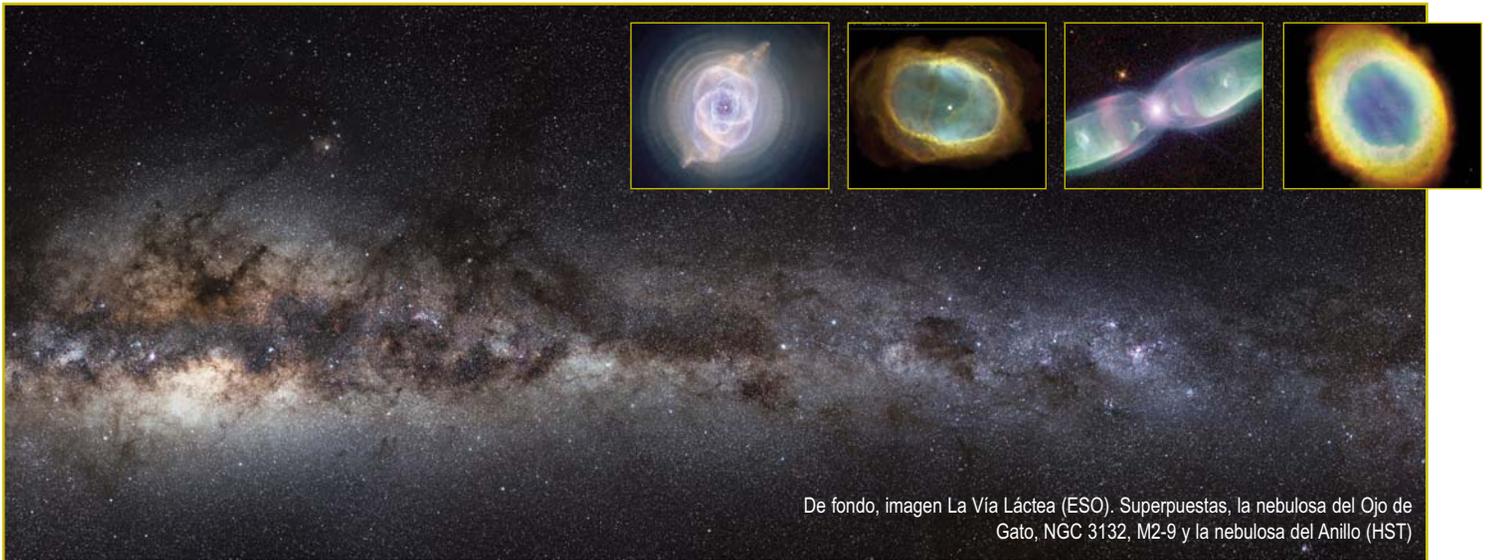
ENTRE BASTIDORES ...20-21

SALA LIMPIA ...22

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. Agujeros negros...23

AGENDA/RECOMENDADOS ...24





De fondo, imagen La Vía Láctea (ESO). Superpuestas, la nebulosa del Ojo de Gato, NGC 3132, M2-9 y la nebulosa del Anillo (HST)

¿Cuántas nebulosas planetarias hay en la Galaxia?

EL “CONTEO” DE NEBULOSAS PLANETARIAS SE ESTÁ REVELANDO COMO UNA EFICAZ ESTRATEGIA PARA PROFUNDIZAR EN SU NATURALEZA

Por Martín A. Guerrero Roncel (IAA-CSIC)

SEGURAMENTE TODOS NOS HABREMOS PREGUNTADO EN ALGUNA NOCHE OSCURA, cuando miramos absortos al cielo, cuántas estrellas pueden encontrarse arriba en el firmamento. Por más que pueda parecer difícil hallar una respuesta, la pregunta no deja de tener gran interés. De hecho, una buena parte de la información sobre la estructura de nuestra galaxia, la Vía Láctea (o simplemente la Galaxia), procede del conteo de estrellas. La idea es

sencilla: en aquellas direcciones donde hay una mayor densidad superficial de estrellas, podremos afirmar que nuestra galaxia tiene una mayor extensión, mientras que donde hay menos estrellas será menor. Es como mirar a través de un bosque.

Por supuesto, el problema es un poco más complejo. En primer lugar, la Vía Láctea no tiene una estructura sencilla, sino que está compuesta por diferentes brazos espirales que se arremolinan en torno a su núcleo. En segundo lugar, nuestra ubicación en uno de los brazos espirales no facilita el trabajo. Finalmente, pero no menos importante, la Galaxia no es igualmente transparente en todas las direcciones en las que miremos. Grandes cantidades de polvo nos impiden detectar aquellas estrellas que se encuentran a grandes distancias en su plano, el conocido como Camino de Santiago, o hacia su centro, en la constelación de Escorpio. A pesar de todas estas complicaciones, hemos sido capaces de estimar la forma de nuestra galaxia y llegar a determinar el número de estrellas que la componen, en torno a trescientos mil millones de estrellas (un tres seguido de once ceros).

El procedimiento de contar, aunque pueda parecer burdo, es de gran utilidad

en astronomía. Tomemos, por ejemplo, una porción de la Vía Láctea y contemos estrellas de diferentes tipos. Llegaremos a la conclusión de que hay muchas más estrellas amarillas y anaranjadas, como nuestro Sol, que azules, es decir, hay muchas más estrellas de tipo solar que estrellas mucho más masivas. Estamos, pues, aprendiendo sobre la distribución de masas de las estrellas, es decir, cuántas estrellas se forman para cada intervalo de masas. Igualmente, si contamos el número de estrellas de cada tipo en dos cúmulos globulares, veremos que la distribución no es la misma. En el cúmulo más viejo, las estrellas más azules se hallan en menor número, han desaparecido. En este caso, estamos aprendiendo que las estrellas más masivas evolucionan más rápidamente que las menos masivas.

¿Cómo acabará el Sol?

Una de las afirmaciones “clásicas” de la astronomía actual asegura que el Sol acabará su existencia como una nebulosa planetaria, una burbuja de material ionizado altamente enrarecido que rodeará lo que fuera el núcleo estelar por un corto periodo de tiempo, no mucho más de treinta mil años, antes de disiparse en el medio interestelar. En realidad, los

Imagen en falso color obtenida en el Telescopio Óptico Nórdico (NOT) del Observatorio del Roque de los Muchachos de la nebulosa planetaria Kn 26, nombrada así en honor a su descubridor, Matthias Kronberger.

modelos teóricos afirman que todas las estrellas con una masa inicial de entre 0,8 y ocho veces la masa del Sol acabarán en forma de nebulosa planetaria. Bueno, eso es lo que afirman los modelos, pero no hay observación posible que nos permita determinar los límites exactos de la masa inicial de las estrellas que se convertirán en nebulosa planetaria.

Es entonces cuando contar puede ayudarnos. Si todas las estrellas dentro de un cierto rango se convirtieran en nebulosas planetarias, como creemos ahora, entonces a partir del número de estrellas y del tiempo que les lleva su evolución será posible inferir cuántas nebulosas planetarias se forman por intervalo de tiempo. Entonces, conocido el tiempo que tarda una nebulosa planetaria en disiparse en el medio interestelar, podremos determinar cuántas nebulosas planetarias deben existir en nuestra galaxia. Por supuesto, hay muchas incertidumbres en los modelos de evolución estelar, la población de estrellas y la vida media de una nebulosa planetaria pero, considerando todos ellos, los modelos predicen que habríamos de esperar un número de nebulosas planetarias de entre 33.000 y 60.000. ¿Está este número en acuerdo con las observaciones?

Lo cierto es que hay grandes discrepancias. El número de nebulosas planetarias que se conocía hace unos años en la Vía Láctea era de unas 2.500, muy lejos de las estimaciones teóricas incluso cuando se hacen correcciones al alza para incluir aquellas que no detectamos para llegar hasta las 8.000 nebulosas planetarias. O bien hay aspectos básicos en la evolución estelar y formación de las nebulosas planetarias que no entendemos correctamente, o bien hay una población significativa de nebulosas planetarias que no hemos hallado aún.

Buscando las que faltan

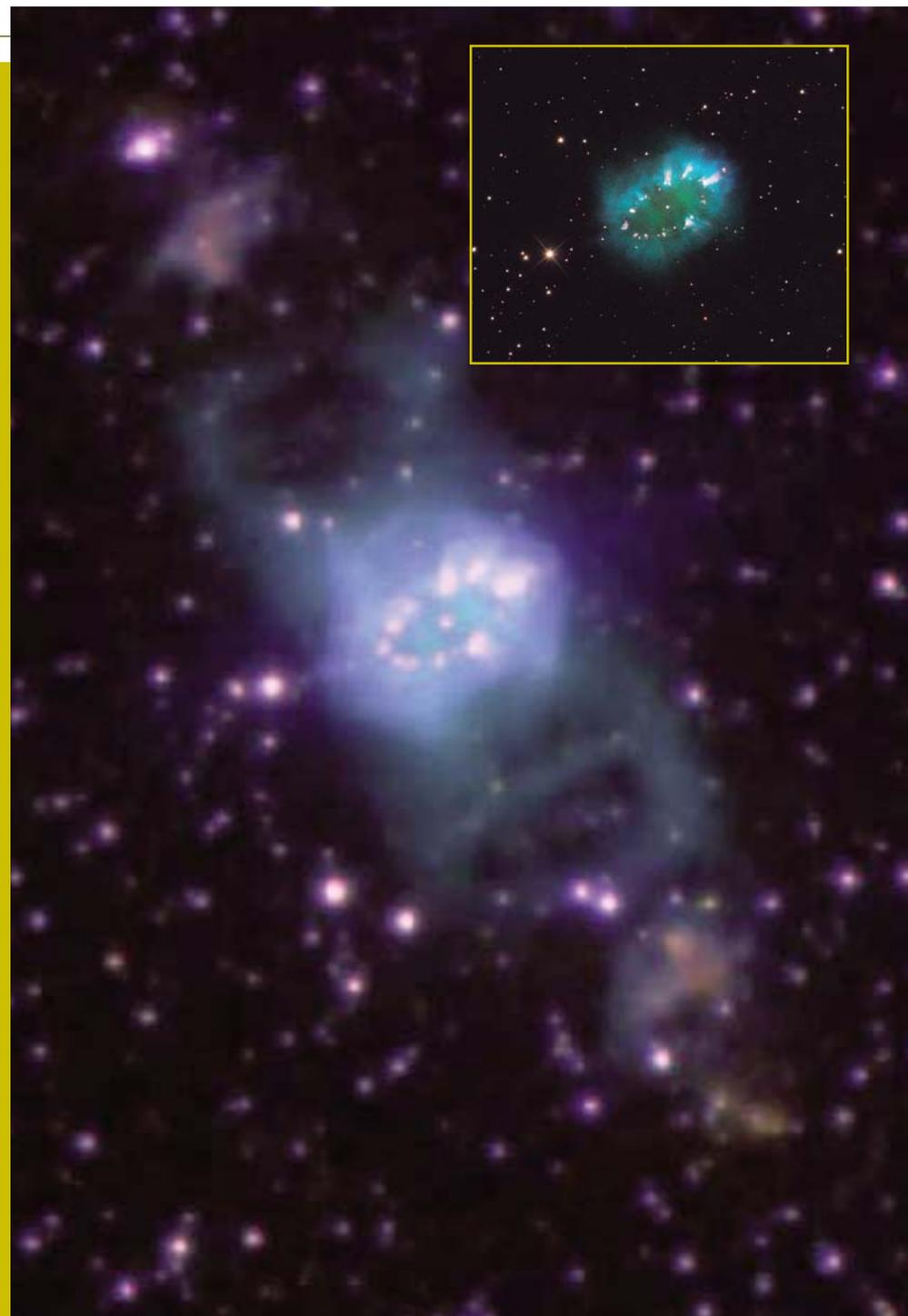
Dada esta extraordinaria discrepancia, se ha sugerido que la formación de una nebulosa planetaria se produce solo cuando la estrella progenitora forma parte de un sistema binario. Solo así, se afirma, es posible que la estrella progenitora, con el tirón gravitatorio adicional de la compañera, pueda deshacerse de su envoltura en una escala de tiempo lo suficientemente corta; así, la estrella alcanza la temperatura superficial adecuada para ionizar el material circundante antes de que este se disipe en el medio interestelar. ¿Será entonces posible que nuestro Sol no llegue a convertirse nunca en nebulosa planetaria?

¿Será entonces posible que nuestro Sol no llegue a convertirse nunca en nebulosa planetaria?

Antes de llegar a esta conclusión hemos de continuar la búsqueda de nuevas nebulosas planetarias, estar seguros de que las hemos detectado todas o, al menos, que sabemos cómo corregir el número de objetos que se han detectado con el cálculo de los que no lo han sido. En los últimos años se han llevado a cabo grandes esfuerzos observacionales en busca de nuevas nebulosas planetarias. El primero de ellos, liderado por Quentin Parker (*Macquarie University*,

Imagen en falso color obtenida de la Nebulosa del Collar por Daniel López (IAC). El recuadro arriba a la derecha muestra la región central, tal como ha sido observada por el telescopio espacial Hubble.

Australia), se conoce como MASH (del inglés *Macquarie/AAO/Strasbourg H-alpha Catalogue of Galactic PNe*). Este trabajo ha usado datos del catálogo en H-alfa del *Anglo-Australian Observatory UK Schmidt Telescope (AAO/UKST)* para descubrir en torno a mil doscientas cincuenta nuevas nebulosas planetarias. Por tanto, por sí solo MASH ha aumentado en un 75% la población de nebulosas planetarias de la Galaxia. Pero MASH no solo ha proporcionado el mayor incremento en el número de nebulosas planetarias sino que, dado que todas

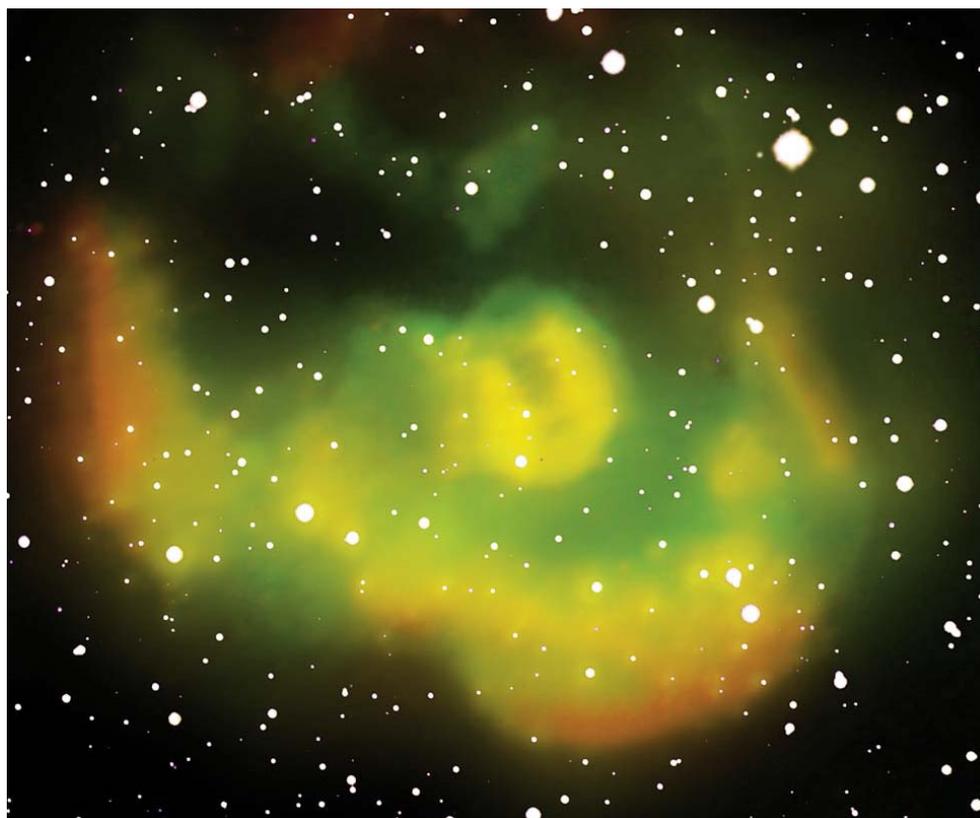


las observaciones fueron llevadas a cabo con la misma instrumentación, la muestra tiene una gran homogeneidad, lo que confiere gran valor a los estudios estadísticos que de ella puedan derivarse. Y, tal vez lo que es más importante, todas estas nuevas detecciones han sido seguidas por un intenso programa de observaciones espectroscópicas que han confirmado la naturaleza de las fuentes y, en un cierto número de casos, han excluido el objeto en cuestión al tratarse de regiones H II compactas, estrellas simbióticas, estrellas con líneas de emisión, estrellas masivas evolucionadas de tipo Wolf-Rayet, restos de supernovas o incluso galaxias cuyas morfologías pueden asemejarse a las de nebulosas planetarias.

En el hemisferio norte también se han desarrollado esfuerzos en este sentido. El primero que debemos mencionar ha sido liderado por George Jacoby (*WIYN Observatory*, EEUU) y ha estado centrado en la búsqueda de elusivas nebulosas planetarias extensas de muy bajo brillo superficial. Para este trabajo, el investigador ha “reclutado” a un grupo de voluntariosos astrónomos aficionados que, tras repartirse diferentes áreas del cielo, han analizado minuciosamente las placas fotográficas del *Digital Sky Survey*. El resultado ha sido sorprendente: decenas de nuevas nebulosas planetarias que habían pasado anteriormente inadvertidas. Los astrónomos aficionados no han trabajado en balde: muchos de estos objetos, como el que se muestra en la página 2, se conocen ahora por el nombre de sus descubridores. Como se suele decir, el trabajo duro tiene su recompensa ...

Peinando hemisferio norte

A pesar de estos progresos, faltaba una aportación similar a la de MASH en los cielos del hemisferio norte. Esta ha sido realizada por IPHAS (del inglés *Isaac Newton Photometric H-alpha, r, i survey of the Northern Galactic Plane*), un proyecto liderado por Romano Corradi (Instituto de Astrofísica de Canarias), en coordinación con Quentin Parker, que ha usado observaciones obtenidas con la cámara de amplio campo del Telescopio Isaac Newton del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma, Tenerife). Mediante la comparación de imágenes en filtros anchos (r, i) y estrecho de H-alfa, este trabajo ha posibilitado la identificación de más de mil candidatos a nebulosa planetaria; algunas de ellas tan espectaculares como la



Se ha iniciado un programa de confirmación espectroscópica de la muestra de candidatos IPHAS desde el Observatorio de Sierra Nevada

Imagen de una nebulosa planetaria nueva hallada por los investigadores del proyecto IPHAS. Fuente: L. Sabin, N. Wright y colaboración IPHAS.

Nebulosa del Collar que se muestra en la página contigua.

Las características de IPHAS son, en muchos sentidos, similares a las de MASH, del que puede considerarse un perfecto seguimiento para el hemisferio norte. Sin embargo, no existe un seguimiento espectroscópico sistemático de estos candidatos que nos permita confirmar su naturaleza de nebulosa planetaria. Con tal fin, se ha iniciado un programa piloto de confirmación espectroscópica de la muestra de candidatos IPHAS usando el espectrógrafo ALBIREO en el telescopio de 1,5 metros del Observatorio de Sierra Nevada en colaboración con Parker y Corradi. Si los resultados son satisfactorios, como esperamos, el proyecto se extenderá durante años hasta observar todos aquellos candidatos con brillo superficial suficientemente alto para ser observados con esta configuración instrumental.

Será un largo camino que esperamos conduzca a un número significativo de publicaciones y producción científica. Por lo pronto, podremos refinar la muestra de nebulosas planetarias de IPHAS y los

espectros obtenidos nos permitirán determinar con gran precisión los flujos en diferentes líneas de emisión, lo que revelará propiedades básicas como la excitación nebular (que se encuentra relacionada con la temperatura superficial de la estrella), la densidad y temperatura del gas nebular, la extinción hasta el objeto y su composición química. También esperamos encontrar objetos exóticos, en absoluto relacionados con las nebulosas planetarias, pero que serán interesantes por sí mismos.

Volviendo al inicio, este trabajo nos servirá para seguir contando objetos, separando el grano de la paja. Sabremos con mayor precisión cuál es la densidad espacial de nebulosas planetarias en nuestra galaxia, cómo se distribuyen en ella y cuál es su población total. Estos resultados son importantísimos para conocer la influencia de las estrellas progenitoras de nebulosas planetarias en la evolución química de las galaxias, al contribuir al enriquecimiento del medio interestelar. Y tal vez lleguemos a entender la evolución de estas estrellas y la formación de las nebulosas planetarias lo suficientemente bien para que, cuando alguien nos pregunte cómo acabará el Sol, sepamos dar una respuesta acertada.

¿Solo veinticinco años de ciencia cometaria?

CON EL TÍTULO DE ESTE ARTÍCULO ME PERMITIRÉ “CORREGIR” A LA ESA en el anuncio de su celebración del 25 aniversario de la misión Giotto al cometa Halley*. La ciencia cometaria comenzó mucho antes. De no ser así igualmente podría decirse que todavía no ha comenzado. En cualquier caso, aprovecharemos otra fecha, el pasado 11 de septiembre, para celebrar el 26 (sí, 26) aniversario de la exploración espacial cometaria. Es un “olvido” frecuente pensar que la exploración espacial cometaria comenzó con la visita de la nave Giotto al cometa Halley. Sin embargo, lo cierto es que la primera misión espacial que visitó un cometa, en la que también participó ESRO, germen de la ESA, fue la *International Cometary Explorer* -ICE- (NASA/ESA). Esta misión era conocida inicialmente como ISEE-3 y tenía como objetivo el estudio de la interacción del viento solar y el campo magnético terrestre. Cuando la misión nominal terminó, la nave fue rebautizada como ICE y se dirigió al encuentro del cometa Halley para estudiar la interacción del viento solar y la coma (la estructura difusa de gas y polvo característica) del cometa. En su camino hacia el Halley, interceptó la órbita del cometa Giacobini-Zinner, atravesó su cola de plasma y pasó, el 11 de septiembre de 1985, a 7.800 kilómetros de su núcleo. Así que la exploración espacial cometaria comenzó entonces y el primer cometa visitado fue el Giacobini-Zinner. Quizás esta misión se olvida porque la nave no proporcionó imágenes (no estaba diseñada para eso), o porque los resultados científicos obtenidos fueron casualmente publicados solo un mes antes de que fueran eclipsados por las espectaculares imágenes que tomó Giotto. Aún así, los datos que obtuvo ICE fueron de extraordinaria importancia. En primer lugar, sus medidas del campo magnético permitieron confirmar la validez del modelo de Biermann y Alfven sobre la formación de las colas de plasma cometarias que suponía, nada más y nada menos, que la comprensión de la naturaleza del viento solar: la dirección de las colas de plasma y las velocidades de los iones que las forman se explican por la interacción de las partí-

SON YA DOCE LAS MISIONES DESTINADAS A LA EXPLORACIÓN COMETARIA (SI NO CONTAMOS LA FALLIDA *CONTOUR/NASA*). QUIZÁS SEA BUENO INTENTAR HACER BALANCE CON ALGUNOS DE LOS EJEMPLOS QUE SUGIEREN SU BENEFICIO

Por Pedro J. Gutiérrez (IAA-CSIC)

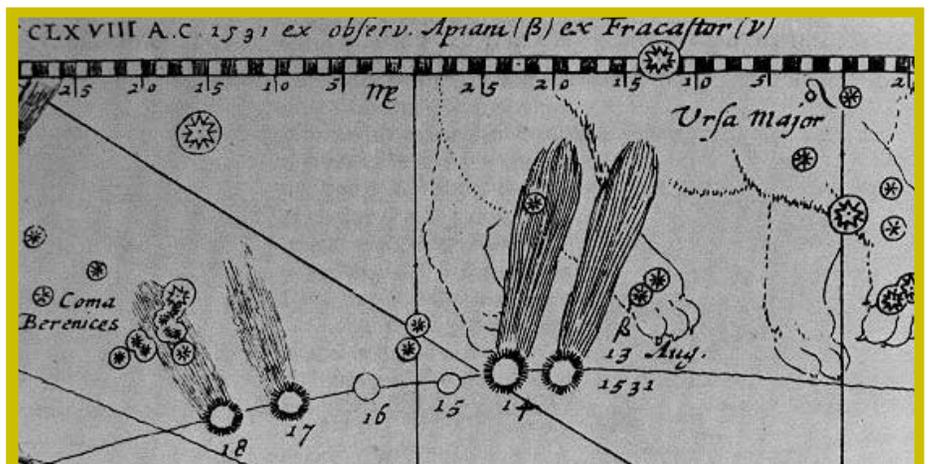


Ilustración de Peter Apian de 1531 que detalla la evolución de la cola de un cometa.

culas que forman el viento solar y el campo magnético que estas arrastran con los iones que se encuentran en la coma cometaria. Por otro lado, se comprobó que los componentes mayoritarios del cometa eran iones relacionados con el agua, confirmando la sospecha de que el agua era el principal constituyente en estos cuerpos. Y esos hechos son, a mi modo de ver, una de las principales razones que justifican la exploración del Sistema Solar: la calidad de los datos *in situ* nos permite contrastar hipótesis y verificar modelos con los que interpretar datos observacionales tomados desde la Tierra que, de otra manera, podrían ser especulativos. Otra de las razones evidentes que, de nuevo en mi opinión, justifican la exploración espacial es, sin duda, el acceso a datos de calidad extraordinaria e información que no se puede obtener de otro modo.

Años 70-80: estado de la cuestión

En los años 70 y 80 del pasado siglo se desconocía la naturaleza de los cometas (y, oigáis lo que oigáis, aún lo sigue siendo, creedme). Había hechos ya firmemente

establecidos, como su naturaleza periódica, su pertenencia al Sistema Solar, la presencia de algunos compuestos en las comas y colas y los mecanismos básicos de formación de las colas de polvo. Y, aunque en los años 70 se empezaba a sospechar que el componente volátil mayoritario era el agua, la composición era todavía una cuestión abierta. Lo mismo ocurría con la naturaleza de la fuente de todo el material que se observaba en los cometas -lo que hoy denominamos núcleo-, cuestión en la que convivían dos explicaciones: mientras que el modelo de “banco de arena” sugería que los cometas eran un conglomerado de granos de polvo con material volátil embebido, el modelo de “bola de nieve sucia” planteaba que se trataba de cuerpos sólidos. Esta idea, que finalmente se impuso, fue desarrollada por Fred Whipple en 1950 a partir de una propuesta planteada por Friedrich Bessel un siglo antes: si los cometas fuesen cuerpos sólidos, la expulsión de material desde ellos (que produciría una fuerza similar a la que permite desplazarse a un cohete) explicaría

COMA:
envoltura de
gas y polvo
que rodea el
núcleo

COLAS:
formadas por la
interacción del
viento solar con las
moléculas de la
coma

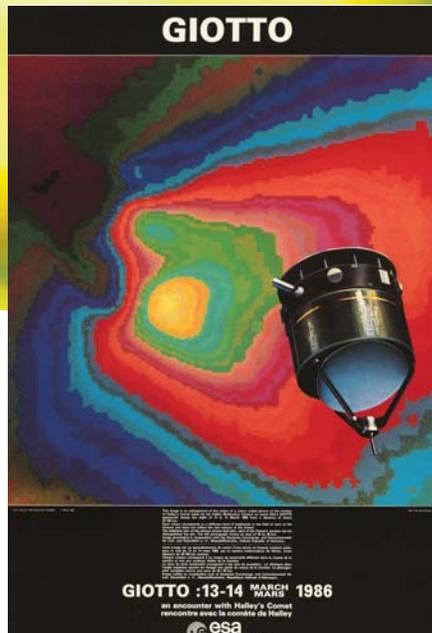
NÚCLEO:
mezcla de hielo y
polvo (fuente de
todo el material que
se observa)

las diferencias entre las órbitas que se observaban y las que tendrían los cometas si solo interviniera el tirón gravitatorio del Sol. La convivencia de ambas hipótesis se debía quizá a que las observaciones de radar de cometas que pasaban cerca de la Tierra permitían ambas interpretaciones: si bien en 1980 se observó en el cometa Encke, por primera vez, el núcleo como un cuerpo sólido compacto, en otros cometas, como en el propio Halley en 1985, la intensidad y la forma espectral del eco recibido correspondían a la reflexión de la señal en una nube de partículas.

Así, pensando que los cometas podrían ser cuerpos sólidos pequeños que, al contener material volátil, presumiblemente tenían un procesado térmico y geológico limitado, se empezó a plantear que podrían ser una fuente valiosa de información para comprender los procesos que tuvieron lugar durante la formación del propio Sistema Solar. Ese era, aproximadamente, el contexto en el que se planearon las misiones espaciales al cometa Halley, cuyo 25 aniversario fue en el pasado mes de marzo.

El cometa Halley

La semana del 13 de marzo de 1986, el cometa Halley fue estudiado *in situ* por cinco sondas espaciales: la europea Giotto, las soviéticas Vega 1 y Vega 2 y las japonesas Suissei y Sakigake. Estas últimas, diseñadas como el ICE para estudiar la interacción del viento solar con la coma cometaria, confirmaron los resultados obtenidos por ICE en la cola del Giacobini-Zinner. Pero, sin lugar a duda, los datos más espectaculares fueron las imágenes ópticas tomadas por las cámaras a bordo de Giotto. Las imágenes mostraban que el modelo propuesto por Whipple era, esen-



Cartel que conmemoraba el encuentro de la misión Giotto y el cometa Halley. El fondo del póster es una imagen ampliada del núcleo del cometa (ESA).

cialmente, correcto: oculto tras la coma, la fuente de todo el material visible era un cuerpo sólido, monolítico e irregular con cráteres y depresiones. Se pudo determinar que la superficie tenía un albedo del 4 %, mucho menor que el de los materiales más oscuros conocidos y similar al del carbón vegetal –el albedo representa la fracción de luz reflejada, magnitud muy valiosa para conocer el balance energético y poder estudiar la evolución térmica cometaria–. Hemos tenido que esperar al Telescopio Espacial Hubble y al desarrollo de complejas técnicas de procesado de imágenes para poder determinar el albedo en otros cometas. Esto se debe a que, cuando el núcleo es accesible desde Tierra, se halla rodeado por la coma y no permite, generalmente, su observación. Cuando no hay coma el cometa está muy alejado del Sol y no

puede observarse convencionalmente.

En el caso del Halley se pudo determinar el volumen aproximado del cuerpo y, calculando la masa a partir de aceleraciones no gravitacionales, estimaron la densidad, magnitud de importancia fundamental para comprender los procesos de formación de los cometas y del Sistema Solar. Su densidad (entre 200 y 700 kg/m³) indicaba que se trataba de un cuerpo muy poroso, magnitud, de nuevo, fundamental para intentar trazar la evolución cometaria e interpretar las observaciones de elementos volátiles.

Gracias al espectrómetro infrarrojo IKS embarcado en Vega se obtuvo que la temperatura superficial era casi 200 grados superior a la esperada por la sublimación del hielo, lo que indicaba que el núcleo se hallaba cubierto por un manto de material refractario y que confirmaba otra de las hipótesis de Whipple: el gas sublimado arrastraba consigo las partículas de polvo dejando atrás las más pesadas, que quedarían formando un manto aislante; la sublimación ocurría debajo de la superficie y el gas fluía a través de poros. IKS también proporcionó la primera detección de la molécula de dióxido de carbono, estimándose su proporción en un 1 % con respecto a la de agua. Esta última quedaba establecida, definitivamente, como el componente volátil mayoritario.

Los espectrómetros de masas mostraron que la coma presentaba una alta densidad de partículas pequeñas, imposibles de observar desde tierra, lo que permitió establecer en 0,3 la razón polvo-gas, tal y como suponía el modelo de Whipple. Se comprobó además que existían tres tipos de partículas: un tercio estaban constituidas por elementos casi puros de bajo peso atómico (carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno),

otro tercio por silicatos y el tercio restante por una mezcla de los dos, con una composición similar a las condritas carbonáceas, un tipo de meteoritos.

Así, la exploración del Halley permitió elaborar el esbozo de lo que son en realidad los cometas, pero quedaba la cuestión de si los resultados obtenidos eran generalizables a otros cometas. Una pregunta que resulta aún más lógica cuando se establecieron las distintas regiones de formación de los cometas: la nube de Oort, de donde presumiblemente procedía el Halley, y el cinturón de Kuiper (“descubierto” entre los años 80 y 90), de donde proceden los cometas de corto periodo como el Borrelly, Tempel 1 o Churyumov-Gerasimenko (imagen pag. contigua).

Nuevo impulso a la exploración

Tras el éxito de las misiones al Halley, la NASA, que había tenido escaso protagonismo en su exploración, tomó el relevo y trece años después del lanzamiento de Giotto, el 24 de octubre de 1998, lanzó la sonda *Deep Space 1* al encuentro del cometa Borrelly. Se trataba de una misión esencialmente tecnológica y sus resultados científicos quizás no han tenido la repercusión que merecían. Se buscaba, esencialmente, probar el motor iónico, una nueva tecnología de paneles solares y el sistema



Cartel de la pieza musical compuesta por Harry Lincoln en homenaje a la llegada del cometa Halley en 1910.

de navegación autónoma que posteriormente utilizaría *Deep Impact*. Incluso los instrumentos científicos eran instrumentos-prueba diseñados, esencialmente, para ahorrar energía y masa. Aún así, y a pesar de varios problemas, DS1 nos proporcionó las imágenes de más alta resolución de un núcleo cometario obtenidas hasta ese momento y, se podría decir, el primer mapa térmico de la superficie, aunque par-

cial y muy limitado en longitud de onda. Las imágenes de alta calidad obtenidas por DS1 supusieron el comienzo de la “geología” cometaria. El núcleo, como el del Halley, era muy alargado (con una razón de ejes superior a 2:1) y parecía indicar que en realidad estaba formado por la acumulación de varios cuerpos. Este descubrimiento favorecía el modelo de formación conocido como “pila de escombros”, basado en el supuesto de que el cinturón del Kuiper, donde se formó Borrelly, era en sus orígenes una región dinámicamente inestable y con colisiones frecuentes.

Además, las imágenes tomadas por DS1 mostraban la clara presencia de chorros de partículas de polvo. En mi opinión, ese es otro de los principales resultados de esta misión. Esas imágenes se siguen utilizando para obtener información a partir de modelos hidrodinámicos complejos del polvo, comparando distribuciones de densidad teóricas con las observacionales. Información que posteriormente se utiliza para describir las primeras fases del acrecimiento en el Sistema Solar así como para interpretar las imágenes ópticas tomadas desde la Tierra. Otro resultado impor-

PREGUNTAS FUNDAMENTALES

Aunque existe un conocimiento amplio sobre las comas y colas cometarias, observables desde la Tierra, el principal problema reside en la conexión de lo que se observa con lo que está presente en los núcleos. Para profundizar en ese tema, y así poder extraer información para entender cómo se formó el Sistema Solar, debemos intentar responder a dos preguntas fundamentales.

¿CÓMO SE FORMARON LOS NÚCLEOS COMETARIOS?

Se podría decir que, intentando aglutinar, existen dos modelos para describir la formación de los núcleos cometarios, dependiendo de las condiciones y procesos que reinasen durante la formación del Sistema Solar. En un extremo, apoyado en los modelos dinámicos que favorecen la ubicuidad de las colisiones y en la forma en que los núcleos se fragmentan por fuerzas de marea, estaría el modelo conocido como “pila de escombros”. Este modelo supone que la región de formación cometaria estaba dominada por colisiones disruptivas (de relativamente alta velocidad) y los fragmentos originados se reaccumularon para dar lugar a cuerpos del tamaño de los kilómetros. Tendríamos así cuerpos que no serían primordiales en el sentido estricto de la palabra. Los principales argumentos en favor de este modelo son, además de los ya mencionados, la forma bimodal (gran elonga-

ción de los núcleos cometarios) y la alta rugosidad vista en las superficies de los cometas visitados. En el otro extremo se encontraría lo que podríamos llamar “modelo primordial”. Hay distintas versiones de este modelo que describen de manera diferente la formación de cuerpos del tamaño de los kilómetros. En cualquier caso, todos coinciden en que la acumulación de materia se produjo de manera suave, preservando la composición. En favor de este modelo estaría, por ejemplo, la detección de supervolátiles, como la molécula de azufre, que sugieren temperaturas de formación inferiores a los 30 grados o la razón deuterio-hidrógeno estimada en diversos cometas, que tiene un valor muy superior al que se estima para la nebulosa protosolar pero muy similar al encontrado en agua interestelar.

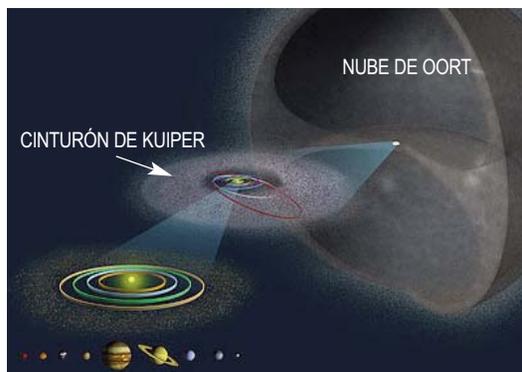
¿CÓMO EVOLUCIONAN LOS NÚCLEOS COMETARIOS?

De nuevo dos extremos. Incluso si se formaron de manera primordial, en un extremo se sugiere que los núcleos habrían perdido su carácter prístino tanto por calentamiento radiogénico (por el calor liberado por los elementos radiactivos presentes en la nebulosa solar) como por la energía liberada en el proceso de cristalización (si el hielo prístino fuese amorfo). El principal argumento que se esgrime, además de consideraciones teóricas, es que no ha sido detectado hielo amorfo, el que se forma y man-

tante fue la estimación, por primera vez en este tipo de objetos, de las características superficiales: Borrelly mostraba una superficie muy rugosa, con pendientes medias que podían alcanzar los 55°. Más adelante intentaremos sugerir la importancia de este resultado.

Unos meses después del lanzamiento de DS1, el 7 de febrero de 1999, NASA lanzó la misión Stardust con el objetivo de capturar partículas de polvo tanto de origen interestelar como del entorno del cometa Wild 2. Esta misión, la primera diseñada para traer muestras de una región más allá de la Luna, proporcionó una gran cantidad de material cometario y confirmó, sin interpretaciones o ambigüedades, que Wild 2 incorporó durante su crecimiento una cantidad importante de silicatos cristalinos. El hallazgo de estos compuestos, que requieren temperaturas de formación muy altas, exigía que los modelos de formación de discos protoplanetarios contemplaran la circulación de material a gran escala desde las regiones más calientes del Sistema Solar a las más frías, donde se formaron los cometas. Hasta la fecha sabemos que esa circulación existió pero no qué mecanismos la produjeron y en qué escalas de tiempo. El análisis de las muestras de polvo también permitió, en un trabajo minuciosamente ejemplar, la detección de glicina y de hidro-

carbonos aromáticos complejos, isotópicamente parecidos a los encontrados en partículas interplanetarias recolectadas en la estratosfera. Ambos resultados reavivaron la idea que ya expuso Oro en los años 60 del siglo pasado sobre la importancia del material cometario en la química prebiótica de la parte interna del Sistema Solar.



Conceptión artística que muestra las dos regiones de origen de los cometas: la nube de Oort y el cinturón de Kuiper.

Otro resultado con importantes implicaciones proviene del análisis de varias de las inclusiones ricas en calcio-aluminio, CAIs en inglés. Las CAIs encontradas en meteoritos se consideran los fragmentos más antiguos del Sistema Solar y se han utilizado para fechar su origen en 4.670 millones de años. Ello se hace a partir de la determinación de abundancias de materiales radiacti-

vos y de sus productos. El análisis de las CAIs encontradas en el polvo de Wild 2 indica que estas no incorporaron gran cantidad del elemento radiactivo ^{26}Al (aluminio 26), pues no se ha detectado ^{26}Mg , (magnesio 26) elemento al que decae el ^{26}Al . Esto indica que se formaron después que sus homólogos asteroidales, que lo hicieron en una región con escasez del elemento radiactivo o bien que el esperado exceso de magnesio se ha diluido con el tiempo. Esas tres posibilidades son en realidad poco probables, por lo que la pregunta queda abierta. La no inclusión de elementos radiactivos, por la causa que fuese, tendría importantes implicaciones en la evolución térmica cometaria. Durante muchos años se ha estado argumentando que si bien los cometas, al ser fríos y de baja masa, deben ser de los objetos menos evolucionados del Sistema Solar, el calor

generado por el decaimiento radiactivo habría, en cualquier caso, alterado su estado original y, por tanto, no serían prístinos. De hecho, la incorporación de ^{26}Al en cantidades de la nebulosa solar sería suficiente para transformar el hielo de estado amorfo (original) a cristalino, lo que liberaría gran parte de los posibles elementos más volátiles que estaban atrapados inicialmente en la estructura amorfa. Según esa idea, los cometas no nos podrían informar directamente de las abundancias primigenias. La no detección de ^{26}Al en las CAIs del Wild 2 reabre, por tanto, el debate sobre el carácter prístino cometario. Tras el éxito de DS1, NASA tenía previsto el lanzamiento de una nueva misión con una mayor carga científica. Así, en julio de 2002 se lanzó la misión *Contour* con el objetivo de sobrevolar tres cometas diferentes. Desafortunadamente esa misión se malogró al fallar, posiblemente, el motor cuando se pretendía ponerla en camino hacia el primer cometa.

La siguiente misión cometaria fue la famosa *Deep Impact* (NASA). Esta misión tenía por objetivo el estudio de la superficie del cometa Tempel 1, para lo que lanzó contra su núcleo un impactador de 370 kilos. Sobre esta misión se ha escrito mucho, de sus buenos resultados y quizás merezca la pena plantearse desde el otro lado. Como sabemos, la misión fue todo un éxito tecnológico y el impacto se produjo el día 4 de julio del 2005. Además, los instrumentos embarcados en DI también nos dejaron una gran cantidad de datos que aún hoy se están analizando. Digno de mencionar es, por ejemplo, la obtención del primer mapa de temperatura completo de la

tiene a bajas temperaturas. En el otro extremo se defiende el carácter primigenio al existir hechos que sugieren la presencia de hielo amorfo: principalmente la observación de frecuentes aumentos de actividad que se podrían deber a la energía liberada en el proceso de cristalización o la no detección de marcas espectrales del hielo cristalino.

¿CONCLUSIONES?

Formación y evolución evidentemente está acopladas y, en el mejor de los casos, cabrían combinaciones de los extremos mencionados anteriormente. En cualquier caso, para describir la naturaleza cometaria, se hace necesario disponer de modelos termofísicos realistas. Hasta la fecha, la mayoría de los modelos se han centrado en aspectos térmicos, dando relativamente poca importancia a aspectos físicos y estructurales, por su evidente complejidad numérica. Algunas preguntas serían: ¿Es posible que la forma y la rugosidad se deban a la erosión cometaria? ¿es el amorfo impuro una fuente significativa de energía? ¿Cómo evolucionan las razones entre los distintos volátiles, que tienen distintas presiones de saturación, en el interior del núcleo y cómo se relacionan con las observaciones? Deberían ser buenos tiempos para el eclecticismo en un entorno maniqueo. Si uno conociese la naturaleza de los cometas, ¿tendría sentido seguir estudiándolos? Solo los afectados por un síndrome similar al de Cotard podrían.

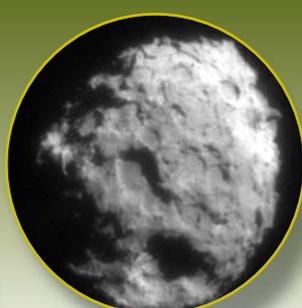
misiones: ALGUNAS CLAVES


COMETA HALLEY

Misión: **Giotto (ESA)**
 Fecha de encuentro: **marzo 1968**
 Núcleo: **16x8x8 km**
 ¿Qué se averiguó? **Núcleo sólido
 Albedo muy bajo
 Muy poroso
 Núcleo cubierto de
 material refractario**


COMETA BORRELY

Misión: **Deep Space One**
 Fecha de encuentro: **septiembre 2001**
 Núcleo: **8x3x3 km**
 ¿Qué se averiguó? **Núcleo muy alargado
 (modelo de "pila de
 escombros")
 Chorros de polvo
 Superficie rugosa**


COMETA WILD 2

Misión: **Stardust
 (primeras muestras)**
 Fecha de encuentro: **enero 2004**
 Núcleo: **5x5x5 km**
 ¿Qué se averiguó? **Relación cometas y química
 prebiótica. Reabre
 debate sobre su carácter
 prístino**


COMETA TEMPEL 1

Misión: **Deep Impact
 (impactador)**
 Fecha de encuentro: **julio 2005**
 Núcleo: **7x5x5 km**
 ¿Qué se averiguó? **Mapa de temperatura
 completo - abre debate
 sobre evolución térmica
 cometaria.**

superficie de un núcleo cometario. Como se ha repetido o insinuado en varias ocasiones a lo largo de este artículo, una de las cuestiones fundamentales relacionadas con los cometas es la información que nos pueden proporcionar en relación a la formación del propio Sistema Solar. Muchas de las determinaciones, realizadas desde tierra, de abundancias de los distintos compuestos observables en las comas y colas cometarias tienen ese objetivo último. Pero para interpretar correctamente las abundancias se ha de conocer cómo es la evolución térmica cometaria, y el mapa de temperatura obtenido por DI nos ha proporcionado un conjunto de datos único con el que verificar los modelos termofísicos cometarios, aquellos que describen cómo evolucionan física y térmicamente los núcleos cometarios con el tiempo. Avanzo que, hasta la fecha, no hemos sido capaces de explicar los datos térmicos obtenidos por *Deep Impact* y aprovecho aquí para hacer un poco de autocrítica. A veces, uno se tiene que enfrentar a los argumentos de quienes están en contra de la exploración espacial, que los hay. En mi opinión, la exploración espacial es necesaria, pero también es necesario hacer y dedicar los esfuerzos que se requieren para extraer toda la información que contienen los datos. De otra manera se resta fuerza a cualquier argumento en favor de la exploración espacial. Hecho este paréntesis y volviendo al mapa de temperatura que obtuvo DI, el primer análisis realizado sugiere que la inercia té-

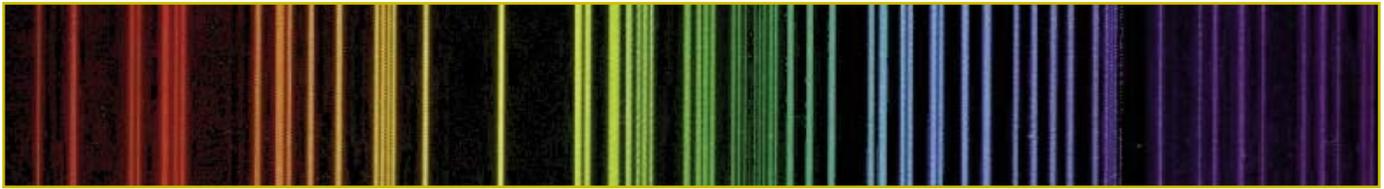
mica, magnitud fundamental que controla la cantidad de calor que el cuerpo dirige hacia su interior y emplea en producir los elementos observables en la coma, es muy pequeña –inferior a cien en unidades del sistema internacional–. Sin embargo, un análisis detallado muestra que en realidad esa inercia térmica, por sí sola, no explica todo el mapa de temperatura obtenido por DI, sino solo el de la región más caliente. La zona más fría muestra que hay diferencias de temperaturas de hasta 40 grados entre los datos medidos y los resultados del modelo térmico. De hecho, sería posible mostrar que una inercia térmica un orden de magnitud superior a la indicada “explica”, matemáticamente, mejor los datos. Pero un ajuste matemático no implica realidad física y por tanto, y en mi opinión, la naturaleza térmica cometaria es hoy otra cuestión abierta. Es posible que la discrepancia de 40 grados se pueda deber a un efecto de la rugosidad de la superficie (si recordamos, Borrelly nos mostró que su superficie era altamente rugosa y la rugosidad puede ser una “fuente” extraordinaria de energía superficial al producir autocalentamiento por reflexión y captación de la energía radiada en el infrarrojo térmico) pero eso no se ha intentado todavía: ¿por qué? ¿hay que dedicar un tiempo que no se tiene?

Otro de los datos esperados de DI era la determinación del tamaño del cráter que produjo el impactador, para discernir si se trataba de un cuerpo con tensión interna o, por el contrario, uno dominado por grave-

dad. DI, debido a la nube de polvo que se produjo tras el impacto y a la brevedad del encuentro, no pudo determinar el tamaño del cráter. Para ello, NASA ha rebautizado la misión Stardust como NExT, con el objetivo de visitar de nuevo el cometa Tempel 1, tomar imágenes del núcleo y estudiar los cambios en su superficie. Los datos de esta misión, que ya han sido tomados, se están analizando actualmente.

En 2007 *Deep Impact* fue rebautizada como Epoxi, extendiendo su utilización. Los nuevos objetivos de la nueva misión eran, por un lado, observaciones de exoplanetas y, por otro, la visita al cometa Hartley 2, que se produjo en noviembre del 2010. Los datos que Epoxi nos ha dejado de Hartley 2 son algo misteriosos. De nuevo, el núcleo aparece como un cuerpo muy alargado, como formado por varios cuerpos: ¿por qué muestran esta forma los núcleos cometarios? ¿evolución o formación? Pero quizás la pregunta más importante que nos ha dejado Epoxi se relaciona con el dióxido de carbono, que no se puede observar desde Tierra debido a la atmósfera. Se ha podido determinar que la cantidad de dióxido de carbono observada en Hartley 2 es sesenta veces mayor que la cantidad de monóxido de carbono. Esto nos dice que la parte externa del Sistema Solar tenía mucho más oxígeno de lo que predice cualquiera de los modelos de discos protoplanetarios. Algo no encaja y sin Epoxi podríamos no saberlo. Pero ¡no se vayan todavía, aún hay más! Próxima misión: Rosetta.

Leyendo entre líneas (I)



PRIMERO DE DOS ARTÍCULOS SOBRE ESPECTROSCOPIA: EN ESTE VEREMOS LAS NOCIONES BÁSICAS, Y EL SIGUIENTE MOSTRARÁ LAS APLICACIONES EN ASTRONOMÍA

Por Montse Villar (IAA-CSIC)

¿DE QUÉ ESTÁ HECHO EL SOL? ¿HAY AGUJEROS NEGROS EN EL CENTRO DE LAS GALAXIAS? ¿Se está expandiendo el Universo? ¿Existen planetas alrededor de otras estrellas? ¿Qué moléculas existen en el espacio interestelar? Contestar a estas y muchas otras preguntas ha marcado hitos importantes en la historia de la ciencia. Y hemos hallado muchas de las respuestas gracias a la espectroscopía, una técnica que los científicos hemos utilizado en estudios astronómicos desde hace más de doscientos años. La espectroscopía también ha empezado a ganar adeptos entre los astrónomos *amateur*: comprender la información cifrada en los espectros de los objetos astronómicos abre a los amantes del universo una infinidad de posibilidades para desarrollar estudios fasci-

nantes y relativamente sencillos, que no pueden abordarse con la técnica de la imagen.

Con la pareja de artículos dedicados a la espectroscopía en astronomía que se publicarán en números consecutivos de la revista IAA, buscamos aportar las nociones básicas necesarias para que los lectores sean capaces de:

- 1) Identificar la naturaleza de los objetos astronómicos a partir de sus espectros y comprender el origen de las diferencias
- 2) Entender cómo se utilizan los espectros para investigar las propiedades físicas (temperatura, densidad) y cinemáticas (cómo se mueven), así como la composición química de los objetos astronómicos
- 3) Entender cómo se ha utilizado la técnica de la espectroscopía para dar respuesta a algunas preguntas de gran relevancia, como las mencionadas al principio de este artículo.

Pretendemos además mostrar cómo los experimentos de laboratorio y las leyes físicas que los explican permiten asimismo explicar las características básicas de los espectros de objetos astronómicos.

Para ello, antes de centrarnos en la aplicación de la espectroscopía en la astronomía, es necesario comprender una serie de conceptos sobre la naturaleza y comportamiento de la luz y de la materia, que abordamos en este primer artículo. Se mostrarán algunos ejemplos sencillos e ilustrativos.

¿QUÉ ES UN ESPECTRO?

Cuando la luz atraviesa un prisma se dispersa en radiación de diferentes colores: esto es un espectro. El arco iris es un ejemplo que todos hemos visto alguna vez -en

este caso la atmósfera de la Tierra hace el papel del prisma que dispersa la luz solar-. El espectro de la luz, o espectro electromagnético, se extiende desde las longitudes de

onda más cortas (rayos gamma) a las más largas (radio). Nosotros únicamente detectamos la luz en el rango visible u óptico, del violeta al rojo, porque las células fotorreceptoras del ojo (conos y bastones) solo son sensibles a esta radiación. Somos ciegos, por tanto, a la radiación infrarroja, los rayos X, etc.

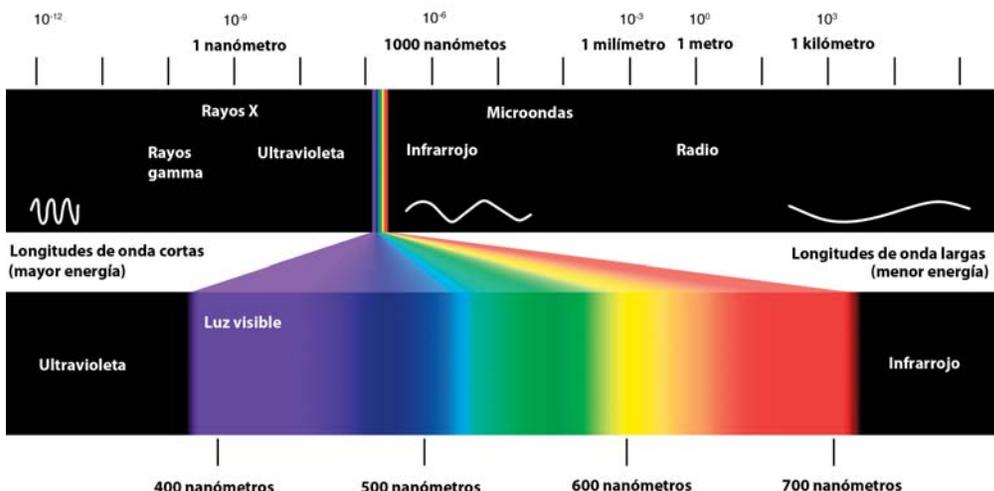
La luz se comporta como una onda y, como tal, está caracterizada por su longitud de onda λ , que mide la distancia entre dos picos consecutivos de la misma. A cada color le corresponden longitudes de onda diferentes, como se aprecia en la imagen.

La luz, además, tiene comportamiento de partícula. Las partículas de luz se llaman fotones y su energía depende de la λ según:

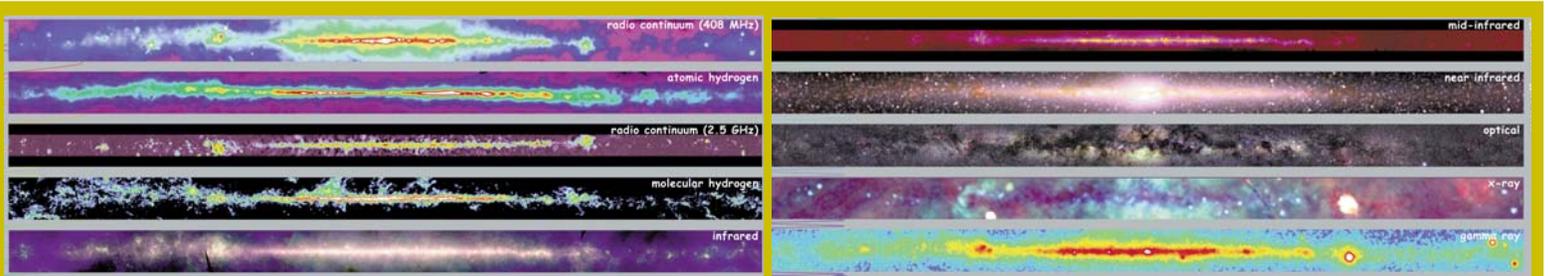
$$E = h c / \lambda$$

Donde h es una constante (constante de Planck) y c es la velocidad de la luz.

Esta sencilla fórmula nos dice que cuanto más energética es la radiación menor es su longitud de onda. Por ejemplo, la luz ultra-



El espectro de la luz se extiende desde las longitudes de onda más cortas (rayos gamma) a las más largas (radio). Nuestros ojos son sólo sensibles a la luz visible, desde el violeta al rojo.



Imágenes de la Vía Láctea a diferentes longitudes de onda. Dependiendo del rango espectral el aspecto es diferente, pues vemos distintos ingredientes de la Galaxia. Así, la imagen en infrarrojo muestra la distribución del polvo, mientras que en el óptico vemos estrellas y gas ionizado y en rayos X observamos objetos muy energéticos como supernovas y estrellas binarias de rayos X. Según qué fenómenos y objetos queramos investigar, seleccionaremos el rango espectral adecuado para las observaciones. Fuente: NASA.

violeta tiene longitud de onda más corta que la amarilla. Es por tanto más energética y por ello más peligrosa. De ahí que debamos protegernos de sus efectos dañinos para la piel.

Multitud de procesos astrofísicos dan lugar a la emisión de radiación. El rango espectral en el que esta radiación es más intensa varía de unos escenarios a otros. Así, debemos decidir qué rango espectral es el

más adecuado a la hora de elaborar una estrategia para el estudio observacional de determinados fenómenos y objetos astronómicos. Por ejemplo, las reacciones nucleares en el interior de estrellas como el Sol producen energía de la que una fracción importante emergerá de la atmósfera estelar en forma de radiación visible; los mecanismos de enfriamiento del polvo en las galaxias generan emisión que domina en el

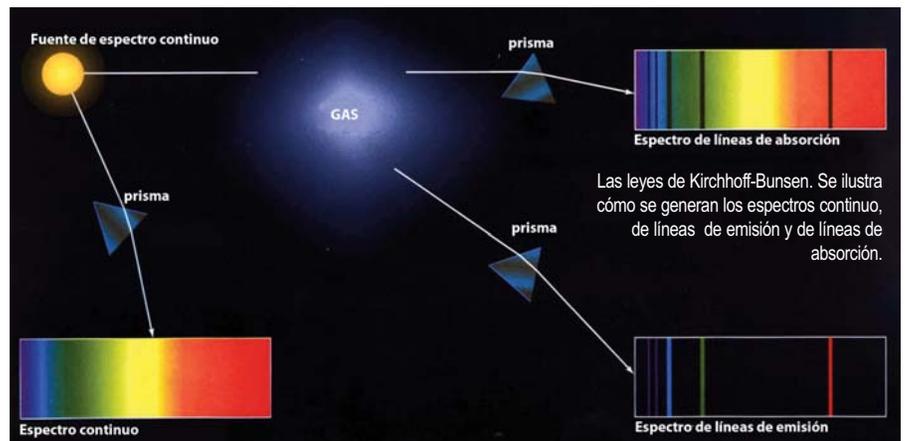
infrarrojo; los estallidos de supernovas producen una intensa emisión en rayos X; el hidrógeno neutro emite en radio, etc. Todo ello significa que el universo se revela con aspectos muy diferentes dependiendo de la longitud de onda en que lo observemos. Esto queda ilustrado en la imagen superior, donde se muestra un mosaico de imágenes de la Vía Láctea en diferentes rangos espectrales.

ESPECTROS CONTINUOS, DE LÍNEAS DE EMISIÓN Y DE ABSORCIÓN

A mediados del siglo XIX, Gustav Kirchhoff (físico) y Robert Bunsen (químico) realizaron experimentos de laboratorio consistentes en analizar el espectro emitido por fuentes y elementos diversos. Sus trabajos dieron lugar a tres leyes fundamentales que, como veremos, nos ayudarán a identificar la naturaleza de los objetos astronómicos a partir de sus espectros.

1) Un objeto sólido incandescente o un gas denso y caliente, sometido a muy alta presión, emite un espectro continuo de luz. Es decir, dentro de un rango espectral dado, emiten radiación en todas las longitudes de onda.

2) Un gas tenue y caliente emite un espectro de líneas brillantes (líneas de emisión). Es decir, emite luz tan solo a unas longitudes de onda determinadas. El espectro de líneas



de emisión depende de la composición química del gas.

3) El espectro de una fuente de continuo observado a través de un gas más frío mues-

tra líneas oscuras superpuestas (de absorción). El espectro de absorción es el inverso del espectro de emisión del gas (este emite y absorbe a las mismas longitudes de onda).

LA ESTRUCTURA INTERNA DEL ÁTOMO

Un cuerpo, por el hecho de tener cierta temperatura, emite un espectro continuo (primera ley de Kirchhoff). Cuanto más caliente está el cuerpo, más energética es la radiación que emite, es decir, menor es su longitud de onda. De ahí que cuando introducimos un pedazo de hierro en un horno veamos cómo se pone incandescente y pasa sucesivamente del rojo al azul y al blanco a medida que aumenta su temperatura.

¿Cómo se producen los espectros de

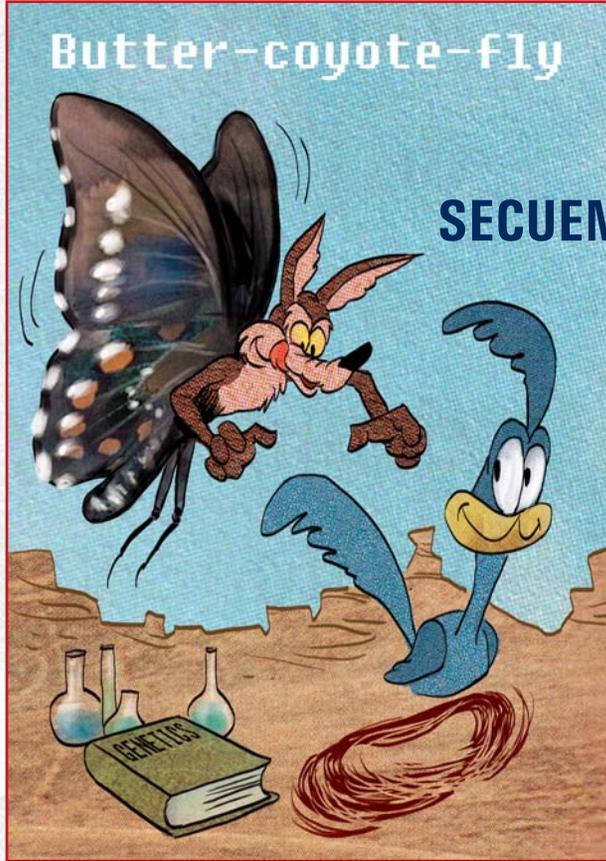
líneas de absorción y de emisión? La respuesta reside en la estructura subatómica de la materia: es la mecánica cuántica en acción. Los átomos están formados por el núcleo (protones y neutrones) y los electrones que orbitan a su alrededor. Los electrones no son libres de moverse de cualquier manera, sino que siguen órbitas fijas y a cada una de ellas le corresponde una energía determinada. Un electrón puede saltar entre órbitas absorbiendo o cediendo exactamente la energía correspon-

diente a la diferencia entre dichas órbitas. En un gas tenue y caliente, diversos mecanismos (recombinaciones, colisiones con otros electrones libres...) hacen que los electrones ocupen órbitas de mayor energía. Un electrón excitado perderá el exceso de energía saltando a una órbita inferior mediante la emisión de un fotón. Dicho fotón tiene una energía y por tanto una longitud de onda determinadas. De ahí que un gas tenue y caliente produzca un espectro de líneas de emisión (segunda ley de Kirchhoff-Bunsen). Cada línea es producida por la contribución de los fotones emitidos por los electrones que saltan

SECUENCIA 1

DESIERTO DE ARIZONA/EXTERIOR /DÍA

Vemos un plano general del desierto de Arizona donde está sentado el coyote con cara de hambre. De repente, vemos cómo pasa una avioneta de la que se desprende un voluminoso paquete sujeto a un paracaídas. El paquete cae cerca de él. Este se sorprende y curioso acude a mirar qué contiene. Abre el paquete y descubre sorprendido que se trata de un libro gordo. En la portada pone "1001 descubrimientos científicos que cambiarán su vida". Automáticamente el coyote arquea una ceja y pone cara de villano. Lo abre y se ve el índice con el título de los apartados. Los títulos numerados son: relatividad, gravitación cuántica, levitación diamagnética, ingeniería genética, acelerador de partículas (LHC)... Ojea el libro y va cobrando interés por él. Se rasca la cabeza con el dedo índice pensando de manera malévola...

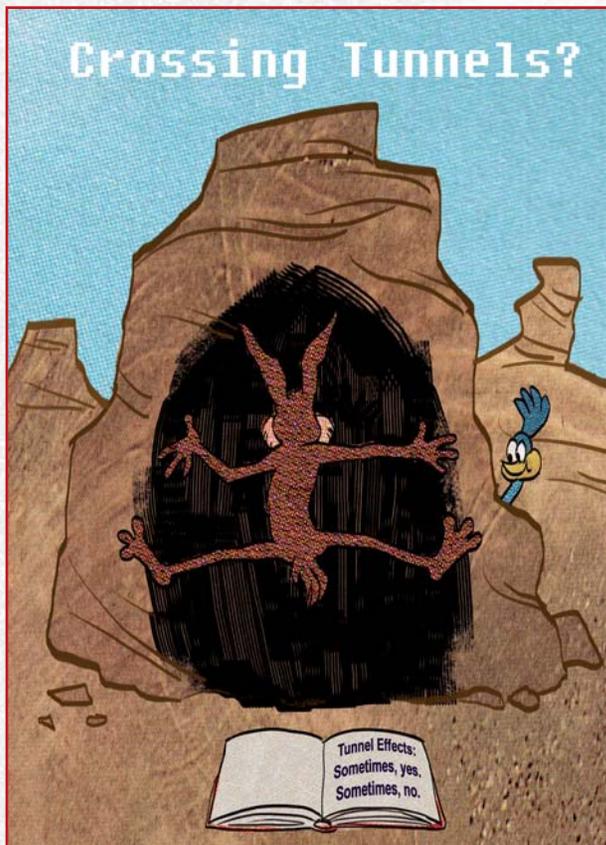


AUTORAS:

Yael Gutiérrez Vela
Alejandra Lagullo Diego
Marta Villa Cortavirtarte

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: Alberto Aguayo Díaz

DIBUJOS: Marcos Prior



LA FÍSICA

EN 2010, UN GRUPO DE ESTUDIANTES REALIZÓ EN EL IAA UN IMPRESIONANTE PROYECTO QUE DESARROLLABA CONCEPTOS FÍSICOS A TRAVÉS DE LAS MAQUIAVÉLICAS ESTRATEGIAS DEL COYOTE PARA ATRAPAR AL CORRECAMINOS. DE LAS 24 SECUENCIAS QUE IDEARON LAS ESTUDIANTES, ONCE FUERON ILUSTRADOS POR UN DIBUJANTE. REPRODUCIMOS AQUÍ PARTE DE LAS VIÑETAS.

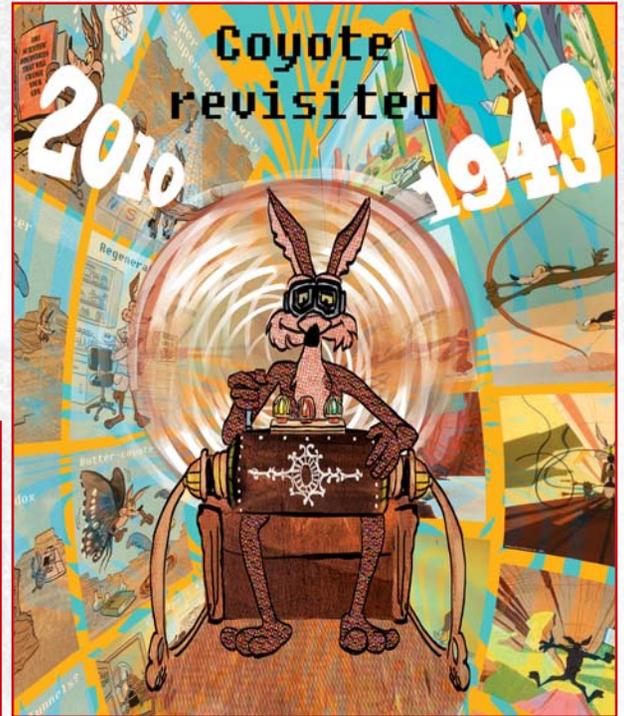
EL RESTO PUEDE VERSE EN LA VERSIÓN DIGITAL DE LA REVISTA (www-revista.iaa.es)

SECUENCIA 17

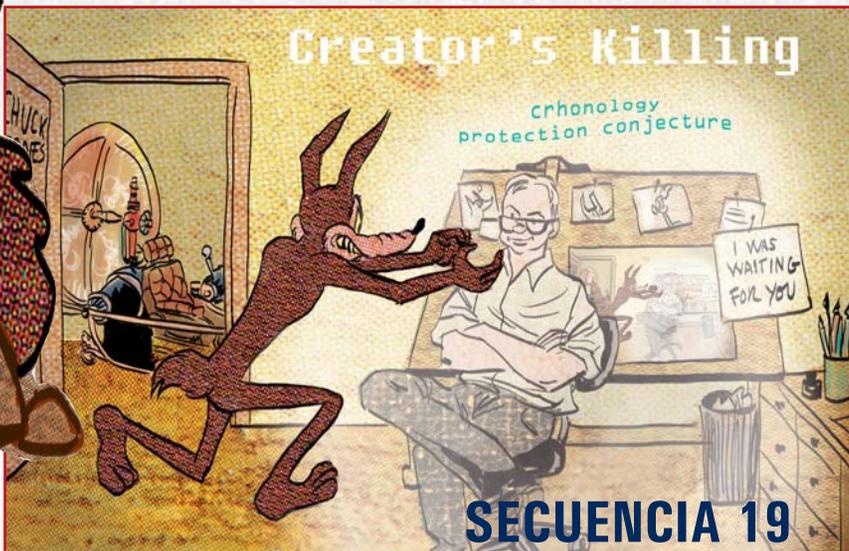
DESIERTO ARIZONA/EXTERIOR/DÍA

El coyote vaga por el desierto cuando de repente se topa con un cómic. Se detiene a mirarlo y ve que se titula *Wile E. Coyote and the Roadrunner*. Sus ojos salen de sus órbitas al comprobar que se trata de la historia de su propia vida. Ojea el libro con avidez y se ve cómo algunas de las situaciones que aparecen son su futuro. Se ve él mismo construyendo la máquina del tiempo. Cierra nervioso el libro y lee en la portada: "por Chuck Jones". En el siguiente plano vemos al coyote construyendo una máquina como la del dibujo. La máquina contiene todo tipo de ruedas, hélices, engranajes, palancas... Es muy sofisticada. La construcción del artilugio le lleva tanto tiempo que a lo largo de la escena transcurre un día y una noche. Por fin por la mañana la tiene construida. Toca una serie de palancas y con ellas determina la fecha a la que quiere viajar. Vemos a un enfurecido coyote que marca 1943. La máquina empieza a vibrar hasta que salta una gran chispa que cubre todo. En el siguiente momento se ve al coyote de espaldas. A ambos lados suyos vemos pasar viñetas de cómic con su vida que son deformadas, estiradas... a toda velocidad. Tras unos segundos empieza a aparecer luz blanca cada vez más fuerte hasta cubrir toda la pantalla. El coyote ya está en el pasado.

deconstrucción
otros ensayos



Sonríe pícaramente y le muestra un cartel en el que aparece escrito "Te estaba esperando". Justo debajo hay dibujada una pequeña viñeta con la misma escena que estamos viendo. El coyote se abalanza sobre la mesa del dibujante, coge una goma e intentaborrar al correcaminos de todas las viñetas. Esto le resulta imposible ya que la goma parece cobrar vida e intenta escaparse de sus manos. A continuación el coyote, movido por la ira, intenta estrangular a Chuck agarrándolo del cuello. No llega ni a tocarlo porque es repelido por una especie de campo de fuerza. Además todo se vuelve como siempre contra él y sus manos se pegan contra su propio cuello. Cada vez que intenta estrangular a Chuck aparece una nube en la que está escrito: "Conjetura de protección cronológica".[...]



SECUENCIA 19

ESTUDIOS DE ANIMACIÓN WARNER BROS 1943/INTERIOR/DÍA

El coyote entra en el interior de los estudios. Desatado recorre los pasillos llenos de despachos hasta que se topa con una puerta en la que pone "Mr. Chuck Jones: guionista". Abre violentamente la puerta y pega un portazo. Vemos cómo Chuck, que estaba trabajando en su mesa, se gira. Mira al coyote por encima de las gafas.

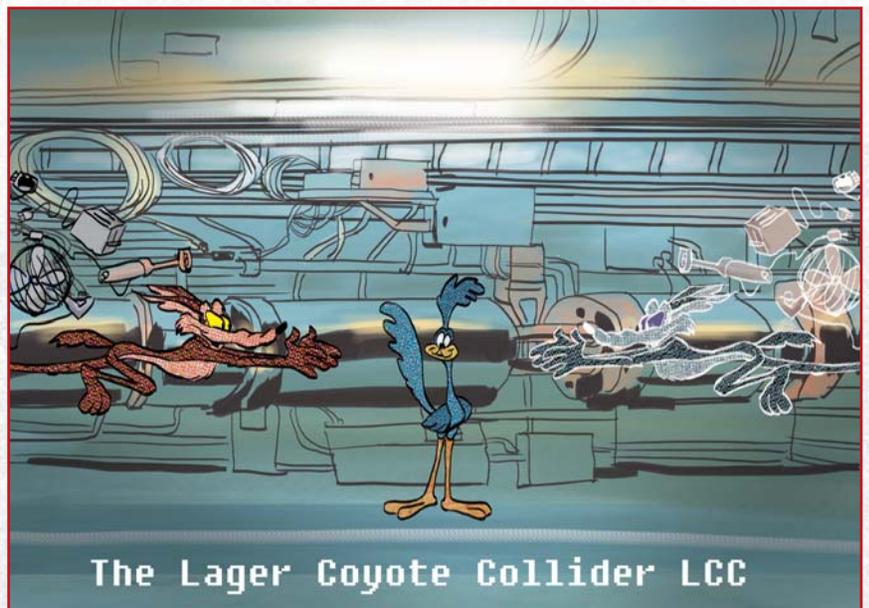
DEL CORRECAMINOS

SECUENCIA 23

LHC/INTERIOR

[...] Del laboratorio de clonación salen cinco coyotes, que ponen rumbo al anillo. Se oye un "bip, bip". Los coyotes se dividen en dos grupos, siendo acelerados en sentidos opuestos. Se ven coyotes dando vueltas a gran velocidad, cada uno en su sentido correspondiente, creando una situación un tanto confusa. En una de estas vueltas vemos un primer plano de cómo dos de los clones que circulaban en sentidos opuestos se chocan entre sí en una violentísima explosión. Queda como resultado de esta una nubecilla que está compuesta por pequeñas partículas que están identificadas mediante e^+ y P . Esta nube se materializa en tres coyotes y un anticoyote. En la siguiente vuelta vemos cómo chocan un coyote y un anticoyote produciéndose en dicha aniquilación una enorme generación de energía. El resto de los clones van desapareciendo en sucesivos choques generando una cascada de partículas elementales.

De este modo en el interior del túnel sólo quedan el coyote y el correcaminos y corriendo cada vez más rápido y en sentidos opuestos. Tras fallidas tentativas de choque, este se produce. El impacto es tan violento que ambos quedan concentrados en un simple agujero negro (representado por un punto negro) [...]





el "Moby Dick" de...

...Isabel Márquez (IAA-CSIC)

Actividad NUCLEAR en galaxias

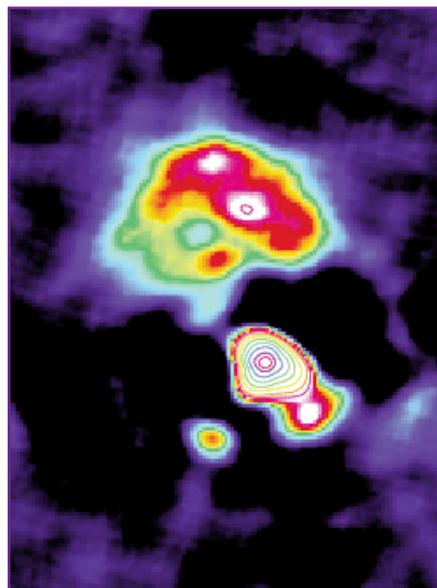
Los núcleos activos de galaxias (NA) son regiones nucleares tan luminosas que pueden incluso superar en brillo a la galaxia que los alberga; la luz que emiten a diferentes longitudes de onda, desde las ondas radio hasta los rayos X, muestra propiedades que no son explicables considerando únicamente procesos de formación de estrellas. La ingente cantidad de energía se produce por la caída de material hacia un agujero negro muy masivo que se encuentra en el núcleo de la galaxia. Se trata de un fenómeno cuyo tiempo de vida dependerá del "combustible" disponible y de la rapidez con que este sea "engullido" por el agujero negro, y que suele ser de unas decenas de millones de años.

Mi primer encuentro con los NA fue durante la fase final de la tesis, cuando estudiaba las propiedades características de las galaxias espirales aisladas y cuando, por primera vez, me planteé cómo podía inducirse la actividad nuclear en galaxias para las que la interacción gravitacional con otras surte un mínimo efecto. Durante mis primeros años de postdoc, primero en París y más tarde en el IAA, uno de mis objetivos fundamentales fue el de buscar, entre galaxias prácticamente aisladas, cuáles de sus características podían relacionarse con la presencia o no de un NA. El resultado puede resumirse diciendo que, con o sin NA, las galaxias aisladas estudiadas eran equivalentes, lo que sugería que el fenómeno de actividad nuclear en estas galaxias podía ser recurrente.

Los NA de las galaxias aisladas no estaban entre los más potentes, ya que estos se hallaban generalmente en sistemas de fuerte interacción con galaxias muy próximas e incluso en procesos de fusión, probablemente indicando que la alimentación del NA tiene que ver con los mecanismos generados en colisiones muy violentas. En este extremo de alta potencia, estudiamos una muestra de cuásares, mucho más lejanos. Para ello resultaba imprescindible contar con la mejor resolución espacial disponible. Nuestra aproximación consistió en obtener imágenes con óptica adaptativa, que nos permitieron estudiar tanto la galaxia que albergaba estos núcleos tipo cuásar como el entorno muy próximo, con igual o mejor calidad que con el



Nacida en Badajoz (1967), obtuvo su licenciatura en Astrofísica en la Universidad Complutense en 1990 y se doctoró en 1994 en la Universidad de Granada. En el IAA trabaja como Investigadora Científica del CSIC desde 2009. Actualmente preside el Comité de Asignación de Tiempos de Calar Alto y es miembro de la Junta Directiva de la SEA.



PKS1700+514

Hubble Space Telescope, como fue el caso del cuásar PKS1700+514 (imagen).

Casi al mismo tiempo empezaba a delimitarse una clara relación entre la masa del esferoide central de las galaxias y la masa del agujero central supermasivo, que se perfilaba como un componente característico entre las galaxias masivas. Por otro lado, formación estelar y actividad nuclear parecían tener historias paralelas, de modo que el estudio del fenómeno de actividad nuclear comenzaba a plantearse como una componente imprescindible para entender los procesos de formación y evolución de galaxias. Esta imbricación de la actividad nuclear en la evolución del universo queda patente en las simulaciones cosmológicas actuales, que requieren de la energía retroalimentada por los NA para reproducir las observaciones más recientes.

Los más débiles

En este contexto, las galaxias que albergan NA menos poderosos, mucho más numerosas que las que albergan NA más potentes, constituyen una familia especialmente interesante para entender cómo ocurre la actividad nuclear en los diferentes tipos de galaxias y cómo estos fenómenos puedan haber sido diferentes desde el origen del

universo hasta nuestros días. Los núcleos de tipo LINER, definidos por una serie de propiedades específicas de sus espectros en el visible, son una clase probablemente heterogénea que ha despertado mi interés desde hace más de una década. Investigaciones recientes en nuestro grupo han mostrado que una alta proporción de estos núcleos también serían NA, si bien los fenómenos de acreción pudieran ser mucho menos eficientes o pudieran estar mucho más oscurecidos que en sus parientes más potentes. La información que estamos obteniendo recientemente tanto en el rango de los rayos X muy energéticos con el satélite SUZAKU, como en el infrarrojo medio con VISIR/VLT (y que esperamos completar próximamente con CanariCam en GTC), nos permitirá tanto estudiar los diferentes mecanismos de acreción posibles en NA de baja luminosidad, como cuantificar la contribución de los NA altamente oscurecidos en el universo local.

"Los LINERs, definidos por unas propiedades específicas de sus espectros en el visible, despertaron mi interés hace más de una década"

En breve se cumplirán 50 años del descubrimiento de los cuásares*, cuando Schmidt determinó que la radio fuente casi estelar 3C273 era una galaxia a más de mil millones de años luz de distancia, y por lo tanto más de cien veces más brillante que una galaxia normal. Después de dos décadas navegando en nuestro *Pequod*** particular, no son una sino muchas nuestras ballenas, tan tenaces como Moby Dick, y a las que perseguimos incluso sin habernos privado de una pierna; fascinantes e imprescindibles para extraer conclusiones sobre el origen y la evolución del universo en que vivimos.

* Está prevista la publicación del monográfico *50 years of quasar discovery*, del que I. Márquez es coautora.

** Ballenero en el que el capitán Ahab surcaba los mares en busca de Moby Dick.

La ciencia es un fraude... ...desde siempre

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

Recientemente, el reconocido investigador Avery Lier publicó en la prestigiosa revista *Sociological Science Journal* una extensa y pormenorizada revisión sobre el concepto de fraude científico, más conocido como *scientific misconduct* (término anglosajón empleado para diferenciar la acción fraudulenta de la estricta mala praxis científica). En palabras del propio autor, “cualquier actividad humana en la que tenga cabida la ambición, la egolatría, la envidia, el rencor, el poder y el dinero es susceptible de caer en el engaño más vil y el mundo científico es un cóctel perfecto de todos estos ingredientes”.

Y es que el comportamiento deshonesto en ciencia no es nuevo. Para el profesor Felipe Montero de la Universidad de París, es tan antiguo como la propia búsqueda del conocimiento científico. “Es un hecho que Ptolomeo plagió y utilizó sesgadamente las observaciones de Hiparco para elaborar su teoría geocéntrica. Aunque para mentirijillas científicas las de la Biblia: que el Sol se detenga en plena batalla (cap.10. Josué) suena a fraude divino”, ironiza el reconocido historiador.

Pero, a pesar de su aparente diversidad, la conducta maliciosa en ciencia ha sido categorizada en tres tipos: “Es lo que definimos como la PIF, es decir, o lo Plagio, o lo Invento, o lo Falsífico” señala el Dr. Lier. Ha habido falsificaciones realmente longevas, como el famoso Hombre de Piltdown: los restos fósiles de un cráneo encontrados en Sussex y que durante cuarenta y cinco años fueron considerados por la paleoantropología como el eslabón perdido, hasta que se descubrió que eran una mezcla de cráneo humano y mandíbula de orangután; “...pero inglés, al fin y al cabo”, puntualiza Lier.

En esta línea, el Dr. Morel de la Universidad de Villings considera que “si bien la creatividad es un don muy preciado en ciencia, la capacidad inventiva de muchos investigadores puede rayar en lo patológico”. Es el caso de R.J. Chandra, experto en nutrición e inmunología, que no dudó en crearse un falso colega que respaldaba todas y cada una de sus -también falsas- investigaciones en un revista especializada de la que casualmente Chandra era editor. En otros casos, este gusto por la alegre generación de conocimiento convierte a muchos investigadores en auténticos super-

hombres. Es el caso de R. Slutsky, cardiólogo de la Universidad de San Diego que durante el período entre 1983 y 1985 fue capaz de “fabricar” un artículo cada diez días; o el de J.H. Schön, joven físico estrella de los Laboratorios Bell cuyo dominio del “cortapega” le situó en la carrera hacia el Nobel. “Lástima de esfuerzo no dedicado a la investigación de verdad”, reflexiona Erika Berger, editora de la prestigiosa *Science for the Millennium*.



Durante cuarenta y cinco años, el Hombre de Piltdown se consideró el eslabón perdido (hasta que se descubrió que era una mezcla entre cráneo humano y mandíbula de orangután)

Pero, como el abogado especialista en mala conducta científica, Atticus Finch, destaca en *Legal Science Magazine*: “A pesar del irreparable daño moral que supone la estafa científica, pocos son los casos en los que el investigador acaba con sus huesos en la cárcel”. Este fue el caso de Eric Poehlman, una autoridad mundial en el campo de la obesidad y del envejecimiento, con más de 200 artículos de referencia y que en 2005 fue condenado a un año entre rejas por haber falseado varios de ellos con el objeto de conseguir fondos. Más radical fue el castigo para el doctor militar James Shaerer, que en 1916 inventó un tipo de máquina que permitía obtener radiografías de alta calidad de los fragmentos de proyectil en los heridos de guerra, algo de enorme interés para el ejército. Un consejo de

guerra lo condenó a muerte cuando se descubrió que todas eran radiografías convencionales manipuladas por él mismo (finalmente se le conmutó la pena máxima por prisión).

De hecho, históricamente son tantos los casos de picaresca científica que los especialistas no pueden evitar tener sus favoritos. Lier reconoce cierta admiración por J.E.W Keely, inventor en 1872 de un motor capaz de “extraer la energía interatómica del éter”. Aunque nunca desveló sus principios, ni por supuesto llegó a construir semejante máquina, nunca le faltaron inversores, ni tuvo problemas económicos en toda su vida gracias a una serie de “trucadas” demostraciones públicas y a continuas promesas de futuros prototipos. Tampoco le importó especialmente que en 1887 Michelson y Morley demostraran que el éter no existía. “Keely era un crack” -continúa Lier-, “lo increíble es que a día de hoy existen empresas que utilizan la misma estrategia, como Steorn y su sistema de energía inagotable ORBO”. Morel se decanta en cambio por el eminente arqueólogo Shinichi Fujimura, que en 2000 hizo reescribir la historia japonesa al ser descubierto por unos reporteros enterrando los restos arqueológicos que a la mañana siguiente su equipo “descubriría”. “No deja de tener algo de poético” -declara Morel- “es como una especie de Sísifo científico incapaz de escapar de un perverso círculo vicioso creado por él mismo”. Su justificación fue también de lo más poética: “El diablo me obligó a hacerlo”. Por último, Montero recuerda el caso más surrealista de todos, el del dermatólogo W. T. Summerlin que, incapaz de enfrentarse al fracaso en su aspiración de transplantar injertos de piel negra en ratones blancos, ¡no dudó en pintar estos últimos con tinta! Desgraciadamente, tras una friega de alcohol desapareció todo rastro del revolucionario transplante.

Lier concluye su estudio con un inquietante dato: lejos de ser casos aislados, un reciente trabajo publicado en la revista *Nature* asegura que cada año se dan unos dos mil casos de conductas potencialmente maliciosas, aunque la mayoría de los especialistas citados dudan de la credibilidad de dicha revista. “No en vano ha publicado numerosos artículos fraudulentos en el pasado” -remata Lier-.

MÁS INFO SOBRE FRAUDES EN:
www.iaa.es/revista

Desvelada la fuente de emisión de uno de los mayores *Lyman Alpha Blobs*

Los *Lyman Alpha Blobs* son nubes de hidrógeno que pueden alcanzar el tamaño de las mayores galaxias del universo y cuya luminosidad es hasta cuarenta veces mayor que las galaxias a esa distancia

► Uno de los grandes enigmas de la astrofísica observacional reside en desentrañar los procesos a través de los que se formaron y evolucionaron las galaxias que vemos hoy día. Aunque existen predicciones teóricas que tratan de explicar estos procesos, el descubrimiento de objetos con características inesperadas hacen plantearse la validez de estos modelos y seguir abogando por una explicación más adecuada.

Uno de estos objetos peculiares son los *Lyman-Alpha Blobs* (LABs). Se trata de gigantescas nubes de hidrógeno que pueden alcanzar tamaños de más de 100 kiloparsecs (tamaño comparable al de las galaxias más grandes del universo) y luminosidades entre veinte y cuarenta veces mayores que galaxias a esa distancia. Su morfología y luminosidad es comparable a la de nebulosas asociadas con radio galaxias muy energéticas, pero emiten en una proporción mucho menor en longitudes de onda de radio.

Generalmente, estos objetos se encuentran a grandes distancias y se suelen detectar a través de cartografiados que utilizan la línea de emisión del hidrógeno neutro Lyman-Alpha, tremendamente útil para trazar la evolución de galaxias en el universo a alto *redshift*. Estas nebulosas, por lo tanto, se formaron cuando el universo tenía tan solo unos pocos millones de años. Es por eso que entender su naturaleza es crucial para desentrañar los procesos de formación y evolución de las galaxias en las épocas iniciales del universo. Uno de los mayores retos que presentan los

LABs es la comprensión de los mecanismos físicos que los convierten en objetos tan energéticos.

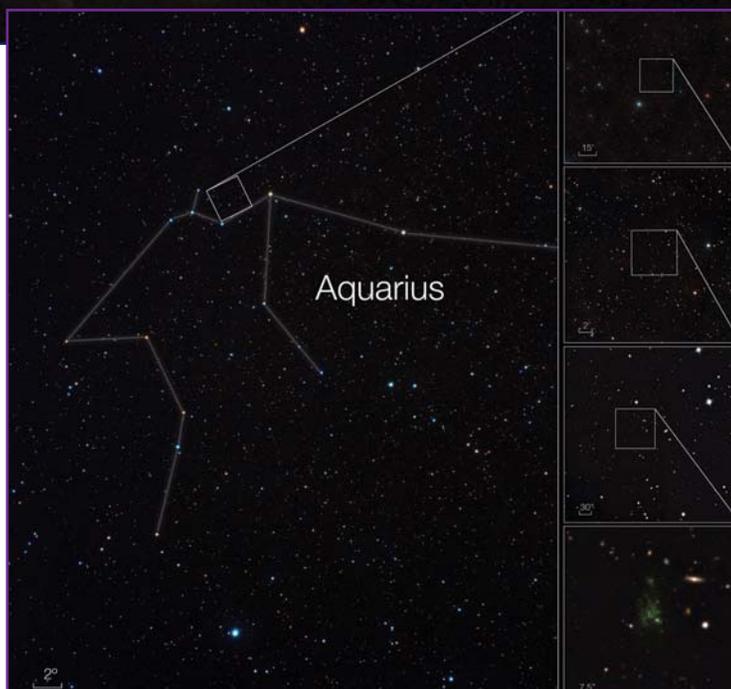
El primer LAB fue descubierto en el año 2000 por Steidel y colaboradores, asociado a un cúmulo de galaxias en formación (protocúmulo) a *redshift* 3,1. Se le llamó LAB-1. Con un diámetro de unos 130 kiloparsecs, esta nebulosa es una de las más grandes y luminosas que se conocen. Hasta la fecha, se han detectado unas decenas más.

Recientemente, LAB-1 ha vuelto a ser protagonista al publicarse en la revista *Nature* un trabajo liderado por Matthew Hayes, de la Universidad de Toulouse, en el que se ha realizado un estudio para esclarecer el origen de su gran emisión energética. Existen dos teorías principales para explicar la formación y los grandes niveles de energía de los LABs. La primera, conocida como fenómeno de corriente fría (*cooling-flow* en inglés), sostiene que el gas frío, al caer hacia el objeto debido a la fuerza gravitatoria, se calienta y libera energía. La segunda propone la existencia de galaxias con gran actividad energética o de formación estelar oscurecidas por el polvo en la línea de visión.

Una de las posibles maneras de diferenciar estos dos escenarios consiste en medir la polarización de las ondas de luz que emite el LAB para detectar si la luz ha sufrido algún proceso físico antes de llegar a nosotros. Si la luz ha sido reflejada o esparcida, entonces estará polarizada, es decir, el campo magnético y eléctrico tomarán



Imagen del LAB-1 (ESO/M. Hayes)
Debajo, zoom a la región donde se halla LAB-1 (ESO/A. Fujii/M. Hayes y Digitized Sky Survey 2)



una orientación específica. En el caso contrario, la orientación de estos campos será completamente aleatoria. Estas mediciones necesitan de un instrumento de gran sensibilidad, ya que muchas veces estas variaciones son muy sutiles, a la par que de un telescopio suficientemente potente como para recoger suficiente luz de un objeto a esa distancia.

El citado grupo, mediante exposiciones prolongadas en el *Very Large Telescope* (VLT), confirmó que la luz de LAB-1 estaba polarizada en un anillo alrededor de la región central pero no había polarización en el centro. Anteriores esfuerzos por desentrañar estos dos escenarios en LAB-1 mediante polarimetría habían dado un resultado nulo debido a una insuficiente precisión de las observacio-

nes. Este efecto es el que se esperaría si la luz procediera originalmente de las galaxias contenidas en la región central antes de que la luz se esparciera por el gas y es casi imposible de reproducir si la luz viene del gas cayendo en el LAB por gravedad. Aun si, por primera vez, prácticamente se ha confirmado el proceso que explica la naturaleza de LAB-1, otros resultados observacionales han sugerido el primer escenario como el más adecuado para otros LABs. Por lo tanto, este descubrimiento no establece que este proceso sea aplicable a todos los objetos de este tipo. Futuras mediciones refutarán estadísticamente o no la universalidad de este descubrimiento.

Begoña Ascaso (IAA)

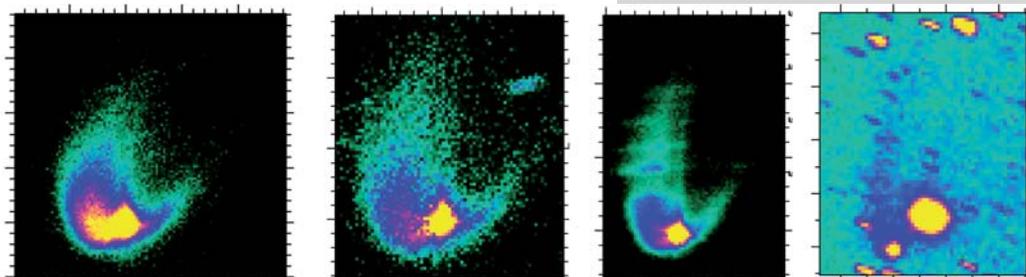
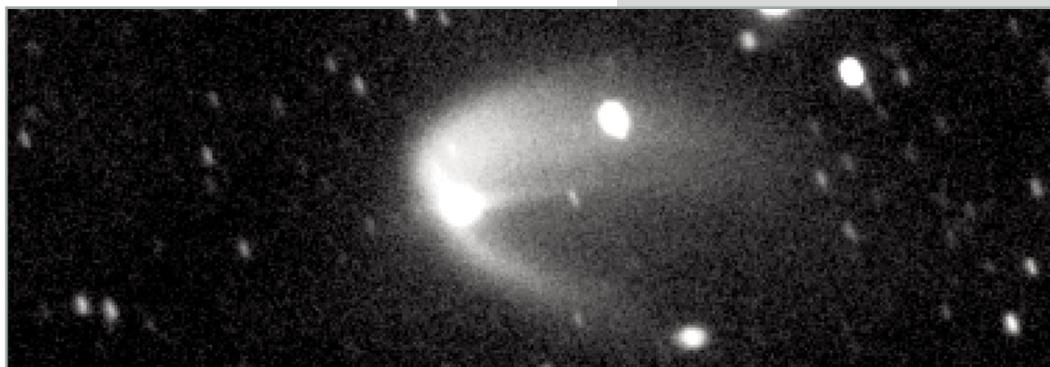
La cola del asteroide Scheila se debió a una colisión

El asteroide Scheila mostró a finales de 2010 una apariencia similar a la de los cometas, con una cola bien definida que desapareció a los pocos días

► En diciembre de 2010, el asteroide Scheila mostró durante apenas tres semanas rasgos propios de los cometas, con un aumento repentino del brillo y el despliegue de una cola de polvo. Los asteroides del cinturón principal -donde se halla Scheila- giran en torno al Sol en órbitas casi circulares, de modo que no sufren los cambios de temperatura que, en el caso de los cometas, producen las características colas. Un grupo internacional de astrónomos, liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía, ha desarrollado un modelo que atribuye la eventual metamorfosis de Scheila al choque con un objeto menor.

"Se barajaban varias explicaciones para este inusual fenómeno -explica Fernando Moreno, investigador del IAA que encabeza el trabajo-, pero dada la brusca disminución de brillo en pocos días lo acotamos a dos: podía deberse a una colisión con otro objeto o a un proceso similar al que se registra en los cometas frecuentemente, y que consiste en la liberación repentina de gas y polvo por algún mecanismo desconocido hasta ahora, que produce a su vez un aumento del brillo".

Sin embargo, el trabajo desarrollado por Moreno y colaboradores descarta esta segunda opción. Gracias a un complejo y preciso modelo numérico hallaron que la velocidad a la que fueron expulsadas las partículas que formaron la cola de Scheila solo podía



Arriba: imagen de Scheila tomada el 11 de diciembre de 2010 por Steve Larson (S. Larson y A. Gibbs -Univ. Arizona/Catalina Sky Survey). Debajo, imágenes de Scheila correspondientes al 13, 14, 17 y 29 de diciembre, en las que se observa la desaparición de la cola, muy tenue en la imagen del día 29.

explicarse con una colisión, y calcularon que dicha colisión se produjo en torno al 27 de noviembre. Además, estiman que el impacto expulsó unos veinte millones de toneladas de material y que el objeto que chocó contra Scheila medía entre 60 y 180 metros de diámetro.

Actividad en el cinturón principal

Scheila se convierte así en un objeto peculiar por varias razones: se trata del séptimo objeto de lo que se cono-

ce como "cometas del cinturón principal", es decir, asteroides de esta región que muestran características propias de cometas.

Además, constituye un ejemplo de colisión entre asteroides, algo muy poco común: a pesar de lo concurrida que se halla la franja en torno a Marte y Júpiter que ocupan -conocida como cinturón principal de asteroides- y a la abundancia de choques que se produjeron en el pasado remoto del Sistema Solar, hoy día la mayor parte de los asteroides del cinturón principal ocu-

pan órbitas bastante estables, y las colisiones, incluso sobre objetos grandes como Scheila (que mide unos 110 kilómetros de diámetro), son poco frecuentes.

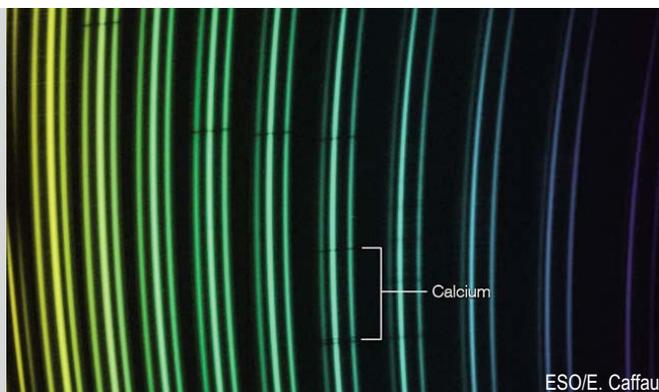
Esta investigación, junto con los hallazgos cada vez más frecuentes de algún tipo de actividad en asteroides (el año pasado se registraron otros dos objetos con aumento súbito de brillo), parece apuntar a que esta región del Sistema Solar es más activa de lo que se creía.

Silbia López de Lacalle (IAA)

EN BREVE

La estrella que no debería existir

► Gracias al *Very Large Telescope* (ESO), se ha hallado una estrella compuesta casi exclusivamente por hidrógeno y helio, con una masa inferior a la del Sol y una edad estimada de más trece mil millones de años, lo que la coloca en una especie de "zona prohibida": teóricamente, una estrella de esa masa y con tan baja proporción de metales (elementos más pesados que el helio) no podría existir porque la nube a partir de la que se formó no llegaría a condensar. En la imagen se aprecia un fragmento de su espectro, donde la única evidencia de elementos pesados son dos líneas correspondientes al calcio.



Anatomía de precisión del jet de un agujero negro supermasivo: localizada la región donde se producen los destellos de rayos gamma

► La astronomía en rayos gamma estudia los objetos más energéticos del universo y, desde sus comienzos hace apenas medio siglo, ha lidiado con un problema grave, que consiste en determinar de forma precisa y fidedigna la región de donde procede la radiación que llega a los detectores de rayos gamma, lo que permite a su vez averiguar el mecanismo a través del que se produce. Ahora, un grupo internacional liderado por astrónomos del IAA ha localizado, por primera vez sin la aplicación de modelos y con un grado de confianza superior al 99,7%, la región de la que surgió un destello en rayos gamma en el blázar AO 0235+164 y que permite conocer cómo se produjo.

Cuando se habla de blázares, el adjetivo “extremo” es inevitable. Los blázares combinan los rasgos esenciales de la familia de objetos a la que pertenecen (los núcleos de galaxias activas), es decir, la presencia de un agujero negro supermasivo de hasta miles de millones de masas solares rodeado de un disco de gas, con la presencia de jets relativistas, o chorros de partículas perpendiculares al disco que viajan a velocidades cercanas a la de la luz y que desde nuestra posición vemos casi de frente, por lo que su intensidad puede multiplicarse entre centenares y miles de veces. “Este trabajo es en cierto sentido rompedor porque estaba ampliamente aceptado que los rayos gamma se producen en una región del jet muy cercana al agujero negro, a menos de tres años luz, y hemos hallado que en este caso el destello se produjo decenas de veces más lejos. Además lo localizamos en los chorros relativistas, lo que implica la revisión de los modelos de emisión de altas energías en este tipo de objeto”, destaca Iván Agudo, investigador del IAA que encabeza el estudio. “Además, hemos obtenido los resultados exclusivamente mediante el análisis de datos y sin

Se detecta la localización de un destello de rayos gamma que se produjo en el chorro que emana de un blázar, el tipo más energético entre los núcleos de galaxias activas



modelos, lo que aporta robustez a las conclusiones”.

Cronología del destello

Este trabajo ha empleado un método que combina datos en casi todas las longitudes de onda disponibles con instrumentos astronómicos y que permite establecer una cronología del evento, que comienza con un aumento de la emisión en radio y microondas de AO 0235+164 que fue detectada con el VLBA (*Very Large Baseline Array*). Este instrumento, que aporta una resolución inigualable, muestra cómo, junto al núcleo de emisión del chorro, surge una segunda región de emisión, que los astrónomos atribuyen a la inyección repentina de material en el chorro. El aumento en la emisión en radio viene acompañado de estallidos a lo largo de todo el espectro electromagnético, desde ondas milimétricas hasta rayos gamma pasando por el óptico.

El grupo investigador debía comprobar que estos destellos, que aparentemente guardaban relación

estaban, en efecto, interconectados. Y lo confirmaron con un grado de confianza superior al 99,7%. A partir de ahí ataron cabos: los datos del VLBA situaban el pico de emisión en radio en una región a unos cuarenta años luz del agujero negro, de modo que buscaron un mecanismo que pudiera producir el destello en rayos gamma en las proximidades.

Ese mecanismo maneja la existencia de dos “piezas”, una estática (el chorro) y otra en movimiento (correspondiente a la nueva inyección de material), y de una región del chorro que, debido a la interacción con el medio circundante, reconfina el material del chorro, acelera las partículas y produce un aumento de la energía emitida. Cuando la nueva componente atraviesa esa región (denominada onda de recolimación), comienzan a producirse los destellos observados.

El origen de los rayos gamma

En particular, el destello de rayos gamma se produce por la interac-

Representación conceptual del fenómeno responsable de los estallidos en rayos gamma (en azul celeste) y en el resto del espectro electromagnético. © W. Steffen (IA-UNAM & Cosmovisión).

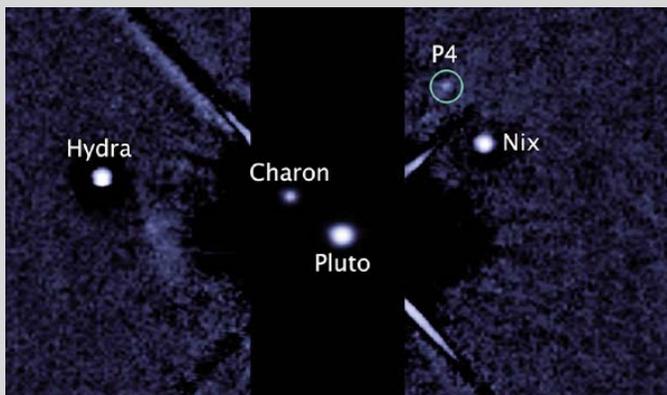
ción entre los fotones en óptico y los electrones del chorro a través del efecto Compton inverso: un fotón colisiona con un electrón y del choque resultan un electrón con menos energía de la inicial y un fotón más energético (rayo gamma). “Existen varias regiones en el núcleo activo de una galaxia donde tenemos fotones en óptico que podrían desencadenar este efecto, pero el tipo de correlación entre las curvas de luz del destello en el óptico y del destello en rayos gamma indica sin lugar a dudas que el origen de los rayos gamma se localiza en el propio chorro” concluye Iván Agudo (IAA-CSIC). “Así que hemos sido capaces de determinar no solo la localización del destello en rayos gamma, sino también el mecanismo que lo desencadena”.

Silbia López de Lacalle (IAA)

EN BREVE:

Plutón y su “familia numerosa”

► Un hallazgo del telescopio espacial Hubble ha aumentado a cuatro el número de satélites que giran en torno a Plutón. Así, la luna P4 (nombre provisional), con unos 13 o 14 kilómetros de tamaño, se une a Caronte, Nix e Hydra. Se convierte así en la pequeña de la familia: Caronte mide unos mil kilómetros y el tamaño de Nix e Hydra se estima en 46 y 61 kilómetros respectivamente. Se cree que este hallazgo confirma que el sistema en torno a Plutón se formó hace unos 4.600 millones de años debido a una gran colisión.



Encelado llueve sobre Saturno

► El observatorio espacial Herschel (ESA) ha hallado que el agua que expulsa el satélite Encelado forma un toroide gigante de vapor de agua en torno a Saturno. Este descubrimiento explica el origen del agua en la atmósfera superior del planeta, poniendo fin a una incógnita que ya duraba tres lustros; además, prueba que Encelado es el único satélite del Sistema Solar con una influencia química conocida sobre el planeta en torno al que gira. Encelado expulsa unos 250 kilogramos de agua cada segundo a través de unas grietas situadas en el polo sur y conocidas como “manchas del tigre”; se calcula que entre un 3 y un 5% del total termina alrededor de Saturno, en una enorme estructura de vapor de agua.



La red interferométrica ALMA (Atacama Large Millimeter Array) comienza a observar

► A principios del mes de agosto, dieciséis antenas de ALMA se encontraban ya ubicadas en el cerro de Chajnantor, a 5.030 metros de altura. Están en el proceso de caracterización, comprobando que cumplen las condiciones bajo las que fueron diseñadas. Pero no solo eso: a final del invierno austral, más de dos tercios del número total de antenas se encontrarán en Chile, repartidas entre Chajnantor y los campus de ensamblaje de las mismas. ALMA es ya una realidad. Simultáneamente, en primavera de 2011 se realizó una primera llamada para propuestas de observación. Se han presentado alrededor de novecien-

tas propuestas, de las que tan solo se observarán cien. Dado el carácter multinacional del observatorio, el reparto del tiempo de observación se ha realizado de modo que el 33.75% corresponden a

Europa, el 33.75% a América del Norte, el 22.5% a Asia y el 10% restante a Chile. Más de cincuenta astrónomos de todo el mundo han participado en el proceso de evaluación. **A. Alberdi (IAA)**



ENTRE BASTIDORES

PROPONGO EL FIN DEL EMBARGO
PERE ESTUPINYÀ

Al periodista no le gusta hacer *copy-paste* de la información. Él o ella lo que quieren es hablar con las primeras fuentes, contrastar, e intentar ser los primeros en dar la noticia o explicar la historia. Por eso cuando el periodista de ciencia se encuentra a una astrofísica que le dice “el pasado 28 de marzo descubrimos una señal muy extraña en nuestro telescopio de rayos gamma, que pensábamos era una supernova, pero resulta que es una estrella siendo ingerida por el agujero negro del centro de nuestra galaxia. Tendrá implicaciones muy importantes, y lo estamos preparando para *Nature*”, su instinto le incita a pedirle más datos y publicar la historia lo antes posible. Pero

entonces se encuentra con una gran realidad del periodismo de ciencia: “no puedo explicarte más, porque está embargado, y las revistas nos prohíben hablar con periodistas”. “Pues vaya mierda!”, piensas de inmediato. Luego te calmas, y ves las ventajas del embargo; se evitan *bluffs*, tienes tiempo para preparar bien la historia, y al lector le llega la información de manera rigurosa. Bien. Pero luego te sulfuras de nuevo al darte cuenta de qué más implica todo esto: las notas de los diferentes medios serán prácticamente idénticas, en realidad no hay intriga ni historia sino exposición de datos, el periodista no tiene motivación para ir más allá de lo que tan bien mascadito nos regalan los embargos,

no hay controversia, ni opiniones desfavorables, la historia desaparece a los dos días y, en última instancia, la ciencia se vuelve más aséptica y poco interesante para el público general. Mi conclusión particular: el embargo contenta a los investigadores pero disminuye radicalmente las posibilidades de hacer un periodismo de ciencia interesante sobre temas de actualidad. Propongo el fin del embargo.

Pere Estupinyà es químico y bioquímico de formación, y trabaja de periodista científico. Es autor del libro “El ladrón de cerebros” y escribe en “Apuntes científicos desde el MIT” (El País) y en “Knight Science Journalism Tracker” (MIT)



SALA limpia

por
Miguel
Abril
(IAA)

Desde que entré a trabajar en el IAA, hace ya más de seis años, no he cambiado de ordenador. Seis años son apenas un instante para la vida de una estrella, pero toda una eternidad para un sistema informático. Así que hace unas semanas me comunicaron que estoy entre los elegidos para renovar su equipo, y ayer me puse a ver las características del que voy a pedir.

Desafortunadamente, yo me quedé en el Pentium IV (¿por qué demonios luego no vino el Pentium V?), por lo que mi primera duda fue si debería pedirlo de dos o de cuatro núcleos (¿por qué no tres? A mí me gustan los impares). Luego, mientras seguía peleándome con las características técnicas (¿será suficiente con 4GB de caché? ¿Habrá mucha diferencia entre 2.40 y 2.53 GHz? ¿Qué será eso de QPI?) empecé a sentir torpes los dedos y pesados los párpados, mientras mi cabeza buscaba inconscientemente el teclado para usarlo

como almohada. Sí, la tecnología avanza con pasos enormes, pero además puede ser enormemente aburrida. Sin embargo, también puede resultar apasionante. Los telescopios y los instrumentos astronómicos con los que estamos acostumbrados a trabajar son sistemas complejos formados por cientos de elementos que tienen que funcionar coordinadamente y que, bajo una mirada atenta, constituyen una fuente inagotable de preguntas y respuestas. ¿Cómo se consigue la precisión necesaria en el apuntado para poder estar seguros de que no estamos mirando la estrella que no es? ¿Cuántos espejos se pueden aluminizar con el aluminio de una batería de cocina? ¿Por qué los ópticos ponen tantísimos espejitos en sus instrumentos, con lo caros que son? ¿Por qué se llaman semiconductores los semiconductores? Vamos a ver: ¿conducen o no conducen?

Y si la instrumentación astronómica basada en tierra puede resultar fascinante, aún más lo son las misiones espaciales, en las que los retos tecnológicos son todavía más importantes y exigen el mayor de los esfuerzos

tecnológicos de los que el hombre puede enorgullecerse. ¿Cómo se protegen los instrumentos de las radiaciones en el espacio? ¿Cómo soportan las violentas vibraciones del despegue? ¿Se puede establecer una base permanente en la Luna? ¿Cómo serán las naves que nos lleven a Marte? ¿Cuánto vale alquilar un asiento para un astronauta si te has quedado sin lanzaderas propias? Cuando me puse a pensar un título para esta sección lo primero que se me ocurrió fue *Crónicas del edificio de enfrente** (en realidad, la primera idea fue "crónicas de la acera de enfrente", que descarté enseguida por razones obvias). Sin embargo, la editora, con buen criterio, apuntó que eso quizás limitaría nuestras miras a las actividades que se desarrollan en la UDIT, siempre dentro del campo de la instrumentación astronómica. Campo que, a pesar de ser apasionante y extenso (no en vano implica hasta cuatro disciplinas: óptica, mecánica, electrónica y *software*), dejaría fuera cuestiones no menos excitantes. Y es que en el mundo exterior, más allá de la calle Sancho Panza, se plantean retos tecnológicos de lo más dispares, sobre los

cuales todos nos hemos hecho preguntas alguna vez. En esta sección vamos a intentar dar respuesta a esas preguntas. Por una parte, para satisfacer nuestra sana e innata curiosidad (¿Cómo se las arregló el ordenador *Deep Blue* para derrotar a Kasparov? ¿Qué microprocesador anima los movimientos y tendencias alcohólicas del Bender de Futurama? ¿Está justificada la expresión que puede leerse en los labios de los futbolistas – ¡JABULANI! – cuando tiran fatal una falta?). Por otra, para satisfacer nuestros deseos más íntimos e inconfesables (¿Qué haría yo con una capa de invisibilidad como la de Harry Potter? ¿Para cuándo un robot que me limpie la casa? ¿Podría aprender a tocar la guitarra sin tener que pensar cómo mover los dedos?) a través de soluciones tecnológicas que, a veces, están mucho más cerca de hacerse realidad de lo que pensamos.

Para abrir boca, en este primer número planteamos una pregunta tecnológica a la que se dará respuesta en el número siguiente. Como no podía ser de otra forma, hace alusión al nombre de esta nueva sección:

la pregunta:

¿Puede una cucaracha entrar en una sala limpia?

A) NO, POR SUPUESTO.

B) SÍ, SI RELLENA EL FORMULARIO DE RESERVA.

C) SÍ, SI RELLENA EL FORMULARIO DE RESERVA Y UTILIZA VESTIMENTA DESECHABLE.

D) SÍ, LA NORMATIVA NO LO IMPIDE.



[dibujo: Miguel Abril]

*La Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDIT) desde donde escribe el autor se halla frente al edificio donde se editan y maquetan estas páginas (la calle Sancho Panza separa ambos edificios).

¿CÓMO SE FORMAN LOS AGUJEROS NEGROS?

Pilares científicos

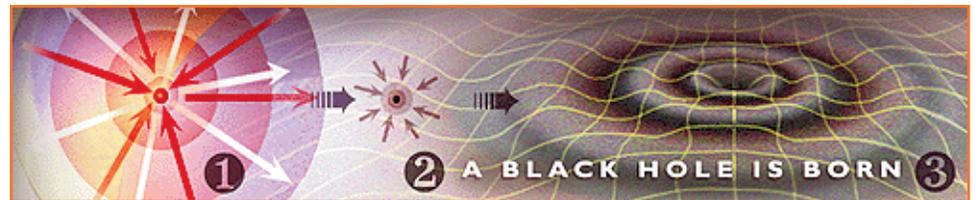
Separemos con una red imaginaria un conjunto de materia del resto del universo. Cualquier materia vale, unos trozos de hierro, un cubo de agua, una casa, la Tierra entera, el Sol o una galaxia completa con todas sus estrellas. Construimos ahora un fino *hula hoop* con circunferencia en metros igual a $1,48 \times 10^{-27}$ veces la masa total en kilogramos del conjunto de materia elegido. Si conseguimos compactar toda esa materia (como hacen los camiones de la basura) hasta que pueda pasar por dentro del *hula hoop* en cualquier dirección, habremos conseguido formar un agujero negro.

Un trozo de hierro, o el Sol entero, gravita sobre sí mismo, esto es, intenta encogerse por efecto de la gravedad. Sin embargo, las fuerzas estructurales del material (la presión del gas en el caso del Sol) son demasiado poderosas como para dejarse ganar por la tenue fuerza de la gravedad. Sin embargo, cuando la materia es muy compacta en relación a su masa total, la fuerza de la gravedad siempre acaba ganando, produciendo el colapso sobre sí misma de la materia en cuestión y generando así un agujero negro. Para hacernos una idea de los números involucrados, si consiguiéramos compactar la Tierra hasta que tuviera el tamaño de una típica canica de cristal, se convertiría en un agujero negro. Sin embargo, no tenemos que asociar necesariamente agujero negro con densidades gigantescas. Cuanta más materia tengamos para formar un agujero negro la densidad que es necesario alcanzar en la compactación es menor. Nuestra galaxia se convertiría en un agujero negro con solo que la contrajésemos hasta ocupar una región de diez años luz de radio, momento en el que tan siquiera habría alcanzado la densidad del aire que nos envuelve.

Sin embargo, una cosa es lo que nos dice y permite la teoría general de la relatividad, la teoría más precisa de que disponemos para describir los efectos gravitatorios, y otra cosa el camino que utiliza la naturaleza para formar agujeros negros. Antes de llegar al tamaño crítico de agujero negro, para que la mate-

ria vaya compactándose se necesita que sea capaz de disipar energía en forma de radiación. La materia a grandes escalas es poco disipativa, por lo que se favorece que las estructuras o grumos de materia que se encogen más rápidamente gracias a la gravedad sean los más pequeños (es lo que se conoce como formación jerárquica de estructuras). Pero precisamente una pequeña cantidad de gas en contracción inmedia-

SI CONSIGUIÉRAMOS COMPACTAR LA MASA DE NUESTRO PLANETA EN EL TAMAÑO DE UNA CANICA DE CRISTAL SE CONVERTIRÍA EN UN AGUJERO NEGRO



tamente encuentra fuerzas estructurales que la mantienen lejos de formar un agujero negro. Una cantidad de gas como la que forma nuestro Sol al contraerse empieza a generar reacciones termonucleares que proporcionan una tremenda presión y detienen la contracción gravitatoria. Cuando el combustible de estas reacciones se acaba, la estrella vuelve a colapsar (tras pasar por una fase de gigante roja) hasta llegar a lo que se conoce como fase de enana blanca. Aquí un nuevo tipo de presión vuelve a soportar la estructura. Esta presión tiene un origen cuántico y se basa en la aversión que tienen los electrones de los átomos de materia a estar demasiado juntos. Esta es una propiedad comprobada de la física de las partículas elementales que poseen un espín semi-entero. Podemos imaginar el espín de las partículas elementales como si estas giraran sobre sí mismas, y espín semi-entero identifica una propiedad de giro especial en la que la partícula tiene que dar dos vueltas sobre sí misma para volver a su situación inicial; los constituyentes fundamentales de la materia, los electrones, los protones y los neutrones poseen esta propiedad. Una enana blanca aislada se va apagando progresivamente hasta quedar como un estructura inerte que se conoce como enana

marrón. Ni rastro de un agujero negro. Si el gas inicial que forma la estrella contiene varias veces la masa del Sol, cuando se acaba el combustible termonuclear el colapso de la estructura deriva en el fenómeno conocido como supernova: una explosión de enormes proporciones. En ella gran parte de la materia de la estrella progenitora es expulsada al medio interestelar. A su vez, el núcleo restante forma una estrella de neutrones. Una vez más la repulsión debida a los espines, ahora de los neutrones, contrarresta a la gravedad. Una estrella de neutrones tiene una densidad gigantesca y un tamaño de unas dos veces el

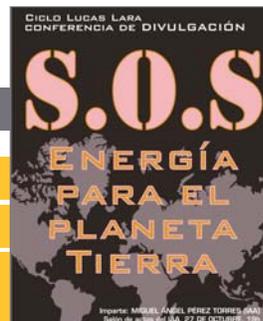
SI LANZAMOS MATERIA ADICIONAL SOBRE UNA ESTRELLA DE NEUTRONES, AL FINAL LA ESTRUCTURA COLAPSARÁ SOBRE SÍ MISMA PARA FORMAR UN AGUJERO NEGRO

tamaño crítico que la convertiría en agujero negro.

Sin embargo, la relatividad general nos dice que la repulsión de los espines no puede soportar estructuras con una masa mayor de unas tres veces la masa del Sol. Si lanzamos materia adicional sobre una estrella de neutrones, al final la estructura colapsará sobre sí misma para formar un agujero negro. Si la masa de la estrella progenitora es extremadamente alta (más de cien veces la masa del Sol) también puede suceder que en su explosión como hipernova (forma muy energética de supernova con emisión de rayos gamma) el núcleo tenga un sobrepeso que lo lleve directamente a formar un agujero negro. Todo indica que estas dos vías son las que llevan a la formación de los objetos extremadamente oscuros y compactos que se han detectado. Que realmente tengan un tamaño menor que el crítico es algo que todavía desconocemos. Mientras no se demuestre lo contrario, seguiremos llamándolos agujeros negros.

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

27 oct	Miguel Ángel Pérez Torres (IAA)	S.O.S: Energía para el planeta Tierra
24 nov.	Francisco Garzón (IAC)	La Vía Láctea en infrarrojo
15 dic.	Alberto Castro Tirado (IAA)	50 años del vuelo al espacio de Gagarin: El primer hombre en el espacio



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

SEMANA DE LA CIENCIA 2011

Este año celebramos el **quinto aniversario** del ciclo Noches de Ciencia, organizado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía para la Semana de la Ciencia. Y hemos preparado algo especial: bajo el título "Con los ojos como platos" y el lema "Contarán lo que quieran pero lo harán muy bien: ¡¡100% garantizado!!", queremos que el público entre en la sala solo con una idea tentativa de lo que va a escuchar y salga absolutamente maravillado con lo que ha oído.

Hemos pedido a los conferenciantes que preparen la mejor charla de su vida, sin temas ni ejes predefinidos. Estos serán los encargados de dejarnos boquiabiertos:

MARTES 8 NOV: Xurxo Mariño. Especialista en neurociencia, aunque también le hemos visto en la tele, en blogs de divulgación y mezclando a Darwin con el teatro.

MIÉRCOLES 9 NOV: Fernando Ballesteros. Astrofísico. Sus intereses incluyen desde las "gramáticas extraterrestres" hasta los sonidos de la ciencia. Seguro que nos sorprende.

JUEVES 10 NOV: Miguel Ángel Sabadell. Físico y divulgador. En su blog habla igual de bien sobre las leyes de la termodinámica como sobre la historia de la caza de brujas, los números de Fibonacci o el comportamiento animal.

MIÉRCOLES 16 NOV: Miguel Abril. Especialista en terremotos, también es ingeniero electrónico y le encantan los robots. Ya intervino en la edición de 2010 con un éxito abrumador.

JUEVES 17 NOV: Ana García Bueno. Restauradora. Emplea tan a menudo microscopios electrónicos, espectroscopía o rayos X como el bisturí, los pinceles o el yeso. Sabe "ver" a través de los cuadros.

VIERNES 18 NOV: Matilde Barón. Bioquímica, apasionada de la divulgación y coorganizadora de las ediciones anteriores de Noches de Ciencia: cerrará el ciclo con un dueto especial. No sabemos a quién traerá pero seguro que nos dejan con los ojos como platos.

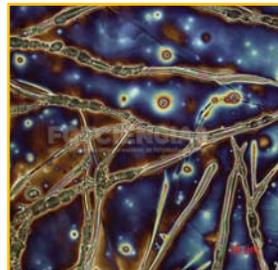
¡retransmisión online!!
www.iaa.es/scyt2011

DESTACADOS

FOTCIENCIA

Hasta el 31 de octubre se pueden presentar imágenes a FOTCIENCIA, un certamen de fotografía científica convocado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). En la página web pueden consultarse las galerías de imágenes correspondientes a las ediciones anteriores.

<http://www.fotciencia.es>



CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

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).