

## RADIOGALAXIAS LEJANAS

Radiogalaxias lejanas:  
nacimiento e infancia de las  
galaxias gigantes

Huygens en Titán: desvelando  
misterios, generando incógnitas

Estallidos de rayos gamma de corta  
duración: un nuevo campo por explorar

La radiogalaxia 3C433. Fuente: NRAO/AUI.

# SUMARIO

## REPORTAJES

Radiogalaxias lejanas. Nacimiento e infancia de las galaxias gigantes. *Montserrat Villar y Miguel Ángel Pérez Torres*.....3

Huygens en Titán. Desvelando misterios, generando incógnitas. *Rafael Rodrigo*.....7

Estallidos de rayos gamma de corta duración: un nuevo campo por explorar. *Javier Gorosabel*.....10

## NOTICIAS

Acercándonos al centro de la Vía Láctea.....13

La extraña vagabunda.....14

¿Nuevo tipo de agujero negro?.....15

## HISTORIAS DE ASTRONOMÍA

El harén de Pickering .....16

ASTROFÍSICA EN BREVE .....17

ACTIVIDADES IAA .....18

## AGENDA

Huygens en Titán, concepción artística. Fuente: ESA.

Director: José M. Vílchez. Jefa de ediciones: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Antonio Alberdi, Emilio J. Alfaro, José María Castro, Olga Muñoz, Miguel Ángel Pérez-Torres, Jose Carlos del Toro Iniesta, José M. Vílchez. Edición y diseño: Silbia López de Lacalle. Maquetación: Silbia López de Lacalle y Francisco Rendón. Imprime: ELOPRINT S.L.

Esta revista se publica con la ayuda de la Acción Especial DIF 2003-10261-E del Programa Nacional de Difusión de la Ciencia y la Tecnología.

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

### FE DE ERRATAS

En el artículo sobre la misión Deep Impact (numero 17, pág. 5) de la revista IAA se presentaron algunas afirmaciones que pudieran no ser exactas o debieran ir acompañadas de explicación más extensa en este medio. En esta sección pretendemos ampliar y/o rectificar el contenido de las cuestiones más sobresalientes:

>> "...cometa de corto período, es decir, procedente del Cinturón de Kuiper". Debe leerse como "cometa de corto período procedente del

Cinturón de Kuiper" o "cometa de la familia de Júpiter, es decir, procedente del Cinturón de Kuiper" ya que hay cometas de corto período que no proceden de cinturón de Kuiper.

>> "... le da su singular apariencia es la luz que emiten los gases de su coma (la 'cola' del cometa), que reaccionan a la del Sol de manera similar a los gases nobles de los tubos fluorescentes". Esta expresión encerraría una descripción metafórica. La "coma" de un cometa es diferente de su "cola". La primera es la envoltura aproximadamente esférica que rodea al núcleo

donde la presión de radiación todavía no ha llegado a "reducir" la velocidad de expansión de las partículas de polvo. En la cola (de polvo), alargada y con dirección antisolar, el movimiento de las "partículas" se encuentra regido por la presión de radiación y la gravedad solar.

>> "Queda también por conocer si la estructura interna del cometa difiere mucho de la que muestra su superficie". Desgraciadamente, aún no conocemos bien cómo es la superficie de un cometa, o cuál es la estructura que muestra la superficie.

RADIOGALAXIAS LEJANAS:

# Nacimiento e infancia de las galaxias gigantes

Montserrat Villar y  
Miguel Ángel Pérez Torres (IAA)

**H**ace más de diez mil millones de años, cuando las galaxias eran jóvenes y empezaban a agruparse para formar las primeras galaxias gigantes y los primeros cúmulos de galaxias, existían ya agujeros negros de masas enormes, de hasta mil millones de masas solares. Estos agujeros negros permanecen, como un araña en su telar, a la espera de que material apetitoso (estrellas y gas) se acerque fatalmente para engullirlo. La digestión es pesada y desencadena una serie de fenómenos enormemente energéticos que, en algunos casos, pueden detectarse hasta los confines del Universo observable.

El caso quizá más espectacular sea el de las radiogalaxias. Mientras las galaxias normales suelen emitir la mayor parte de su energía en longitudes de onda visibles, las radiogalaxias emiten en longitudes de onda de radio una energía que es comparable, e incluso decenas o centenas de veces mayor, a la energía emitida por la galaxia en el resto del espectro electromagnético. La imagen óptica de una radiogalaxia cercana muestra una galaxia elíptica aparentemente normal. Sin embargo, el aspecto de la galaxia en longitudes de onda de radio es extraño y llamativo. Vemos dos lóbulos (Fig. 1), que se hallan separados del núcleo galáctico por distancias de hasta varios millones de años luz y se extienden mucho más allá de los confines de la galaxia. A menudo se observan también chorros muy colimados de material eyectado por el núcleo, que se abren paso a través de la galaxia a velocidades que se aproximan a la de la luz. La fuente de energía que alimenta estas estructuras es el agujero negro supermasivo localizado en el núcleo de la galaxia.

## La radiogalaxias como herramienta cosmológica

Uno de los objetivos fundamentales de la

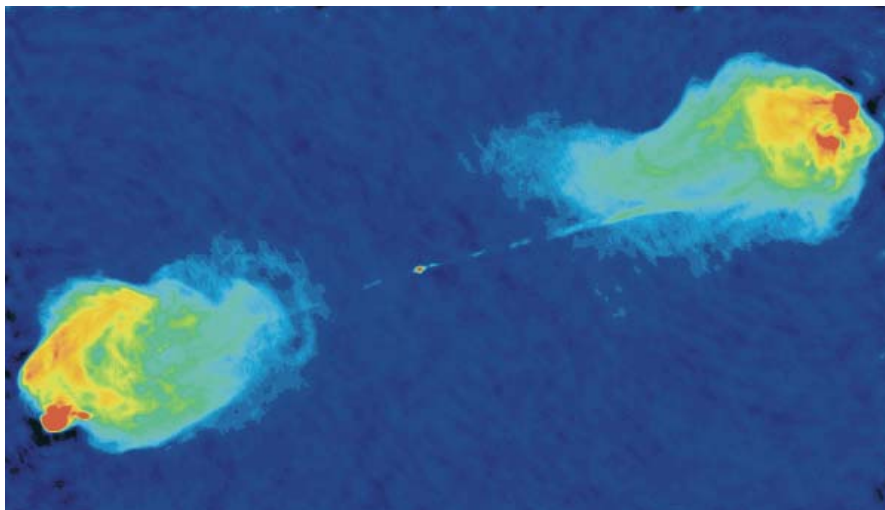


Fig. 1: Imagen de una radiogalaxia en longitudes de onda de radio. El código de colores indica, en orden creciente, del azul al rojo, la emisión en radio. Dos lóbulos de gran tamaño dominan la apariencia del objeto. Chorros de material altamente colimado son expulsados desde el núcleo hacia el exterior de la galaxia. Cuando los chorros impactan con el medio intergaláctico, el chorro deja de ser colimado y empieza a formarse el lóbulo. La galaxia, tal y como la veríamos con nuestros ojos, ocuparía solo el punto rojo central, mientras que la radiogalaxia se extiende en ocasiones hasta varios millones de años luz, un tamaño similar al que ocuparían más de cincuenta galaxias como la nuestra. Fuente: NRAO.

Astrofísica es el estudio de la época cósmica en la que se ensamblaron las primeras galaxias. De ahí que los astrónomos hayamos perseguido con ahínco la posibilidad de alejar cada vez más el límite del Universo observable. Las radiogalaxias, gracias a su enorme luminosidad en longitudes de onda de radio y a la fuerte emisión de su espectro óptico, se han convertido en una de las mejores herramientas de estudio del Universo temprano, ya que es posible detectarlas a enormes distancias. De hecho, en la década de los 80, las radiogalaxias eran las galaxias más distantes conocidas en el Universo, pues emitieron la luz que hoy vemos con nuestros telescopios cuando el Universo contaba tan solo con unos 2.500 millones de años, aproximadamente un 18% de su edad actual, cifrada en 13.700 millones de años. Al representar las radiogalaxias las primeras etapas en la formación de galaxias gigantes, las radiogalaxias ocuparon un papel fundamental en Cosmología.

En efecto, las radiogalaxias lejanas pre-

sentaban tres características muy llamativas: una elevada intensidad de la emisión de hidrógeno ionizado, el color muy azulado de su radiación óptica y una morfología irregular y con múltiples componentes. Estas propiedades eran las que los astrónomos esperaban encontrar en galaxias cuya formación apenas hubiera comenzado. Se pensó por ello que las radiogalaxias más distantes se hallaban en formación.

Sin embargo, dos grupos de astrónomos publicaron, a finales de los 80 y de modo independiente, un resultado asombroso: las estructuras observadas en imágenes tomadas en el óptico de radiogalaxias lejanas presentaban un estrecho alineamiento con el eje definido por las estructuras observadas en radio. Este dato observacional alertó a los astrónomos sobre la posibilidad de que las propiedades ópticas de las radiogalaxias pudieran ser el resultado de la actividad nuclear originada en el agujero negro supermasivo, en lugar de ser indicativos de formación estelar a gran

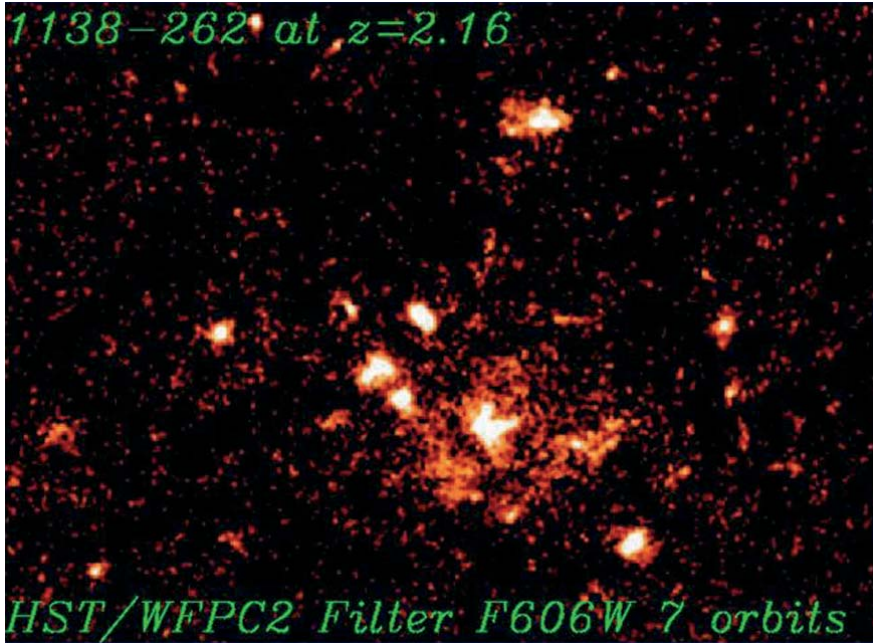
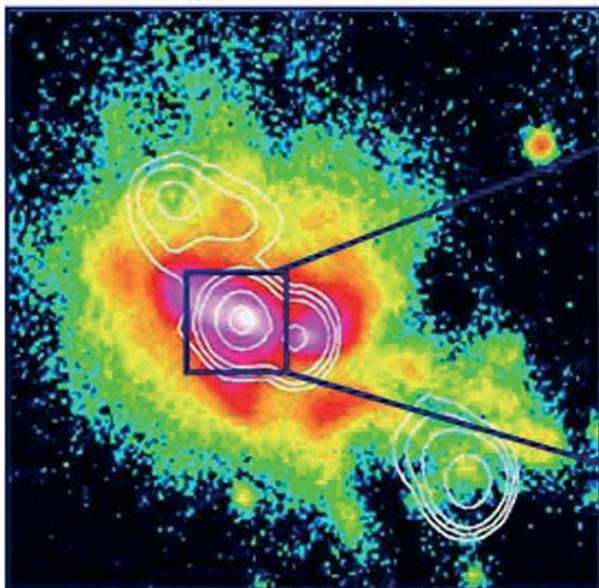


Fig. 2. Imagen óptica, obtenida con el Telescopio Espacial Hubble, de una radiogalaxia lejana observada cuando el Universo tenía unos 3.000 millones de años (su edad actual es de unos 13.700 millones de años). El aspecto irregular y con múltiples componentes (en color naranja y blanco) de la radiogalaxia sugiere que se trata de un sistema de galaxias en interacción con intensa formación estelar.



Nebulosa gigante asociada con una radiogalaxia distante.



Varias decenas de galaxias similares a nuestra Vía Láctea cabrían dentro de la nebulosa.

escala, como se esperaría de una galaxia en formación. Quedó claro que era crucial entender cómo la actividad nuclear del agujero negro distorsionaba las propiedades observadas de las radiogalaxias, antes de extraer conclusiones sobre su estado evolutivo.

### La crisis del sector

La década de los 90 vivió un cambio importantísimo en los estudios del Universo temprano, provocado por el descubrimiento de una población de galaxias tan distantes como las radiogalaxias más lejanas conocidas entonces. Son las llamadas galaxias del "corte de Lyman", por la

técnica utilizada para identificarlas, y que muestran una intensa actividad de formación estelar, pero sin signos aparentes de fenómenos asociados con un agujero negro supermasivo. Las radiogalaxias perdieron así su papel protagonista en Cosmología, pues dejaban de ser las galaxias más distantes conocidas. Al hacer su aparición las galaxias del corte de Lyman, se contaba con una familia numerosa, compuesta por docenas de galaxias lejanas (miles en la actualidad), candidatas excelentes para realizar estudios cosmológicos, y cuyas propiedades podían interpretarse con la existencia de gas, polvo y estrellas, sin la complicación añadida de un agujero

negro nuclear.

El estudio de las radiogalaxias distantes perdió interés a medida que terminaba la década de los 90. Hubo una "migración" de astrónomos, que dejaron el tema de investigación de las radiogalaxias para dedicarse al campo más novedoso y competitivo abierto con el descubrimiento de las galaxias del corte de Lyman. Del mismo modo que las nuevas tecnologías han obligado a muchos trabajadores y empresarios a replantearse cómo podían hacer competitiva su actividad profesional, los expertos en radiogalaxias se plantearon la siguientes cuestiones: 1) ¿Tiene sentido seguir estudiando las radiogalaxias

lejanas? 2) ¿Qué hace su estudio competitivo y único? Con otras palabras, ¿qué información pueden aportarnos las radiogalaxias lejanas que no podemos obtener con otras "familias" de galaxias distantes como las del corte de Lyman?

## La reconversión del sector

Allá por el año 2000, la dura competición de las radiogalaxias con esa nueva y fascinante área de investigación impulsada por el descubrimiento de las galaxias del corte de Lyman parecía insalvable, pues el número de radiogalaxias lejanas conocidas seguía siendo de apenas unas docenas, mientras ya se habían descubierto más de mil galaxias del corte de Lyman, y este número no cesaba de aumentar. Esta crisis tuvo el efecto positivo, al conseguir un gran avance en atribuir a las radiogalaxias su verdadero papel en Cosmología, entre la pléora de galaxias lejanas conocidas hoy. Esta necesaria "reconversión" del sector se ha realizado gracias a la obtención de varios resultados observacionales de gran trascendencia, gracias a los que el interés en este campo se ha reactivado de forma importante. Entre estos resultados cabe destacar los siguientes:

1. Las radiogalaxias lejanas son progeni-

toras de las galaxias elípticas gigantes que vemos en el Universo cercano. Con el paso del tiempo, las radiogalaxias se convertirán en galaxias elípticas gigantes. Por tanto, las radiogalaxias más alejadas son estupendos laboratorios para estudiar el nacimiento y la infancia de las galaxias más masivas que conocemos.

2. Una fracción importante de las radiogalaxias más lejanas podría hallarse en proceso de formación. Esto lo sugiere la morfología óptica, que revela multitud de componentes que están formando estrellas muy activamente, similares a los observados en galaxias en interacción (Fig.2).

3. Las radiogalaxias lejanas se hallan frecuentemente rodeadas por nebulosas gigantes y de enorme luminosidad. En efecto, estas nebulosas tienen tamaños de varios cientos de miles de años luz, suficiente para albergar decenas de galaxias como nuestra Vía Láctea en una sola de ellas (Fig.3). Diversos autores han propuesto que estas nebulosas constituyen la reserva gaseosa a partir de la que la galaxia central comenzó a formarse y que, en algunos casos, tal vez aún esté formándose.

4. Las radiogalaxias distantes habitan en ambientes ricos, es decir, están rodeadas de un número elevado de galaxias com-

pañeras. Algunos resultados observacionales refuerzan la idea de que estas radiogalaxias se hallan en el centro de cúmulos de galaxias en formación. Gracias a su gran brillo, las radiogalaxias constituyen una valiosa herramienta para identificar y estudiar cúmulos de galaxias en el Universo lejano. De hecho, es muy posible que sean trazadores de las regiones más densas del Universo conocido.

En resumen, las radiogalaxias lejanas siguen desempeñando un papel fundamental en los estudios cosmológicos, pues nos aportan información única sobre el proceso de formación y la infancia de las galaxias más masivas que conocemos, así como de los cúmulos de galaxias. En los próximos diez años, el proyecto ALMA (la red milimétrica de telescopios en Atacama, Chile; ver número anterior de la revista) permitirá ampliar el Universo observable hasta límites insospechados hace apenas diez años, y supondrá un gran avance en nuestra comprensión del Universo lejano en general y de las radiogalaxias más distantes en particular. ALMA será la gran máquina del tiempo: nos permitirá viajar atrás en la vida del Universo y ver cómo fueron su nacimiento y su infancia, y entender cómo y cuándo se formaron las primeras galaxias.

## EL PROBLEMA DE LAS NEBULOSAS GIGANTES

Montserrat Villar (IAA)

Las radiogalaxias lejanas se hallan inmersas en regiones gaseosas (nebulosas) gigantes, que podrían albergar varias decenas de galaxias como la Vía Láctea (ver Fig. 3). Pueden alcanzar extensiones enormes de varios cientos de miles de años luz. Este tamaño es equivalente a varias veces la distancia que nos separa de las Nubes de Magallanes. No conocemos nebulosas tan grandes en el Universo cercano y el misterio de su origen ha traído de cabeza a los investigadores desde su descubrimiento hace casi veinte años.

La idea de que estas nebulosas gigantes son la gran reserva gaseosa a partir de la que comenzó a formarse la galaxia central cobra cada vez más adeptos entre los astrónomos. Esta interpretación ha adquirido más fuerza gracias al trabajo publicado recientemente por un equipo internacional de astrofísicos liderado por la autora de este artículo, investigadora Ramón y Cajal del Departamento de Astronomía Extragaláctica del IAA (CSIC).

Los modelos más populares que tratan de explicar cómo se formaron las primeras galaxias predicen que todo comienza con el colapso de una gigantesca reserva de gas muy caliente (varios millones de grados centígrados) bajo el efecto implacable de la

fuerza gravitatoria. Durante este proceso, el gas se va enfriando y una parte del mismo se fragmenta en porciones pequeñas y densas. Se trata de los "ladrillos" galácticos que, amalgamándose unos con otros, darán lugar a la formación de una galaxia más masiva. Por tanto, un ingrediente fundamental en el escenario de la formación de una galaxia masiva es una nebulosa gigante en proceso de colapso.

Este grupo de investigación ha estudiado durante varios años las propiedades de las nebulosas que rodean a las radiogalaxias distantes, utilizando fundamentalmente datos de espectroscopía e imagen con los que han realizado análisis detallados de la morfología de las nebulosas, los elementos químicos que contiene el gas y sus movimientos. Con sus investigaciones han demostrado que las propiedades de las nebulosas gigantes que rodean a las radiogalaxias son similares a las predichas por los modelos de formación de galaxias. Aunque el trabajo continúa para poner a prueba escenarios alternativos, todo ello sugiere que podríamos estar presenciando el verdadero nacimiento de las galaxias más masivas que conocemos.

(Referencias útiles: Villar Martín et al. 2005, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*, en prensa; Villar Martín et al. 2003, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 346, 273).

## EL NÚCLEO DE J2330+3927

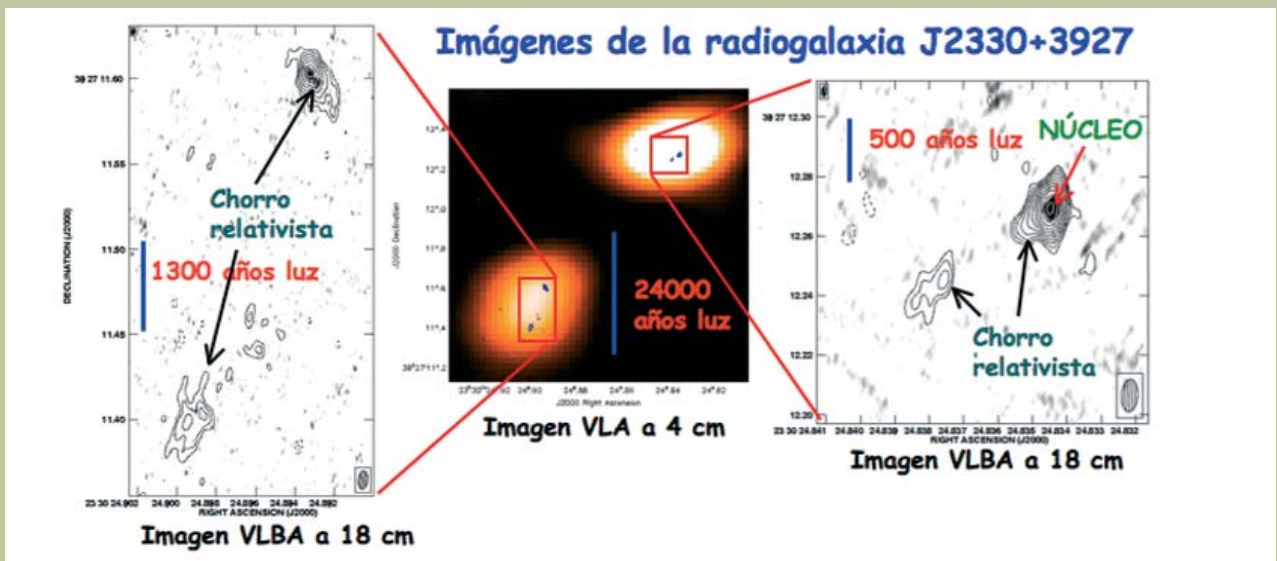
Miguel Ángel Pérez Torres (IAA)

Las radiogalaxias lejanas se encuentran tan distantes de nosotros que toda la luz que recibimos, incluida la que captan los radiotelescopios, se emitió hace más de diez mil millones de años. En esa época, ni la Tierra ni el Sol habían nacido, y nuestra galaxia, la Vía Láctea, aún no era la galaxia que hoy conocemos. Por ello, el estudio de las radiogalaxias lejanas nos ayuda a entender cómo se formaron las primeras galaxias gigantes en el Universo, y de ahí que los astrofísicos utilicen los telescopios más grandes y sensibles para observarlas con detalle. Sin embargo, la enorme distancia que nos separa de las radiogalaxias hace que aparezcan como "puntos gordos" en las imágenes, incluso utilizando los radiotelescopios más grandes de que disponemos. De hecho, para un estudio detallado necesitaríamos construir un radiotelescopio que fuera del tamaño del radio terrestre, unos 6.500 kilómetros. Incluso si tuviéramos el dinero para construir una antena tan espectacular, la obra de ingeniería sólo sería realizable en nuestra imaginación, y equivaldría a construir la "Estrella de la Muerte", la gigantesca nave -del tamaño de la Luna- que destruye Luke Skywalker en la primera entrega de la saga de la Guerra de las Galaxias. ¿Qué hacer entonces?

Por suerte, hace años que los radioastrónomos descubrieron un modo de obtener imágenes de alta resolución sin tener que construir radiotelescopios monstruosamente grandes. El truco consiste en observar simultáneamente la radiogalaxia con varios radiotelescopios de dimensiones más "manejables", digamos del tamaño de una piscina municipal (25 metros de largo), y después combinar esa información. Si observamos con varios de estos radiotelescopios, separados por una distancia de 6.500 kilómetros, la resolución total que obtenemos equivale a la de un radiotelescopio que tuviera un diámetro de 6.500 kilómetros. Puede parecer magia, pero no es más que Física: la técnica se conoce como radiointerferometría, y permite la obtención de imágenes de obje-

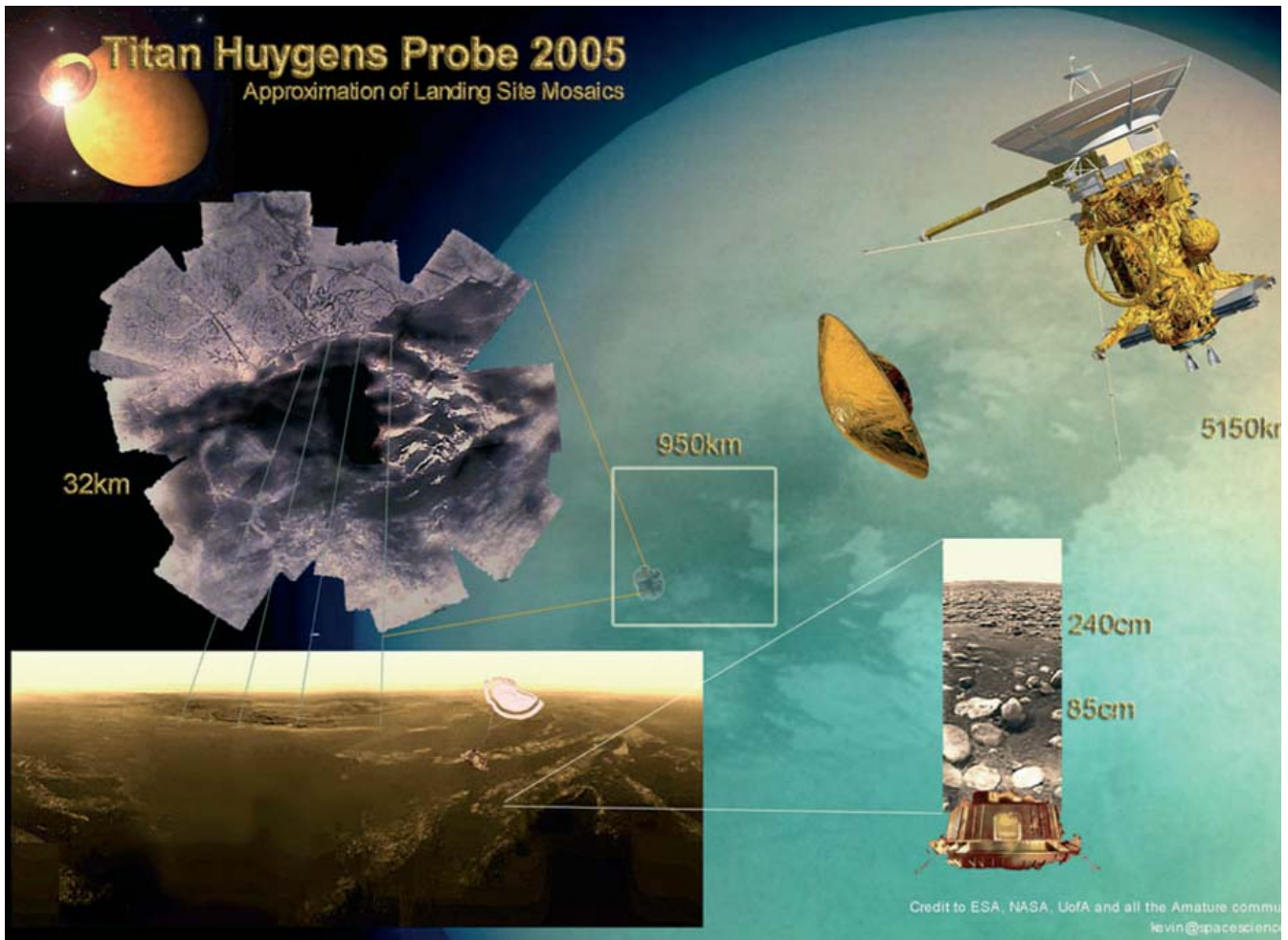
tos hasta 100.000 veces más pequeños que los que podemos observar con un único radiotelescopio.

Recientemente, un equipo internacional de astrofísicos liderado por el autor de este artículo, investigador Ramón y Cajal del grupo de radioastronomía del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha utilizado el radiointerferómetro VLBA (una red de diez antenas idénticas de 25 metros de diámetro repartidas por todo el territorio de los Estados Unidos) para observar la radiogalaxia J2330+3927, situada a 11.300 millones de años luz de nosotros. Los resultados de las observaciones han aparecido publicados en la revista especializada *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Las observaciones han permitido obtener imágenes de altísima resolución espacial de las partes más internas de una radiogalaxia, cuando el Universo contaba con tan sólo 2.400 millones de años (un 18% de su edad actual). Con estas observaciones, el grupo de astrofísicos ha podido localizar claramente el núcleo de la radiogalaxia, el lugar donde se hospeda un hambriento agujero negro de hasta miles de millones de masas solares. La altísima resolución del VLBA también ha permitido distinguir detalles que eran invisibles con radiointerferómetros más pequeños (ver imagen inferior). Así, los astrofísicos han podido detectar tanto los potentes chorros relativistas de emisión en radio eyectados por el agujero negro, como la zona donde está localizado el lóbulo de fuerte emisión en radio que se origina cuando el chorro de material que expelle el núcleo choca con el medio externo a la radiogalaxia (ver también imagen). Resulta sobrecogedor pensar que un chorro relativista -fuertemente emisor y que marcha a velocidades muy cercanas a la de la luz- pueda alcanzar distancias tan grandes como la que separa nuestro planeta del centro de la Vía Láctea. Si un buen día el núcleo de nuestra galaxia lanzara un chorro así en nuestra dirección (también sería mala suerte, claro), a nuestra civilización le quedarían unos 25.000 años de vida. Por fortuna, los astrofísicos están convencidos de que el agujero negro de nuestra galaxia está profundamente dormido, y que su fase de actividad nuclear -si la ha tenido- pasó hace



HUYGENS EN TITÁN:

# Desvelando misterios, generando incógnitas



Rafael Rodrigo (IAA-CSIC)

El 15 de octubre de 1997 se lanzó, desde el Centro Espacial Kennedy en Cabo Cañaveral, la nave Cassini-Huygens con destino a Saturno y su satélite Titán. Esta misión, desarrollada por las agencias espaciales norteamericana, europea e italiana, consta de dos componentes: Cassini, un orbital dedicado al estudio de Saturno -su atmósfera, sus anillos, sus satélites y su entorno-, y Huygens, una sonda destinada al estudio de Titán, posiblemente el satélite más interesante del Sistema Solar. Se trata de la misión científica de exploración planetaria más ambiciosa de la historia del hombre y

la más importante de las planeadas para los próximos años.

En su largo camino hacia Saturno, el vehículo realizó dos pasos por Venus y uno por la Tierra, y cruzó el cinturón de asteroides hasta sobrevolar Júpiter en diciembre del 2000. Tras esta última asistencia gravitatoria, Cassini llegó a Saturno a mediados de 2004. Después de situarse en órbita alrededor del planeta, el 25 de diciembre se liberó la sonda Huygens hacia Titán y, después de un viaje de tres semanas, el 14 de enero de 2005 inició su descenso hacia la superficie del satélite, en la que aterrizó suavemente mediante un sistema de paracaídas. Ese día, tras un periplo de más de siete años y con unos

3.700 millones de kilómetros recorridos, se recibían los primeros datos que la sonda proporcionó de Titán, tras viajar estos 1.250 millones de kilómetros.

Titán, la segunda luna más grande del Sistema Solar y mayor incluso que Mercurio, es un mundo masivo y frío capaz de retener una atmósfera más densa que la de la Tierra y compuesta, como la terrestre, principalmente por nitrógeno molecular ( $N_2$ ). Constituye la atmósfera más parecida a la que respiramos, aunque prácticamente carece de oxígeno y entre sus compuestos minoritarios destacan el metano, etano y otros hidrocarburos y nitrilos. Su temperatura es muy inferior a la de la Tierra y su evolución ha sido muy

diferente, pero sus condiciones actuales se asemejan a las que existían en nuestro planeta hace unos tres mil millones de años, antes de que comenzara la vida. Así, el conocimiento de los ciclos orgánicos que tienen lugar en la atmósfera de Titán ayudará a la reconstrucción de los pasos que condujeron a la aparición de la vida en nuestro planeta.

La temperatura extremadamente baja de Titán mantiene el agua congelada y provoca la pérdida del vapor de agua -la fuente principal de oxígeno-, por lo que Titán ha conservado una atmósfera primitiva rica en hidrógeno. El principal compuesto que contiene carbono no es, como en los planetas terrestres, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sino el metano (CH<sub>4</sub>). A partir del metano y del nitrógeno molecular se forman, en las capas altas de la atmósfera, los hidrocarburos y compuestos de carbono-nitrógeno complejos, como subproductos de la fotodisociación por la radiación solar ultravioleta y por el bombardeo de partículas energéticas de la magnetosfera de Saturno, y se producen espesas capas de nubes con distintos tipos de aerosoles que hasta ahora han impedido estudiar tanto la baja atmósfera como la superficie del satélite.

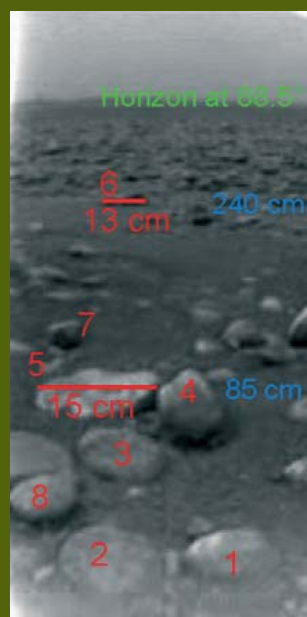
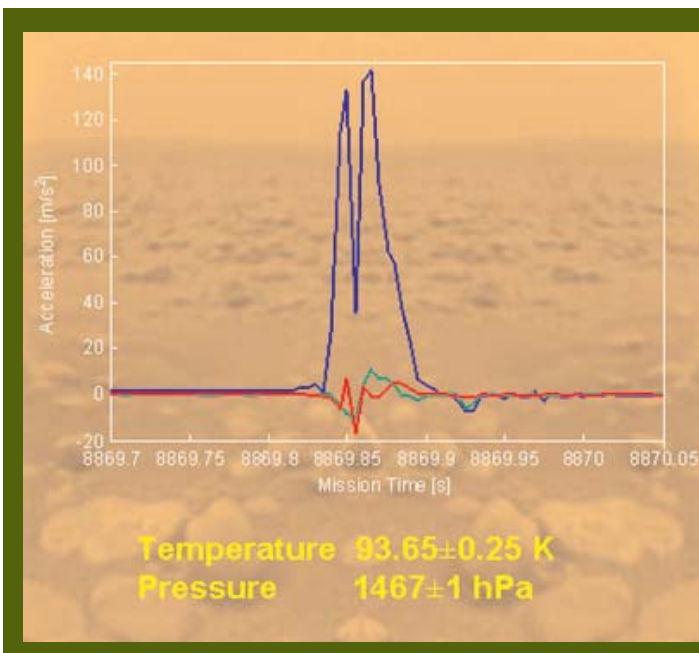
Había que ir allí para "ver y tocar" y, tras el descenso de la sonda Huygens, los datos están desvelando algunos de los misterios que envuelven a Titán. Uno de los aspectos más intrigantes es el origen del nitrógeno molecular y del metano de la atmósfera y los mecanismos que los mantienen, así como la naturaleza de los

aerosoles. Debido a la fotodisociación del metano, éste desaparecería en tan solo unos 10 ó 20 millones de años. Por tanto, es necesario considerar un mecanismo capaz de reponer esta pérdida continua. Una posibilidad, que está sustentada por la medidas isotópicas realizadas por el *Gas Chromatograph and Mass Spectrometer* (GCMS), es el criovulcanismo u otro mecanismo similar que arroje este material desde el interior. GCMS detectó un isótopo del argón, <sup>40</sup>Ar, que se origina a partir de la desintegración radiactiva del potasio existente en las rocas y predominantemente bajo el manto helado de la superficie del satélite. La atmósfera contiene trazas de <sup>36</sup>Ar, lo que proporciona importantes restricciones sobre las condiciones en las que se formó Titán. El nitrógeno de Titán llegó en los planetesimales como una mezcla de compuestos nitrogenados, dominados presumiblemente por el amoníaco (NH<sub>3</sub>) -como en la Tierra- y no como N<sub>2</sub>. El N<sub>2</sub> es atrapado solamente en planetesimales helados de la clase que formaron Titán a temperaturas menores que 45K, a las que también puede capturar una gran fracción de <sup>36</sup>Ar ambiental. Sin embargo, componentes como el amoníaco pueden ser atrapados a temperaturas mucho más altas sin que se incorpore el argón primordial.

El instrumento GCMS también midió un empobrecimiento del isótopo <sup>14</sup>N, lo que indica que una cantidad de nitrógeno molecular cinco veces superior a la actual ya ha escapado de la atmósfera de Titán. El carbono presente en el metano no muestra esa anomalía en su composición isotópica, y surge de nuevo la hipótesis de un suministro continuo a la atmósfera. Los cálculos sobre el carbono indican que la cantidad presente ahora en la atmósfera debería ser entre cuatro y veinte veces mayor. En la Tierra, este carbono se encuentra en enormes depósitos de carbonatos situados en la corteza. En Titán, de nuevo la hipótesis de la existencia de una fuente geológica para el

metano con una posible reserva de clatratos almacenados en el interior se ve reforzada. Este metano también podría encontrarse "enjaulado" en estructuras con moléculas de agua formando clatratos hidratados bajo la corteza. La existencia de aerosoles en la atmósfera de Titán es bien conocida desde la llegada de las naves *Voyager* en los años 80. Estos tienen un papel principal en la determinación de la estructura térmica de la atmósfera: son sumideros de los gases orgánicos y pueden actuar como núcleos microscópicos de condensación en la formación macroscópica de nubes. El instrumento *Aerosol Collector and Pyrolyzer*

*La temperatura extremadamente baja de Titán mantiene el agua congelada y provoca la pérdida del vapor de agua -la fuente principal de oxígeno-, por lo que ha conservado una atmósfera primitiva rica en hidrógeno*



IZO. Fotografía de la superficie de Titán tomada en el punto de aterrizaje por el instrumento DISR (*Descent Imager/Spectral Radiometer*) a bordo de la sonda Huygens. La gráfica superpuesta muestra las medidas de los acelerómetros del instrumento HASI en el momento del impacto. La imagen de la derecha muestra las escalas sobre el terreno del impacto.



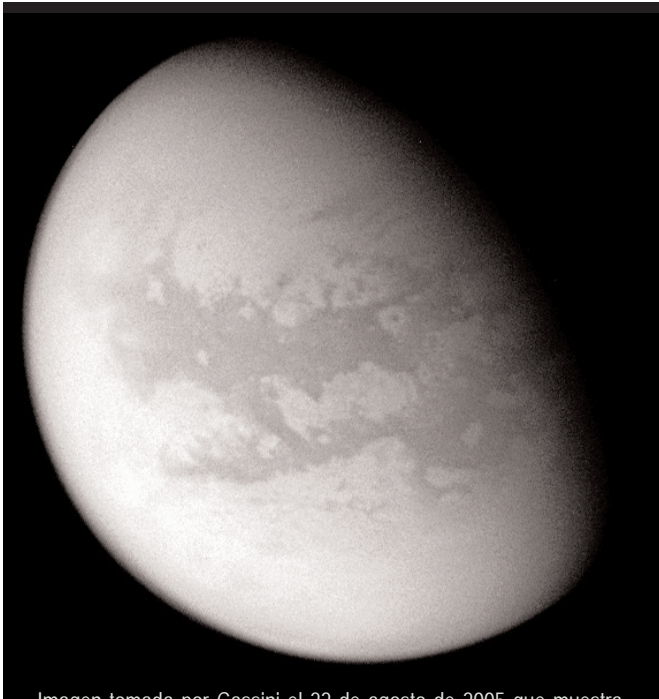
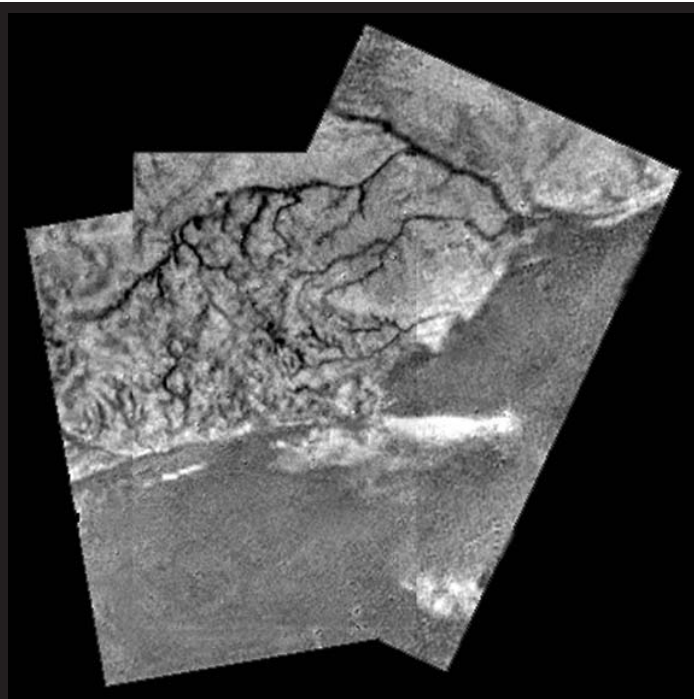


Imagen tomada por Cassini el 22 de agosto de 2005 que muestra algunas regiones en latitudes medias de Titán, en especial la región "Bazaruto Facula" en el centro con su cráter oscuro central.



Mosaico de imágenes tomadas por DISR durante su descenso que muestran típicos canales fluviales y una posible línea de costa.

capturó aerosoles y realizó un análisis químico in situ de los mismos por pirólisis a 600°C. Se ha identificado amoníaco y cianuro de hidrógeno, indicando que los aerosoles tienen un núcleo refractario orgánico. Estos pueden caer sobre la superficie de Titán como una especie de lluvia orgánica que produce una capa global que podría alcanzar un kilómetro de espesor. Esta lluvia, junto con la de metano, podría arrastrar otros compuestos orgánicos que, al depositarse sobre la superficie, formarían las áreas más oscuras observadas por varios instrumentos en el óptico.

El instrumento a bordo de Huygens en el que participa el IAA es el *Huygens Atmospheric Structure Instrument* (HASI). HASI ha estudiado las propiedades físicas de la atmósfera de Titán durante las fases de entrada y de descenso, y las de la superficie tras el aterrizaje, caracterizando la atmósfera en lo que a dinámica, densidad, temperatura, presión y propiedades eléctricas se refiere. Se ha medido la presión y la temperatura, desde los 160 kilómetros hasta la superficie, con una precisión mejor que un

*En Titán, de nuevo la hipótesis de la existencia de una fuente geológica para el metano con una posible reserva de clatratos almacenados en el interior se ve reforzada*

Kelvin, y con una resolución espacial mejor que cien metros. Por debajo de los sesenta kilómetros y hasta la superficie, la incertidumbre es de tan sólo  $\pm 0,25$  Kelvin y la resolución espacial mejor que quince metros. Tras el impacto, la sonda envió datos durante 69 minutos desde la superficie, que se encontraba a una temperatura de  $-179^\circ\text{C}$ . HASI ha medido también las propiedades eléctricas de la atmósfera y se trabaja en la interpretación de los datos y en la realización de modelos para describir correctamente

el comportamiento de la ionosfera media, descubierta por HASI y situada entre los 40 y 140 kilómetros de altura.

El aterrizaje tuvo lugar a una velocidad de unos 4,5 metros por segundo, sobre una superficie ni dura (como el hielo sólido) ni muy compresible (como un manto de aerosoles), sino más bien con propiedades análogas a una arcilla húmeda, a nieve ligeramente compactada o a arena mojada, según los datos de los instrumentos *Surface Science Package*, *GCMS* y *Descent Imager and Spectral Radiometer*. El terreno mostraba aerosoles precipitados, hielo de agua y trazas

de material y especies orgánicas que incluyen etano y al cianógeno. La primera imagen tras el impacto muestra una superficie bastante plana con bloques helados distribuidos por doquier, guijarros de un tamaño inferior a los 20 centímetros. Su distribución y tamaño demuestran la existencia de una gran inundación en un momento de la historia de Titán, y es una de las muchas evidencias de erosión debida a corrientes posiblemente de metano líquido. No se han visto depósitos de metano líquido, como podíamos prever, pero hay señales claras de que algún líquido ha fluido en la superficie (redes de canales de drenaje, cantos en la superficie, morfología de línea de costa y apariencia de las regiones más bajas y oscuras). En definitiva, puede decirse que los procesos que tienen o han tenido lugar en la superficie de Titán son más similares a los que ocurren en nuestro planeta que en cualquier otro lugar del Sistema Solar.

Titán tiene todavía mucho que desvelarnos a la luz de los datos proporcionados por Huygens. Tras la presentación de los mismos en la revista *Nature* del pasado 8 de diciembre de 2005, se ha iniciado un análisis más profundo que nos conducirá a una interpretación mejor y más realista. La Historia de Titán solo acaba de empezar.

ESTALLIDOS DE RAYOS GAMMA DE CORTA DURACIÓN:

# Un nuevo campo por explorar

Javier Gorosabel (IAA)

## Historia y características generales de los GRBs

En 1967, la serie de satélites espía norteamericanos Vela, diseñados para verificar que la URSS cumplía los tratados de no proliferación de armas nucleares, registró una serie de explosiones de rayos gamma -el tipo de radiación más energética del espectro- que procedían del espacio. Este casual descubrimiento abrió uno de los grandes enigmas de la astrofísica del siglo XX que, bajo el nombre de GRBs -del inglés *Gamma Ray Burst*, o explosiones de rayos gamma-, constituye uno de los fenómenos más energéticos del Universo. Aunque ocasionales, los GRBs no constituyen un fenómeno aislado: aproximadamente ocurren tres al día en nuestro cielo. A principios de los años 90, diversos tra-

bajos mostraron que dichos GRBs se podían englobar en dos grandes familias: los de larga y los de corta duración. La mayoría (aproximadamente el 75% por ciento) de los GRBs detectados en rayos gamma corresponden al tipo de larga duración.

## Casi 10 años de contrapartidas de GRBs de larga duración

Los GRBs de larga duración muestran pulsos de rayos gamma con duraciones superiores a dos segundos y espectros de altas energías más blandos que los GRBs cortos. Estos últimos muestran duraciones por debajo de los dos segundos (en ocasiones llegan a alcanzar duraciones tan breves como de unos pocos milisegundos) y hasta la fecha se han mostrado más escurridizos que sus parientes de larga duración. Ambas clases de GRBs son detectados por los satélites en órbita como intensos deste-

llos de radiación gamma (la atmósfera es opaca para la radiación gamma emitida por un GRB) y su posición en el cielo, con un error de pocos minutos de arco, es determinada con retrasos de pocos segundos. Los astrónomos desde tierra utilizan estas coordenadas para apuntar los telescopios -ópticos, infrarrojos y de radio- a la mayor brevedad, con el fin de encontrar la denominada contrapartida (que se desvanece en cuestión de horas) es decir, la fuente asociada a la radiación gamma recibida por el satélite.

La primera contrapartida de los GRBs de larga duración se detectó el 28 de febrero de 1997, después de varios miles de GRBs detectados en rayos gamma durante treinta años. Desde 1997 hasta la fecha se ha detectado aproximadamente un centenar de contrapartidas de GRBs largos. Estudios realizados desde 1999 hasta la fecha han demostrado que la emisión de la

## PRIMERA CONTRAPARTIDA ÓPTICA DE UN GRB CORTO

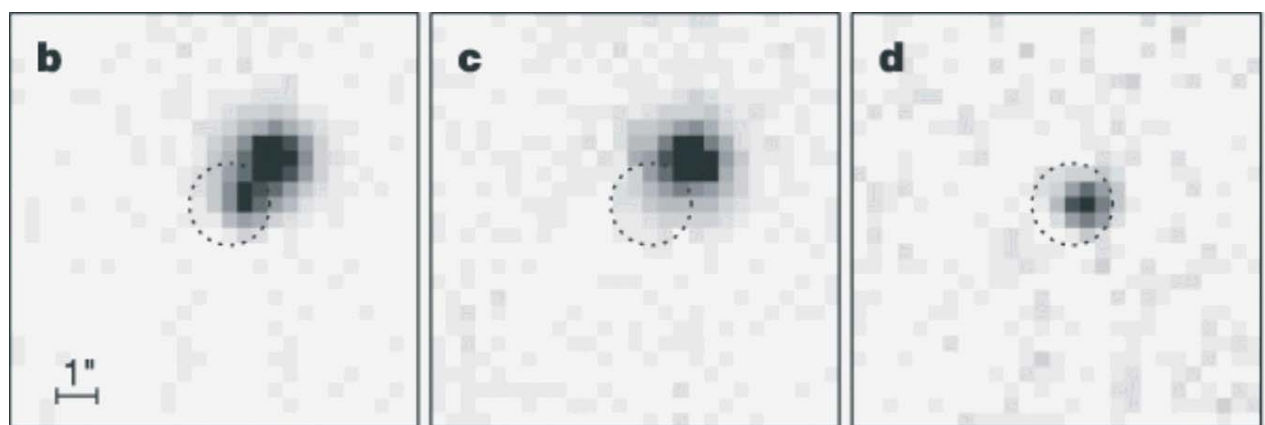
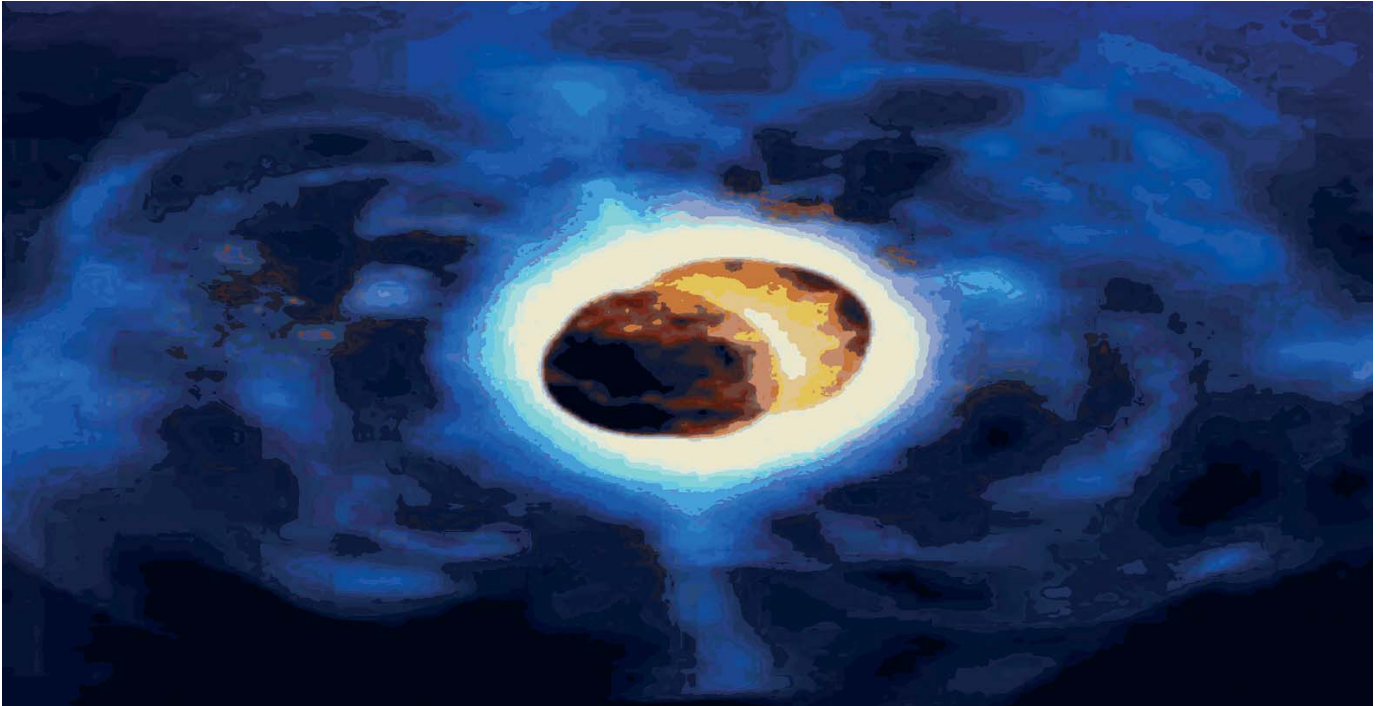


Figura 1: Imagen del descubrimiento de la contrapartida óptica de GRB 050709, primer GRB corto con emisión óptica detectada. Las imágenes fueron tomadas con el telescopio danés de 1.5 m del observatorio de La Silla en el filtro R. La imagen de la izquierda fue tomada dos días después del GRB y muestra la emisión óptica (círculo pequeño) superpuesta a la galaxia anfitriona (más brillante en la imagen). Una semana después se tomó la imagen de la derecha, donde se muestra que la contrapartida ha desaparecido. Si a la imagen de la izquierda se le sustrae la central se obtiene la de la derecha, mostrando el residuo de la sustracción (dentro del círculo), esto es, la contrapartida óptica del GRB. Figura adaptada de Hjorth et al. 2005 (*Nature* 437, 859).



Simulación de un sistema binario compuesto por dos estrellas de neutrones poco segundos antes de la coalescencia. En el proceso de coalescencia se liberarían en menos de un segundo del orden de  $10^{(49-50)}$  erg en forma de radiación gamma así como intensas ondas gravitatorias. Nótese la deformación de las estrellas de neutrones debido a las intensas fuerzas de marea.

contrapartida se produce en un haz colimado, que se explica por el modelo conocido como del *afterglow*. Estos GRBs largos tienden a ocurrir en galaxias asociadas a brotes de formación estelar. Por otra parte, se ha demostrado que producen una supernova tipo Ic cuyo pico de emisión ocurre aproximadamente quince días después del GRB (en el sistema de referencia en reposo). Los desplazamientos al rojo de los GRBs de larga duración medidos hasta la fecha oscilan entre  $z=0,0085$  y  $z=6,3$ . Actualmente se han medido desplazamientos al rojo para 65 GRBs de larga duración, y se ha obtenido un valor medio en torno a  $z=1,1$ .

### 2005, se abre un nuevo campo: las primeras contrapartidas de GRBs cortos

Hubo que esperar al 9 de julio de 2005 para la detección de la primera contrapartida de un GRB de corta duración (ver Fig. 1). Un equipo liderado por astrónomos daneses (en el que participó el autor de este artículo), pertenecientes al Instituto Niels Bohr, detectó con el telescopio de 1,5 m de La Silla (Chile) un objeto cuyo brillo decaía rápidamente y cuya posición era consistente con la posición determinada por el satélite HETE-II en el rango de los rayos gamma y rayos-

X. Espectros tomados con el telescopio Gemini, e imágenes tomadas por el telescopio Hubble mostraron que dicho GRB corto ocurrió en una galaxia con un corrimiento al rojo de  $z=0,16$ .

Desde entonces se han detectado otras tres contrapartidas de GRBs de corta duración. Aunque la muestra de GRBs cortos es todavía muy reducida se empiezan a vislumbrar diferencias estadísticas respecto a los GRBs de larga duración.

*El modelo teórico que, sin duda, mejor describe las características observacionales de los GRBs cortos se basa en la coalescencia de un sistema binario formado por objetos compactos*

*Los GRBs de corta duración se han convertido en los últimos meses en una de las grandes esperanzas tanto para los detectores de ondas gravitatorias actuales como para los previstos en el futuro*

Así, se ha observado que los GRBs de corta duración no tienden a ocurrir en galaxias *starburst* (con brotes de formación estelar), y muestran poblaciones estelares de más avanzada edad en relación con las galaxias anfitrionas de larga duración.

Por otra parte, la evolución temporal de espectros multirango (construido desde radio hasta los rayos-X) indica que de forma casi sistemática los GRBs de corta duración ocurren en medios de menor densidad que los de larga duración. Otra diferencia es la cantidad total de energía luminosa radiada, de magnitud inferior a la de los GRBs de larga duración. A pesar de la alta calidad de las observaciones realizadas hasta el momento para los GRBs cortos, no se ha detectado ninguna supernova asociada a ellos, por lo que hay fuertes evidencias de que no provienen de la muerte violenta de estrellas masivas, como se atribuye a los GRBs largos.

Quizás uno de los aspectos más interesantes de los GRBs cortos es su distribución en desplazamientos al rojo. Como hemos mencionado anteriormente, los GRBs de larga duración muestran un corrimiento al rojo medio de  $\langle z \rangle = 1,1$ . Sin embargo, los de corta duración muestran corrimientos al rojo menores

( $\langle z \rangle = 0,6$ ). Actualmente no se conoce si dicha diferencia es una característica intrínseca o se debe a un sesgo observacional, que favorece la detección de los GRBs largos a mayores distancias dado que éstos son de media unas diez veces más luminosos que los de corta duración. Actualmente existe un intenso debate en el campo de los GRBs sobre esta cuestión.

## GRBs y ondas gravitatorias

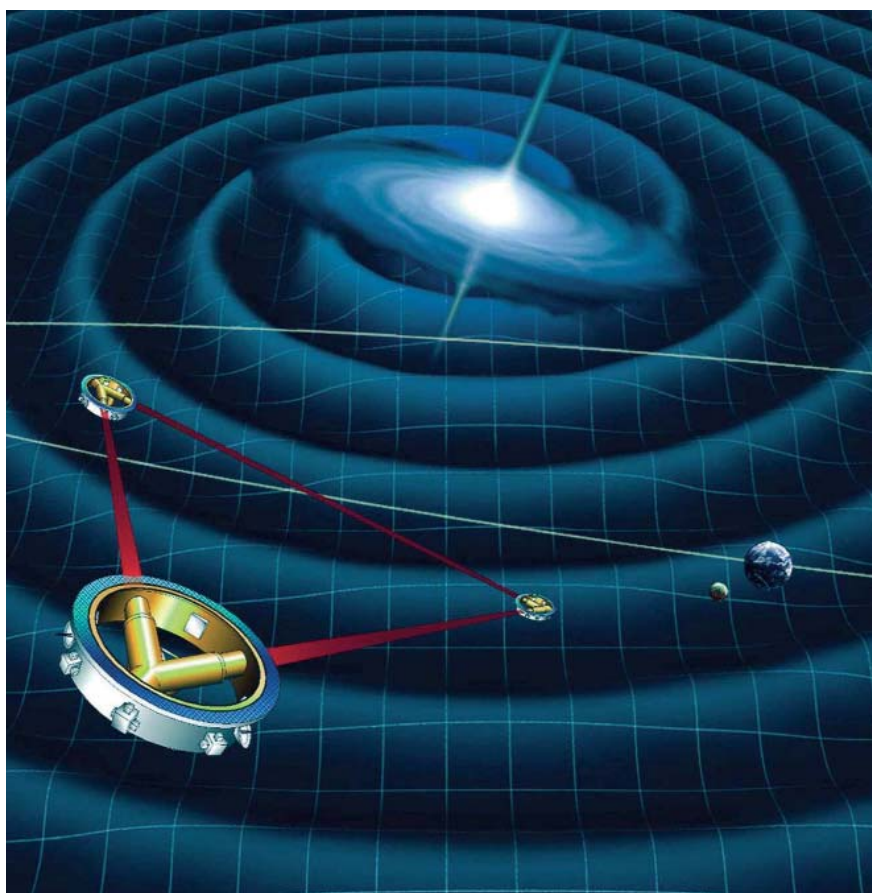
El modelo teórico que, sin duda, mejor describe las características observacionales de los GRB cortos se basa en la coalescencia de un sistema binario formado por objetos compactos. Estos dos objetos pueden ser dos estrellas de neutrones o un agujero negro y una estrella de neutrones. En ambos casos el colapso del sistema se explica por la pérdida de energía mediante la emisión de ondas gravitatorias. Dichas ondas se producen cuando un cuerpo masivo distorsiona el espacio-tiempo circundante mediante una variación temporal de su momento cuadrupolar gravitatorio. La configuración geométrica de un sistema orbital compuesto por dos cuerpos es especialmente eficiente a la hora de emitir dichas ondas, que se propagarían a la velocidad de la luz desde el emisor (en este caso el progenitor del GRB corto) hasta el observador (en este caso la Tierra). Esta radiación es una consecuencia directa de la teoría general de la relatividad de Einstein, y no se ha detectado hasta la fecha. Sin embargo, las variaciones orbitales predichas por la emisión de dichas ondas fueron detectadas con éxito para el caso del púlsar doble PSR B1913+16, que supuso el premio Nobel de física para Taylor y Hulse en el año 1993. Así, para el caso de un GRB corto (cuya composición geométrico-material sería semejante al púlsar doble PSR B1913+16), se predice detección de ondas gravitatorias coincidente (en el espacio y en el tiempo) con los rayos gamma.

El tiempo necesario para que un sistema binario típico compuesto por dos estrellas de neutrones colapse por emisión de ondas gravitatorias es del orden de  $10^{7-9}$  años.

Este hecho explicaría por qué en las galaxias anfitrionas de los GRBs cortos el evento explosivo ocurre cientos de millones de años después de que la actividad de formación estelar haya cesado. Esto no ocurriría en el caso de los GRBs lar-

gos, donde la explosión de GRB es coetánea a la formación estelar de la galaxia (se estima que un progenitor de GRB largo, una estrella masiva de unas cien masas solares en la secuencia principal, explota cuando tiene una edad de tan solo unos pocos millones de años).

Los GRBs de corta duración se han convertido en los últimos meses en una de las grandes esperanzas tanto para los detectores de ondas gravitatorias actuales (LIGO y VIRGO, por ejemplo) como para los previstos en el futuro (LISA, proyectado para el 2008).



Concepción artística de LISA, el detector de ondas gravitatorias proyectado para el 2008. Fuente: PPARC.

## REFERENCIAS:

- Castro-Tirado et al. 1999; *Science* 283, 2069.
- Christensen, Hjorth & Gorosabel 2004, *A&A*, 425, 913.
- Fox et al. 2005, *Nature* 437, 845.
- Galama et al. 1998, *Nature*, 395, 670.
- Gorosabel et al. 2006, *A&A* en prensa; astro-ph/0510141.
- Haislip et al. 2006, *Nature* en prensa; astro-ph/0509660.
- Hjorth et al. 2005, *Nature* 437, 859.
- Klebesadel, Strong, Olsen 1973, *ApJ* 182, L85.
- Kouveliotou et al. 1993, *ApJ* 413, L101.
- Sari, Piran & Narayan 1998; *ApJ* 497, L17.
- Stanek et al. 2003, *ApJ* 591, L17; Hjorth et al. 2003, *Nature* 423, 847.
- Tagliaferri et al. 2005, *A&A* 443, L1.
- Van Paradijs et al. 1997, *Nature* 386, 686.
- Villaseñor et al. 2005, *Nature* 437, 855.

# Acercándonos al centro de la Vía Láctea

Antonio Alberdi (IAA)

El centro de nuestra Galaxia es una región muy densa, con enormes cantidades de gas y polvo, lo que provoca que la radiación que emiten los objetos en el visible esté completamente extinguida. Por ello, el estudio de esta región tiene que realizarse a aquellas frecuencias del espectro electromagnético que son capaces de atravesar este "velo" que lo envuelve. Así, si observamos en rayos X detectaremos los objetos más masivos y energéticos, como los remanentes de supernova, los vientos estelares en colisión y las superburbujas, y si lo hacemos en longitudes de onda de radio veremos las regiones de formación estelar, las nubes moleculares o la fuente compacta en el centro dinámico de la galaxia -presumiblemente un agujero negro supermasivo.

## El centro de la Galaxia

A longitudes de onda de radio se tiene la posibilidad de realizar observaciones interferométricas de muy larga base (en inglés, VLBI), que combinan las observaciones de varios radiotelescopios y alcanzan resoluciones mejores que un milisegundo de arco. Se ha utilizado esta técnica para estudiar SgrA\*, la fuente compacta en el centro de la Vía Láctea. A lo largo de los últimos años, diversos autores han realizado observaciones de VLBI en longitudes de onda centimétricas y han determinado, por un lado, que el tamaño angular de SgrA\* a 1,3 centímetros es del orden de 2,5 milisegundos de arco, lo que corresponde a doce Unidades Astronómicas, si asumimos que SgrA\* se encuentra a una distancia de 8,0 Kpc. Por otro lado, han comprobado que el tamaño angular es proporcional al cuadrado de la longitud de onda a la que se observa el objeto, lo que indica que el tamaño que se está midiendo no es el intrínseco de SgrA\*, sino el tamaño "ensanchado" por un fenómeno de dispersión debido a que la radiación atraviesa el medio turbulento e ionizado localizado en el centro de la Galaxia. Asimismo, esta dependencia sugiere que realizando observaciones de VLBI a longitudes de onda milimétricas,

el tamaño asociado a la dispersión en el medio interestelar disminuirá de tal forma que se podrá medir el tamaño intrínseco de SgrA\* (o el tamaño real de la región que emite a esa longitud de onda). Recientemente, un grupo de científicos liderado por Zhi-Qiang Shen ha realizado observaciones de VLBI a longitudes de onda milimétricas (7 y 3 milímetros) y ha podido establecer el tamaño intrínseco de SgrA\* a 3 milímetros en 1,01 UAs, que resulta mayor que el que cabría esperar si la determinación estuviera afectada por la dispersión en el medio interestelar (0,64 UA). Asumiendo que SgrA\* tiene una masa de cuatro millones de masas solares, lo que se ha calculado a partir de los movimientos propios de las estrellas más próximas, un tamaño de una Unidad Astronómica corresponde a 12,6 veces el radio de Schwarzschild para SgrA\* (el radio de Schwarzschild -  $R_{sch}$  - nos da una idea del "tamaño" del agujero negro). Del valor de la masa y del tamaño de SgrA\* se obtiene un valor enorme para la densidad ( $6,5 \times 10^{21}$  masas solares por parsec al cubo), que es diez veces el valor determinado para agujeros negros supermasivos en el corazón central de las galaxias activas.

## Cada vez más cerca

Cuando se mejoren las técnicas y sea posible observar con VLBI en longitudes de onda más cortas (1,3 o 0,8 milímetros), podremos comprobar que el tamaño intrínseco de SgrA\* a longitudes de onda submilimétricas es inferior a 1AU; es como si observáramos cada vez más hacia dentro del agujero negro, aproximándonos a lo que se conoce como "última órbita estable", o la última órbita donde el material puede girar en torno al agujero negro sin caer en él. De hecho, con observaciones submilimétricas estaríamos muy cerca de la última órbita estable de un agujero negro sin rotación (situada a unos tres  $R_{sch}$ , o radios de Schwarzschild) o un poco más lejos en el caso de un agujero negro en rotación (a unos 0,5  $R_{sch}$ ). La determinación observacional del tamaño proporcionará información única sobre el *spin* -la rotación- del agujero negro. Además, es interesante destacar

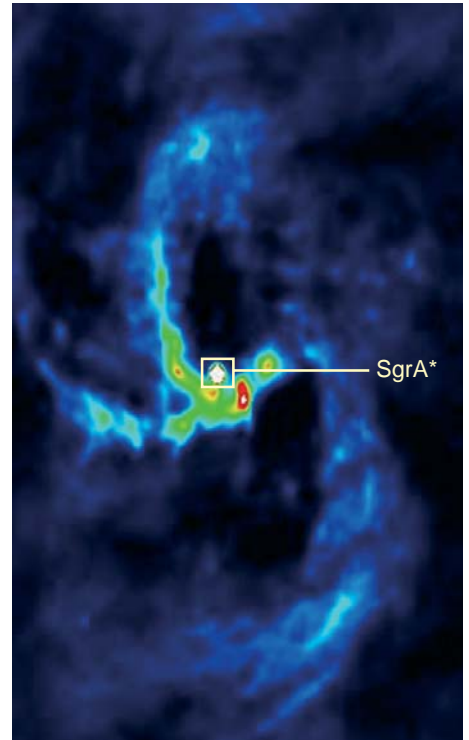


Imagen de la región central de la Vía Láctea. Fuente: NRAO/AUI.

que el tamaño intrínseco a 3,5mm corresponde, tal y como propusieron Falcke y colaboradores (2000), a dos veces el diámetro de la sombra que se produce debido a que los rayos de luz se curvan por el efecto de la gravedad asociada a la concentración de masa en SgrA\*. Ello quiere decir que las observaciones de VLBI a longitudes de onda de 1,3 milímetros y submilimétricas permitirán determinar la existencia (o no) de esa sombra y confirmar el agujero negro supermasivo como posible naturaleza de SgrA\* (frente a otras hipótesis como una estrella supermasiva de material no-bariónico). Como el propio Shen indica en su contribución a la *NRAO Newsletter*, estas observaciones constituirán un test clásico de la teoría de la Relatividad General de Einstein en condiciones extremas.

## Referencias:

Falcke, H. et al. *ApJL* 528, L13 (2000).  
 Ghez, A.M. et al. *ApJ* 620, 744 (2005).  
 Shen, Z.Q. et al. *Nature* 438, 62 (2005).

# LA EXTRAÑA VAGABUNDA

El hallazgo, en el halo de la Vía Láctea, de una estrella joven que se mueve a gran velocidad plantea varias incógnitas

Silbia López de Lacalle (IAA)

Recientemente, un grupo de astrónomos ha descubierto una estrella en las regiones más externas de la Vía Láctea que se mueve a 723 kilómetros por segundo -a esa velocidad se puede dar una vuelta a la Tierra en menos de una hora-. El análisis de su composición química revela que se trata de una estrella joven, de unos treinta millones de años, cuya masa puede equivaler a ocho soles.

Este descubrimiento plantea dos incógnitas: el lugar donde se halla la estrella, bautizada HE 0437-5439, y su velocidad. Las estrellas tan masivas viven como mucho unos cientos de millones de años (el Sol, más bien una estrella mediana, ya tiene cinco mil millones de años), y suelen encontrarse en regiones de la Galaxia con brotes de formación estelar, como la nebulosa de Orión. Sin embargo, HE 0437-5439 se encuentra en el halo de la Vía Láctea, una amplia esfera que ciñe la galaxia y donde residen algunos cúmulos globulares y estrellas viejas dispersas. Los cúmulos globulares agrupan hasta millones de estrellas pertenecientes a la primera generación de estrellas y, por tanto, muy viejas y frías. ¿Qué hace esta joven estrella en el "geriátrico" de nuestra galaxia?

La segunda incógnita, la velocidad, aporta a su vez algunas pistas, aunque no definitivas. La estrella se desplaza tan rápido que la fuerza de gravedad de la galaxia no es suficiente para retenerla, de modo que terminará escapando al espacio intergaláctico. Esto resuelve el primer problema: no se formó en el lugar donde ahora se encuentra. Pero las estrellas no nacen propulsadas a esa velocidad, así que los científicos buscaron un posible impulsor, y lo hallaron en las predicciones teóricas: sólo un agujero negro supermasivo, millones de veces más masivo que el Sol, podría acelerar a la estrella de ese modo. Por ejemplo, si un sistema estelar binario se aproximara a sus inmediaciones, una estrella sería devorada y su compañera expulsada. Las regiones centrales de la Vía Láctea albergan a SgrA\*, un agujero negro supermasivo de unos cuatro millones de masas solares que bien podría ser el responsable del destierro de HE 0437-5439...

Pero no iba a ser tan fácil: el tiempo de viaje desde el centro de la galaxia hasta el halo

El cúmulo globular 47 Tucana (izquierda) presenta varias estrellas azules vagabundas (señaladas con círculos amarillos en la imagen de la derecha). Fuente: R. Saffer, D. Zurek y NASA.



supera con creces la propia edad de la estrella, así que o bien se formó en otro lugar o es más vieja de lo que aparenta.

## Dos escenarios posibles

Por su posición en el cielo, HE 0437-5439 podría provenir de la Gran Nube de Magallanes, una galaxia satélite de la Vía Láctea que se encuentra a 156.000 años luz de distancia; de hecho, la estrella se halla más cerca de ella que de la Vía Láctea y su edad sí que es suficiente para viajar desde el centro de la Gran Nube hasta su posición actual.

Pero, para que todo cuadre, la Gran Nube de Magallanes debería esconder un agujero negro supermasivo en su región central, y este sería el primer indicio de su existencia. La otra posibilidad plantea que HE 0437-5439 sea una "estrella azul vagabunda", lo que nos remite a un misterio que duró más de cuatro décadas y que se resolvió en 1997. Los científicos observaron que algunos cúmulos globulares se hallaban salpicados de estrellas jóvenes, brillantes y masivas, cuya posición resultaba difícil de explicar. En 1997, el Telescopio Espacial Hubble observó que una de estas enigmáticas estrellas azules, situada en el cúmulo globular Tucana 47, giraba sobre sí misma 75 veces más rápido que el Sol. Este hallazgo confirmó una de las teorías sobre la formación de las estrellas azules vagabundas, según la

que son fruto de la fusión de dos estrellas de baja masa.

La explicación resulta sencilla: los cúmulos globulares agrupan millones de estrellas en espacios tan reducidos que, en un volumen equivalente al de nuestro Sistema Solar, podrían congregarse varios cientos de ellas. Esta estrechez favorece la colisión entre estrellas y la formación de azules vagabundas, bien a partir de sistemas binarios o -quizá menos probable-, del encuentro de dos estrellas aisladas. La fusión provoca que el hidrógeno de las capas externas de ambas estrellas pase a las regiones centrales y reaviva la combustión de la nueva estrella, que será mayor, más caliente (por lo tanto, más azul) y aparentemente más joven que sus vecinas en el cúmulo.

## Conclusiones pendientes

Si nuestra enigmática estrella, HE 0437-5439, fuera una azul vagabunda, o más vieja de lo que parece, sí que podría haber partido del centro de la Vía Láctea y ya no habría que buscar un agujero negro supermasivo en la Gran Nube de Magallanes. El problema reside en que no se dispone de suficiente información para confirmar uno de los escenarios, de modo que se estudiará en detalle la composición de HE 0437-5439 para ver si se asemeja a la de las estrellas de la Gran Nube y se precisará la dirección en la que se mueve para determinar su procedencia.

# ¿Nuevo tipo de AGUJERO NEGRO?

Silbia López de Lacalle (IAA)

Hasta hace poco, cuando se hablaba de agujeros negros se distinguían dos tipos: los estelares, producto de la explosión de supernova de una estrella muy masiva, y los agujeros negros supermasivos situados en los núcleos de las galaxias activas, que parecen tener su origen en la acumulación de enormes cantidades de gas y polvo en la infancia de algunas galaxias o por la fusión de varios agujeros negros. Mientras que los primeros tienen una masa equivalente a unos pocos soles, los segundos alcanzan la friolera de miles de millones de soles en una región menor que el Sistema Solar. Hace unos cinco años comenzaron a encontrarse indicios de la existencia agujeros negros medianos, de entre cien y diez mil masas solares, que podrían constituir el enlace entre estos dos tipos, pero aún no se ha obtenido la confirmación definitiva.

La galaxia M82. Fuente: M. Westmoquette (UCM), J. Gallagher (Univ. Wisconsin-Madison), L. Smith (UCM), WIYN/NSF, NASA/ESA.

Aunque la fuerza gravitatoria de un agujero negro es tan intensa que ni la luz puede escapar -por lo tanto, ni emiten ni reflejan luz-, los astrónomos observan los efectos que provocan en sus inmediaciones para detectarlos. Por ejemplo, si forma parte de un sistema binario, su fuerza de gravedad atraerá material de la compañera y formará un disco cuya materia, en su caída hacia el agujero, se calentará tanto que liberará abundante energía en rayos X -estos sistemas se conocen como "binarias de rayos X"- . Aparte de la energía liberada, existen otros indicadores de la existencia de agujeros negros, como la expulsión de chorros de materia a velocidades próximas a la de la luz o diversos fenómenos eruptivos muy energéticos y violentos. En el caso, por ejemplo, del agujero negro supermasivo que se halla en el centro de la Vía Láctea, la prueba definitiva se halló en el movimiento de las estrellas cercanas: giraban alrededor del centro galáctico con velocidades de 1500 kilómetros por segundo -50 veces más rápido que la Tierra alrededor del Sol- y sólo la fuerza gravitatoria de un agujero negro podría retener a estas aceleradas estrellas en su órbita.

## ¿Objetos inclasificables?

En las galaxias, los objetos puntuales que ostentan el récord en emisión de rayos X son las ya mencionadas "binarias de rayos X", sistemas en los que un agujero negro o una estrella de neutrones devora el material de una estrella compañera. Pero se han detectado unos objetos, las fuentes ultraluminosas de rayos X -o ULXS, del nombre en inglés-, cuyo brillo excede entre diez y mil veces la luminosidad que un agujero negro puede alcanzar robando materia a su compañera. La explicación de estos objetos divide a los científicos: algunos creen que sólo un agujero negro de cientos o miles de masas solares explicaría una luminosidad tan alta, lo que confirmaría la existencia de los agujeros negros de masa intermedia, mientras que otros recurren a otras explicaciones. Por ejemplo, unos argumentan que se trata de binarias de rayos X normales cuya emisión se concentra en un haz que apunta directamente hacia nosotros, por lo que su intensidad parece mucho mayor (pero las partículas responsables de la emisión deben desplazarse a velocidades próximas a la de la luz para que esta explicación sea válida). Otros investigadores atribuyen el exceso de luminosidad a la presencia de grumos o inhomogeneidades en el disco,

de modo que el objeto sería también una binaria de rayos X. Sin embargo, los datos de algunas de estas fuentes ultraluminosas esquivan las explicaciones alternativas y parecen insistir en la posibilidad de los agujeros negros intermedios.

## Posible confirmación

Hasta ahora, la masa de estos objetos se calculaba midiendo cuánto tirón gravitatorio era necesario para que resultara la intensidad observada. El pasado 5 de enero, un grupo de astrofísicos estadounidense anunció el descubrimiento de M82 X-1, una fuente ultraluminosa de rayos X que permite calcular la masa con otro método: su emisión es variable y oscila entre sus máximos y mínimos con un periodo de 62 días, lo que sugiere la existencia de una estrella que gira a su alrededor. Y si se conoce el periodo de rotación y la velocidad de la estrella compañera, los científicos pueden determinar la masa del agujero negro que, de momento, se calcula en unos 500 soles. Cuando se precise la velocidad de la compañera se podrá comprobar la exactitud de este cálculo y, si es correcto, constituirá la primera detección irrefutable de un agujero negro de masa intermedia.

## El harén de Pickering

Emilio J. García (IAA)

En estos tiempos de supuesta paridad sexual resulta interesante recordar algunos periodos de la historia reciente, y más aún si centramos nuestra mirada en la historia de la Ciencia, un mundo particularmente cerrado desde siempre a las mujeres. Y es que, curiosamente, a veces fue esta actitud machista la que permitió que algunas mujeres pudieran acceder a este reino de hombres y dejar su particular huella. Es lo que ocurrió con esta historia, la historia del llamado "Harén de Pickering".

Corrían los primeros años del siglo XX: el mundo se situaba en las postrimerías de la primera guerra mundial, se hundía el Titanic y la ciencia comenzaba a desentrañar los misterios del átomo. El *Harvard College Observatory* (HCO), fundado en 1839 en Cambridge (Massachusetts) y uno de los primeros centros sufragados exclusivamente para la investigación astronómica, se enfrentaba a un reto sin precedentes en su historia: el catálogo de Henry Draper.

Henry Draper pretendía determinar la mayor lista de posiciones, magnitudes y tipos espectrales de estrellas realizada hasta la fecha, pero falleció mucho antes de completarla. Su viuda, deseosa de mantener la memoria de su marido, donó 400.000 dólares al HCO con el objeto de continuar y ampliar la obra de su marido. El proyecto implicaba el ingente trabajo de analizar estrella por estrella cientos de placas fotográficas de diferentes zonas del cielo. Sobra decir que en aquella época no existían los medios informáticos actuales y esta ardua y tediosa labor era realizada "a mano" por astrónomos; los denominados "computers". Esto conllevaba un problema: contratar el número de "computers" que exigía el proyecto suponía, a pesar de la donación, un tremendo desembolso para el centro.

Y aquí es donde el por entonces director del HCO, Edward C. Pickering, tuvo su brillante idea: contratar "computers" femeninas. En su opinión, las mujeres eran ideales para este sistemático trabajo, y además cobraban entre 0,25 y 0,30 dólares por hora, menos de la mitad de lo que se pagaba a un hombre por la misma tarea. Durante aquellos años el HCO dobló su plantilla de "computers" empleando casi exclusivamente personal femenino. Entre



Fotografía de Pickering junto con parte de las mujeres en plantilla (año 1913).

1918 y 1924, este grupo de mujeres (algunas con formación universitaria) que muchos comenzaron a denominar el Harén de Pickering, amplió en 225.300 estrellas el catálogo Draper, que para magnitudes entre 7 y 10 aún es el más completo en cuanto a información espectral se refiere. Entre este grupo de pioneras se encuentran muchos nombres propios que forman parte de la historia de la astronomía, como Annie Cannon, que desarrolló el sistema de clasificación espectral estándar desde 1910, o Antonia Mauri, que diseñó otro sistema que más tarde adaptaría Ejnar Hertzsprung para su diagrama color-temperatura, uno de los pilares de la física estelar. Pero, sin duda, entre todas ellas destaca Henrietta Swan Leavitt.

Henrietta entró en el HCO en el año 1893, pero una enfermedad que le provocó sordera de por vida hizo que dimitiera. En 1902 retornó al observatorio, esta vez como asistente, y llegó a ser encargada del departamento de fotometría. Henrietta se especializó en la búsqueda de estrellas variables, estrellas que aumentan y disminuyen su brillo cíclicamente con un determinado periodo. Descubrió más de 2.400, la mitad de todas las estrellas variables conocidas hasta la fecha. Además halló

que un tipo particular de estrella variable, las llamadas cefeidas, cumplían una relación muy peculiar: cuanto más luminosa era la estrella cefeida, más largo era el periodo con el que variaba su brillo. Se trata de la denominada relación periodo-luminosidad, y es tremendamente útil en astrofísica porque permite obtener la distancia a la que se encuentran dichas estrellas.

Sorprendentemente, tras el hallazgo Pickering la recondujo a tareas menores. De hecho, el artículo original donde se muestra el descubrimiento está firmado exclusivamente por el director del HCO. Gracias al descubrimiento de Henrietta, años después se calculó la distancia a las nubes de Magallanes y se confirmó que no pertenecían a la Vía Láctea, y Edwin Hubble determinó la existencia de galaxias exteriores a la nuestra. Hoy en día es una de las columnas vertebrales de la astrofísica moderna.

Aunque analizada hoy la actitud de Pickering es sin duda machista, en su momento fue revolucionaria (la Universidad de Harvard ni siquiera admitía mujeres) y permitió que muchas pudieran dejar su valiosa aportación en la historia de la astronomía.

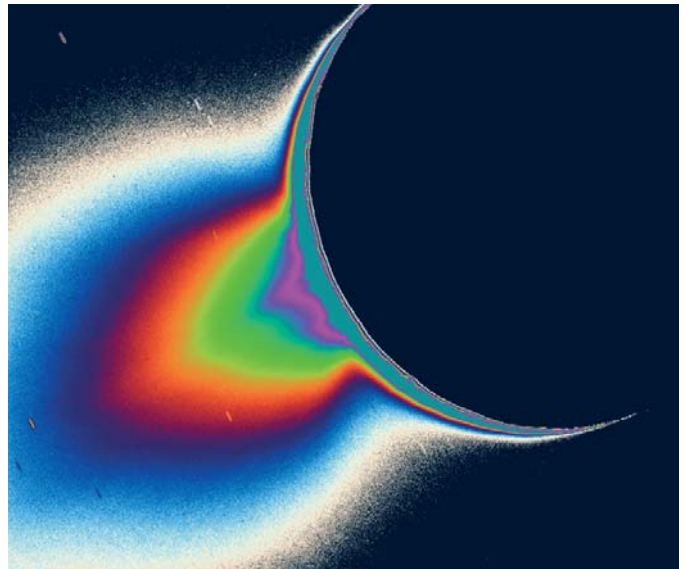


## ¿Actividad geológica en Encelado?

Encelado es una de las lunas interiores de Saturno, cuya superficie helada refleja prácticamente el 100% de la luz solar que le llega. El satélite tiene una superficie muy variada, que presenta hasta cinco tipos diferentes de terreno y donde las zonas con cráteres se alternan con otras perfectamente lisas. También podemos apreciar otros tipos de estructuras geológicas como fisuras, llanos y otros tipos de deformaciones de su corteza. Todo esto apunta a la existencia de algún fenómeno geológico de regeneración de su superficie.

Pues bien, la sonda Cassini de la NASA ha obtenido recientemente imágenes que definitivamente confirman esta teoría. Estas imágenes revelan la existencia de espectaculares chorros de vapor de agua y pequeñas partículas de hielo eyectadas desde la región polar sur del satélite. El más débil de estos chorros (imagen) alcanza alturas sobre la superficie del satélite de unos 190 kilómetros - su tamaño equivale a la anchura del propio satélite-. Las imágenes fueron tomadas el pasado mes de julio, cuando Cassini sobrevolaba el satélite a unos cientos de kilómetros de distancia. Estas imágenes además confirman que Encelado está continuamente suministrando material al anillo E de Saturno.

Investigaciones previas sugieren que estos chorros de partículas proceden de fracturas sorprendentemente "calientes" para un cuerpo helado como es Encelado. La principal pregunta que surge ahora se refiere a los mecanismos que producen estos enormes géiseres en el satélite. En cierto modo, el fenómeno es parecido a los chorros de gas, hielo y pequeñas partículas de polvo eyectadas desde las superficies de los cometas debido a su interacción con la radiación solar. Sin embargo, a pesar de tener un efecto parecido al cometario, los mecanismos que producen estos chorros en



Encelado deben tener una naturaleza totalmente diferente. Se sugiere que el calentamiento interno pueda deberse al efecto de las mareas, al igual que ocurre en Ío, uno de los satélites de Júpiter. La órbita de Encelado alrededor de Saturno es muy excéntrica, de modo que el satélite no se halla siempre a la misma distancia de su planeta; así, se ve sometido a continuas compresiones y expansiones debidas a las diferencias en el campo gravitatorio al que se ve sometido, en el que también intervienen los satélites vecinos, Tetis y Dione. Esto produce un calentamiento interno del satélite que podría originar los fenómenos que estamos observando.

Más información en: <http://www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens/>

## Venus Express

Venus presenta enigmas únicos en todo el Sistema Solar: mientras que el planeta se mueve muy despacio, sus nubes se desplazan con una velocidad sesenta veces superior a la del planeta, lo que indica que en la alta atmósfera soplan vientos que pueden superar los 300 kilómetros por hora y cuya

existencia aún no ha sido explicada. Además, a unos 80 kilómetros de altura existe un mecanismo desconocido que absorbe la radiación ultravioleta y hay datos que sugieren que, aunque Venus es unas cien mil veces más seco que la Tierra, en algún momento de su historia perdió el equivalente a un océano de agua.

Ante tantas preguntas sin respuesta, la

Agencia Espacial Europea (ESA) decidió poner fin a más de una década sin misiones a Venus y desarrolló *Venus Express*, una misión que en abril del próximo año se situará en la órbita de Venus e iniciará un estudio sin precedentes de la compleja atmósfera del planeta.

Más información:

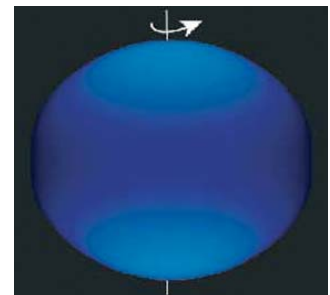
[http://www.esa.int/SPECIALS/Venus\\_Express/](http://www.esa.int/SPECIALS/Venus_Express/)

## La estrella achatada

Un grupo de astrónomos acaba de medir el brillo y la temperatura de Vega con CHARA, una red de seis telescopios que ha encontrado explicación a la elevada luminosidad de la estrella: Vega no es una esfera, sino que tiene forma oblonga.

Pero ni siquiera la Tierra es perfectamente redonda: debido a su rotación diaria, presenta un ligero achatamiento en los Polos. Si aplicamos esta idea a las estrellas, de carácter gaseoso y en algunos casos con velocidades de rotación altas, llegamos a la conclusión de que también debe haber estrellas aplanadas. Y, de hecho, Vega rota tan rápido que casi se rompe: gira sobre sí misma cada doce horas y media (el Sol cada 25,4 días), lo que constituye el 92 por ciento de la velocidad que debería alcanzar para desgajarse. Como consecuencia, su diámetro ecuatorial es un 20 por ciento mayor que el polar, y su temperatura en los polos asciende a

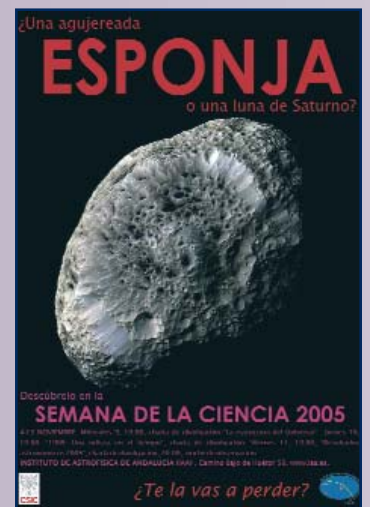
9.900 grados, 2.300 grados por encima de la del ecuador. Si a todo esto añadimos una última peculiaridad de Vega, el misterio se resuelve: y es que nosotros estamos situados de tal modo que observamos uno de los polos de la estrella que, al tratarse de una zona más caliente, también es más luminosa (de ahí ese "exceso" de luminosidad). Su orientación ha provocado que su alta velocidad de rotación pasara desapercibida y que hasta ahora se confiara en su redondez.



Más información en: <http://www.noao.edu/outreach/press/pr06/pr0603.html>

# SEMANA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA 2005

Con motivo de la Semana de la Ciencia y la Tecnología 2005, el Instituto de Astrofísica de Andalucía organizó, en noviembre del pasado año, una serie de actividades de divulgación que recibieron una excelente acogida por parte del público. Se diseñó una campaña de publicidad que jugaba con el equívoco y relacionaba objetos astronómicos con otros más cotidianos y se proyectó, en la plaza del Carmen de Granada, el montaje "Ciencia a lo grande", realizado conjuntamente con la Estación Experimental del Zaidín (EEZ-CSIC).



## ● MIÉRCOLES 9, "LA ESTRUCTURA DEL UNIVERSO" Y "UN PASEO POR EL MICROCOSMOS"

Guillermo Tenorio-Tagle (IAA-INAOE) y Matilde Barón (EEZ) realizaron un extenso recorrido desde el Big Bang hasta la célula.



## ● VIERNES 11, "UN AÑO DE ASTRONOMÍA" Y M...

La actividad comenzó con un repaso a algunos de los resultados del año, y después tuvo lugar la "noche de observación", que se realizó en la azotea del edificio (situado en la plaza del Carmen) conectado vía Internet a las telescopios de la Estación Experimental del Zaidín (EEZ-CSIC).

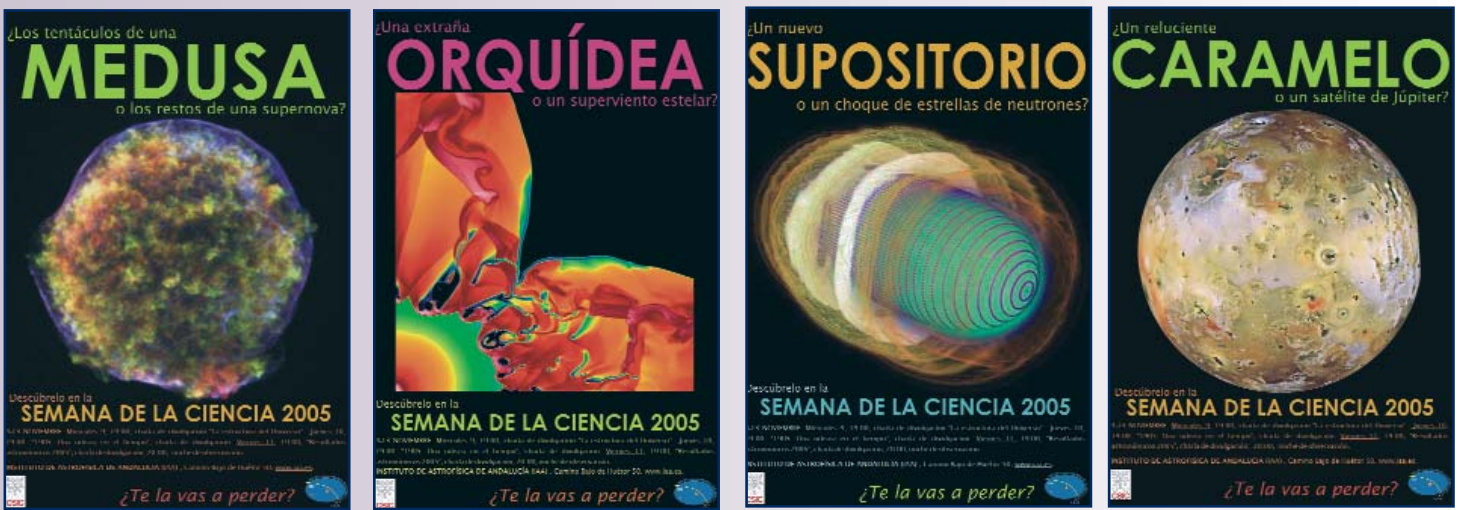


## ● JUEVES 10, "1905: UNA ODISEA EN EL TIEMPO"

Como pequeño homenaje del IAA al año milagroso de Albert Einstein, 1905, se propuso en esta charla reflexionar sobre la naturaleza del tiempo y sobre cómo pasó a ser desde entonces un objeto de investigación positiva. Empezando por unas reflexiones generales sobre qué entendemos por tiempo en nuestra vida cotidiana, se nos fue introduciendo en los aspectos centrales de la teoría de la relatividad restringida.

Para finalizar, se hizo una breve descripción de dónde nos encontramos en la actualidad en relación a nuestro entendimiento del tiempo y qué tipo de preguntas quedan aún por resolver. Conferenciante: Carlos Barceló (IAA).





Y NOCHE DE OBSERVACIÓN

resultados científicos más relevantes del se llevó a cabo con el telescopio PETI las cuatro pantallas del patio del IAA.



Conferenciantes:  
Antonio Alberdi,  
Miguel Ángel Perez-Torres, Olga Muñoz, Luisa Lara y Pablo Santos.



Imagen de la proyección "Ciencia a lo grande".

Reunión de COROT

Se ha celebrado en ESTEC la novena semana de COROT. Esta reunión, que se celebra dos veces por año, tuvo lugar por última vez en Toulouse (Francia) y anteriormente aquí, en Granada. Esta vez las discusiones se han centrado en la modificación de la estrategia de observación debido a un nuevo retraso, esta vez de solo de tres meses, y definitivamente se lanzará el 15 de octubre de 2006 desde Baikonur. El satélite está completamente preparado y solo queda por realizar su implementación en el cohete y terminar el software de Control de la Misión. Esto último es el trabajo que actualmente está realizando la empresa española GMV. El resto de actividades se han centrado básicamente en simular series de datos similares a las

que va a suministrar el preciso fotómetro de la misión -0,1 magnitudes para la detección de tránsitos en estrellas de alrededor de quince magnitudes y 0,6 partes por millón para estrellas más brillantes de seis magnitudes para la detección de oscilaciones de tipo solar- con el objeto de ser modeladas por los distintos equipos científicos tanto dedicados a la detección de planetas como a la astrosismología. Definitivamente, el campo al que apuntará por primera vez durante los primeros 30-40 días estará centrado en el par de estrellas brillantes HD 49434, una variable de tipo gamma Doradus descubierta por nuestro equipo en el OSN, y HD 49933, un oscilador de tipo solar descubierto usando HARPS en La Silla.

## CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA

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

FECHA	CONFERENCIANTE	TEMA O TÍTULO TENTATIVO
26 de enero	Javier Gorosabel (IAA-CSIC)	<i>Después del lado oscuro del Universo... su lado violento.</i>
23 de febrero	Rafael Ramón (Univ. País Vasco)	<i>Mitología clásica: su relación con la literatura, las artes y las ciencias.</i>
30 de marzo	Emilio J. Alfaro (IAA-CSIC)	<i>¿Qué hacen los astrónomos?</i>

## LIBROS DE DIVULGACIÓN

**LAS CONSTANTES DE LA NATURALEZA.** John D. Barrow. Editorial Crítica, 2005.

**LOS PREMIOS DARWIN.** Wendy Northcutt. (Ensayo / RBA No Ficción).

► **EINSTEIN, POR FAVOR.** Jean-Claude Carrière (Editorial RBA).

**COMENTARIO DE EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC).** De la miríada de libros sobre la figura de Einstein que se publicaron el pasado año con motivo del centenario de su "annus mirabilis", nos ha llamado la atención este "Einstein, por favor", principalmente por el nombre de su autor, Jean-Claude Carrière. Carrière no es investigador, ni tan siquiera periodista científico. Carrière es guionista de cine. Mano derecha de Buñuel durante su etapa francesa, a él se deben guiones como "Belle de Jour" o "La Vía Láctea", entre otros muchos, y ha estado nominado varias veces al Óscar.

El qué le ha llevado a escribir un libro sobre el genial físico no lo sabemos, pero "Einstein, por favor" no es exactamente un libro de divulgación, como tampoco es un libro histórico. Se trata de una entrevista imposible a un Einstein atrapado en un limbo atemporal y surrealista donde no solo da un repaso a sus ideas científicas y a los momentos más importantes de su vida, sino donde, entre otras, discute con Newton, reflexiona sobre sus errores, sobre física cuántica y teoría de cuerdas, y donde filosofa sobre el papel de la ciencia dentro del conocimiento humano. Un libro a veces desordenado y quizá falto de algo más de profundidad, pero ameno, interesante, bien escrito y diferente sobre la figura del científico probablemente más famoso de la historia de la humanidad.

## LIBROS CIENTÍFICOS

► **TIDAL EVOLUTION AND OSCILLATIONS IN BINARY STARS. THIRD GRANADA WORKSHOP ON STELLAR STRUCTURE.**

Granada, 26-28 mayo de 2004

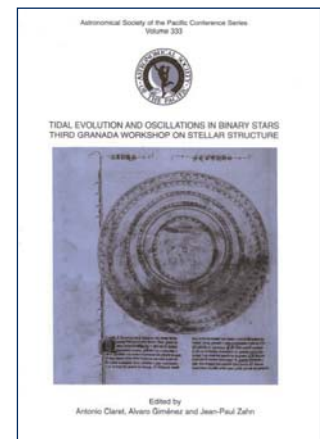
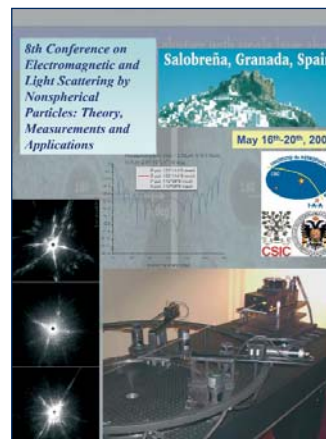
Editores: Antonio Claret, Álvaro Giménez y Jean-Paul Zahn.  
*Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol 383.*

► **PROCEEDINGS OF THE 8TH CONFERENCE ON ELECTROMAGNETIC AND LIGHT SCATTERING BY NONSPHERICAL PARTICLES: THEORY, MEASUREMENTS AND APPLICATIONS.**

Salobreña, 16-20 mayo de 2005

Editores: Fernando Moreno, José Juan López-Moreno, Olga Muñoz y Antonio Molina.

*Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer (en imprenta).*



## REUNIONES Y CONGRESOS

► **SECOND WORKSHOP ON MARS ATMOSPHERE MODELLING AND OBSERVATIONS.**

Fecha: del 27 de febrero al 3 de marzo de 2006.

Lugar de celebración: Palacio de Exposiciones y Congresos de Granada.

Presidente del comité organizador local: Miguel Ángel López-Valverde.

Información:

<http://www.iaa.es/~valverde/Granada2006/LOC.html>

## CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

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