

# I A A

INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

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

JUNIO 2007, NÚMERO: 22

# ESTRELLAS BINARIAS

MUJERES Y CIENCIA  
ESTRELLAS MUY, MUY MASIVAS

AGUJEROS NEGROS  
NÚCLEOS DE GALAXIAS ACTIVAS



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
IAA-CSIC

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





# PANORÁMICA EN PELIGRO

Espectacular vista desde uno de los rincones más oscuros que quedan en Estados Unidos: el Valle de la Muerte, en California. La panorámica está compuesta por 30 imágenes y muestra miles de estrellas y la Vía Láctea de modo excepcionalmente nítido. Se trata, sin embargo, de una imagen en peligro de extinción: la contaminación lumínica amenaza la oscuridad del cielo cada vez en mayor medida, y existen varias iniciativas para combatir, entre otros, el derroche energético que supone. La Sociedad Astronómica Granadina mantiene la web "Cielo Oscuro" con abundante información sobre este problema ([http://www.astrogranada.org/cieloscuro/principal\\_cielo\\_oscuro.htm](http://www.astrogranada.org/cieloscuro/principal_cielo_oscuro.htm)).

## SUMARIO

### REPORTAJES

- Estrellas binarias: un matrimonio muy ventajoso ...3
- Mujeres y ciencia: rompiendo techos ...6
- La estrella más masiva ...9

### DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS

- Criterios termodinámicos en la evolución de agujeros negros ...12

### ACTUALIDAD ...14

### ENTRE BASTIDORES ...19

### CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. Núcleos de galaxias activas ...20

### HISTORIAS DE ASTRONOMÍA: "Serendipia" cósmica ...21

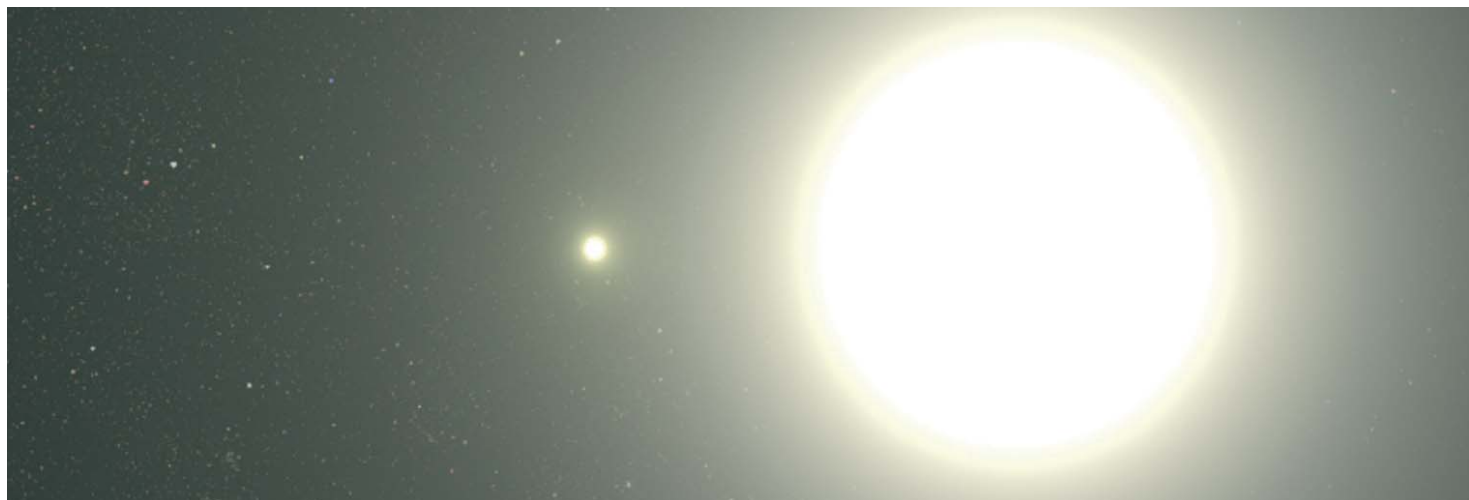
### El increíble y asombroso viaje de Fotón. II Parte ...22

### ACTIVIDADES IAA ...23

**Director:** Carlos Barceló. **Jefa de ediciones:** Silbia López de Lacalle. **Comité editorial:** Antxon Alberdi, Emilio J. García, Rafael Garrido, Javier Gorosabel, Rafael Morales, Olga Muñoz, Miguel Ángel Pérez-Torres, Julio Rodríguez, Pablo Santos y Montserrat Villar. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle. **Imprime:** ELOPRINT S.L.

Esta revista se publica con la ayuda de la Acción Complementaria CCT005-06-00178 del Programa Nacional de Fomento de la Cultura Científica y Tecnológica.

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.



# ESTRELLAS BINARIAS: Un matrimonio muy ventajoso

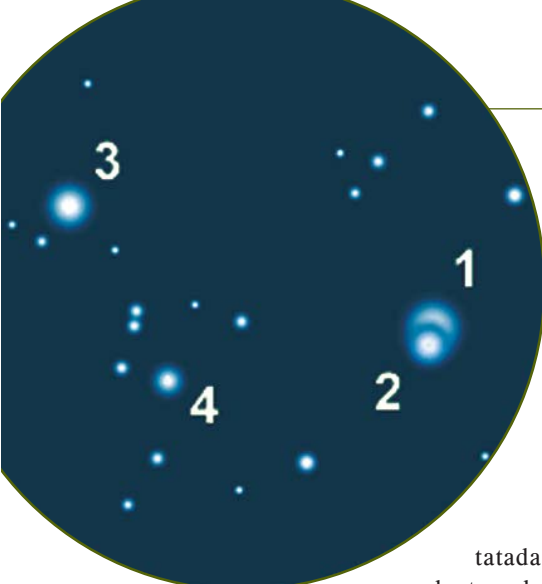
GRACIAS AL AVANCE DE LOS INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS, HOY DÍA CONOCEMOS LOS DISTINTOS TIPOS DE ESTRELLAS BINARIAS ASÍ COMO LOS MÉTODOS PARA EXTRAER LA MÁXIMA INFORMACIÓN DE ELLAS  
Por Susana Martín (IAA-CSIC)

CUANDO, EN NOCHES MUY OSCURAS, NOS ALEJAMOS DE NUESTRA CIUDAD Y MIRAMOS AL CIELO, podemos ver un número astronómico de estrellas sin necesidad de instrumentos. Si, además, disponemos de unos prismáticos o de un pequeño telescopio, el paisaje estelar se vuelve espectacular, sobre todo porque se ven objetos que no se percibían con el ojo desnudo. No nos referimos a galaxias lejanas, objetos extraños o nuevos planetas, sino a simples estrellas: a las "estrellas dobles". Muy abundantes en el cielo, la más famosa es la estrella doble formada por Mizar y su compañera Alcor. Su separación y su brillo nos permiten contemplarlas a simple vista, y ya los antiguos árabes las empleaban para comprobar la buena visión de sus guerreros. Otro ejemplo es la estrella Albireo que, a través de un telescopio, muestra los colores naranja y azul de sus componentes y cuyo contraste hace que sea una de las más observadas y fotografiadas del hemisferio norte.

## Perspectiva histórica

Nuestro conocimiento de estas estrellas, así como de su tipología, ha ido de la mano del avance de los instrumentos astronómicos a lo largo de la historia. A principios del siglo XVII, Benedetto Castelli (estudiante de Galileo Galilei) y Giovanni Battista Riccioli pudieron observar con un telescopio que la estrella Mizar era realmente dos estrellas con una separación de alrededor de 14 segundos de arco. Posteriormente se fueron descubriendo más estrellas dobles cuya existencia se atribuía a un mero fenómeno óptico donde las componentes estaban separadas por una enorme distancia. Pero no fue hasta 1767 cuando John Michell demostró, utilizando el cálculo de probabilidades, que el alto número de estrellas dobles conocidas hasta el momento no podía deberse simplemente al azar como se había pensado. Esta teoría fue apoyada en 1781 por Christian Mayer, quien ya había observado unas noventa estrellas dobles llevado por la hipótesis de que algunas podían ser sistemas físicos reales, es decir, una estrella girando

alrededor de su compañera. Por aquellos años, William Herschel, que no creía en las interpretaciones de sus contemporáneos, comenzó a estudiarlas con el fin de determinar las parajes de algunas de ellas. Después de más de veinte años de observaciones, Herschel no consiguió llevar a cabo su propio trabajo pero sí pudo constatar que existían estrellas dobles que formaban realmente sistemas binarios cuyas componentes estaban ligadas gravitacionalmente y giraban alrededor de su centro de masas. En 1803 publicó sus resultados sobre la estrella Castor y demostró que la ley de Newton sobre la gravitación universal era válida fuera de nuestro Sistema Solar. Después de Herschel, los científicos realizaron numerosos descubrimientos y estudios de "estrellas binarias visuales". Como su nombre indica, estos sistemas se caracterizan por poder resolverse en dos componentes visibles y es precisamente esta propiedad lo que las diferencia de las "estrellas binarias próximas o cerradas". Aunque la existencia de este tipo de estrellas no fue cons-



Mizar-Alcor. Campo de 15 minutos de arco donde se representan gráficamente: (1) Mizar A: binaria espectroscópica (2) Mizar B: binaria espectroscópica (3) Alcor (4) Sidus Ludoviciana. Fuente: Leos Ondra.

tatada hasta la aparición de nueva instrumentación astronómica, en 1783 John Goodricke propuso la teoría de los eclipses como posible causa de las variaciones de brillo de la estrella Algol. Gracias al progreso experimentado por las técnicas fotográficas, en el siglo XIX se descubrie-

ron las primeras "estrellas binarias eclipsantes o fotométricas". Estas estrellas experimentan una variación periódica del brillo debido a que ambas componentes se eclipsan una a la otra mientras recorren su órbita. Con el desarrollo de los detectores fotoeléctricos para medir el flujo de luz, primero en forma de tubos fotomultiplicadores y más tarde con cámaras CCD, hemos podido detectar un gran número de binarias eclipsantes. Un gran avance para el análisis de estos sistemas binarios cerrados ha sido la aplicación de la espectroscopía en la Astronomía. Con el estudio de las líneas que componen el espectro de una estrella y calculando a qué velocidad se desplazan (efecto Doppler) es posible medir los movimientos estelares. Con esta técnica podemos

determinar cuántas componentes estamos observando y a qué velocidad se mueven respecto al centro de masas del sistema. Las estrellas cuya naturaleza binaria se observa por medios espectroscópicos se conocen como "estrellas binarias espectroscópicas". El primero en detectar tales sistemas fue Edward C. Pickering, quien demostró en 1889 que la componente A de la estrella Mizar era realmente una binaria espectroscópica. La coincidencia más asombrosa vino en 1908 cuando nuevos espectros confirmaron la existencia del sistema binario de la compañera Mizar B. Así que cuando observamos el campo celeste cercano a Mizar-Alcor no hay simplemente dos estrellas, sino cinco en varios sistemas binarios. Otro sistema múltiple similar es el de la

## HD172189: UNA BINARIA ECLIPSANTE MUY COMPLETA

Observaciones fotométricas realizadas con el telescopio de 90 centímetros del Observatorio de Sierra Nevada durante el verano de 1997 mostraron que HD172189 era una estrella binaria eclipsante con la peculiaridad de que pertenecía al cúmulo abierto IC4756. Gracias a nuevas observaciones pudimos detectar que, fuera de los eclipses, la curva de luz mostraba pequeñas oscilaciones que podían deberse a que una de las estrellas era una estrella pulsante. Para poder realizar un buen análisis de la curva de luz necesitábamos medidas lo más continuas posibles

en el tiempo y, para ello, se realizaron observaciones fotométricas conjuntas con el Observatorio de San Pedro Mártir (Baja California). También se tomaron medidas espectroscópicas de forma puntual en el telescopio de 2,2 metros del Observatorio Europeo Austral de La Silla (Chile). Gracias a las observaciones sabemos que, además de ser un sistema binario eclipsante con un periodo orbital de 5,702 días, se trata también una binaria espectroscópica. También hemos descubierto que la componente más brillante pulsa, tratándose de una estrella tipo

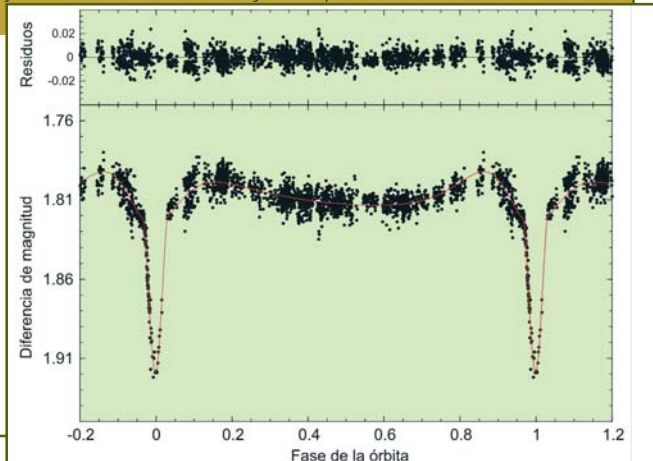
delta Scuti con más de tres modos de pulsación. Se conocen unas 20 estrellas binarias con características similares y sólo una, además de HD172189, forma parte de un cúmulo estelar. El hecho de que pertenezca a un cúmulo implica ventajas adicionales: las estrellas de un cúmulo se hallan unidas gravitatoriamente y, al formarse a la vez, comparten distancia, composición química y edad, parámetros físicos que restringen aún más nuestro problema. El grupo de Física Estelar del Instituto de Astrofísica de Andalucía está llevando a cabo

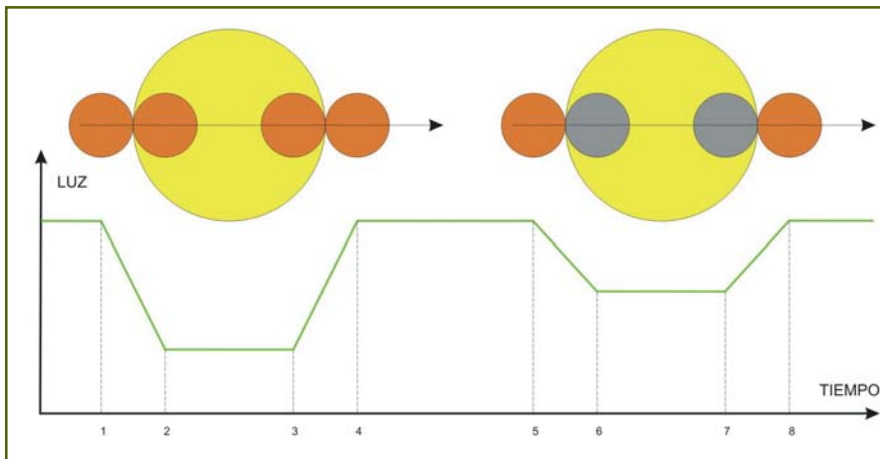
nuevas observaciones para investigar más detalladamente la componente pulsante aprovechando que se encuentra en un sistema binario. Se sabe que durante un eclipse, la pulsación detectada se ve afectada por el cambio que sufre la geometría de la superficie estelar proporcionándonos una importante ayuda al conocimiento de los modos de pulsación. Otro aspecto que la hace aún más interesante es que HD172189 es una de las estrellas elegidas para ser observada por el satélite espacial CoRoT para su estudio astrosismológico.



HD172189 en el cúmulo abierto IC4756.

Curva de luz de la estrella HD172189. Los residuos nos muestran la pequeña variación producida por la componente pulsante cuando se le restan los eclipses. Entre otros resultados obtuvimos una relación de radios entre las componentes de nuestro sistema ( $r_2/r_1=0,6$ ), temperaturas ( $T_2/T_1=1,05$ ), masas ( $M_2/M_1=0,9$ ) y luminosidades ( $L_2/L_1=0,5$ ) así como una inclinación y excentricidad de la órbita de  $73^\circ$  y  $0,24$  respectivamente.





Esquema simplificado de la curva de luz de una estrella binaria eclipsante. En la primera parte de la gráfica se puede ver el eclipse principal, cuando la estrella menos brillante (naranja) eclipsa a la más brillante (amarilla) mientras que en la segunda parte se representa el eclipse secundario, cuando la más brillante eclipsa a la de menos brillo. Entre ambos eclipses se puede observar el brillo total de ambas. Cuando el eclipse es central, es decir, el plano orbital se ve exactamente de canto como en la figura, se puede medir el tiempo que duran los eclipses para obtener el tamaño de ambas componentes.

estrella Cástor de la constelación de Los Gemelos. Esta estrella binaria visual está formada por dos estrellas, Cástor A y Cástor B, que son a su vez dos sistemas espectroscópicos. Pero lo que lo hace más singular es que cerca de Cástor hay una estrella débil -Cástor C-, que es una binaria eclipsante y que está unida gravitatoriamente a ella. Numerosas observaciones posteriores demostraron que Cástor es realmente un sistema de seis estrellas que, además de orbitar unas alrededor de las otras, se mueven en torno a un centro de masas común.

El conocimiento de cada vez más sistemas binarios y, sobre todo, de sistemas cerrados, hizo que en 1955 Zdenek Kopal introdujera una clasificación nueva además de la ya existente (visuales, eclipsantes y espectroscópicas), que sólo contemplaba las técnicas de observación utilizadas. Kopal dividió las estrellas binarias en separadas, semiseparadas y de contacto, en función de su proximidad e interacción de las componentes e implicando importantes consecuencias en la evolución de cada una de las estrellas.

### ¿Por qué observamos sistemas binarios?

Las estrellas nacen, evolucionan y mueren. Y a lo largo de su vida experimentan cambios que, en conjunto, conocemos como evolución estelar. La composición química y la masa son los parámetros que determinarán la trayectoria de la estrella, que tomará diferentes valores de radio y luminosidad en función de su edad. Como no podemos observar la misma estrella en las diferentes etapas de su vida, se realizan modelos teóricos con el fin de simular su evolución. Si conocemos los parámetros fundamentales

para diferentes estrellas en distintos estados evolutivos podremos realizar modelos más realistas y, aunque en los últimos años estamos asistiendo a un enorme progreso sobre el conocimiento de los fenómenos que ocurren en el interior estelar, existen algunos

*Las binarias eclipsantes experimentan una variación periódica debido a que las componentes se eclipsan mientras recorren su órbita*

*No es posible medir la masa de una estrella aislada sólo a partir de observaciones y es aquí donde las estrellas binarias juegan un papel fundamental*

que aún no conocemos. Para una estrella aislada, y a excepción del Sol, no es posible medir la masa directamente de las observaciones; aquí las estrellas binarias juegan un papel fundamental. El movimiento de las dos componentes de un sistema binario cumple la conocida y básica tercera ley de Kepler. Para estrellas binarias visuales podemos determinar ambas masas directamente de las observaciones si conocemos a qué distancia se encuentra el sistema respecto de la Tierra, y este parámetro sólo se conoce con precisión para estrellas relativamente próximas. El cálculo se complica en sistemas binarios eclipsantes y espectroscópicos, ya que la proximidad de sus componentes puede producir otro tipo de interacciones aparte de las gravitatorias. En estos

casos, fenómenos físicos conocidos como "efectos de proximidad" pueden manifestarse en distintas formas: desde dejar de ser esféricas y tomar formas elipsoidales a efectos de marea o transferencia de materia de una a la otra. Por tanto, hay que derivar las masas a partir de las medidas espectroscópicas que nos proporciona la llamada curva de velocidad radial que muestra cómo varían las velocidades de las componentes dentro de su órbita.

### Binarias eclipsantes

La herramienta fundamental para el estudio de los sistemas binarios eclipsantes es la curva de luz donde se representa la variación periódica del brillo en el tiempo causada por los eclipses (al girar alrededor del centro de masas, una estrella se sitúa delante de la otra y se produce una disminución del brillo). Gracias al análisis de estas curvas, los astrónomos pueden determinar, además de los efectos de proximidad, cuáles son las temperaturas superficiales y radios de ambas estrellas, así como la geometría de la órbita. Aunque el estudio de la curva de luz da una idea de las características del sistema, la determinación de los parámetros que la definen resulta complicada. En nuestros días, el avance de los ordenadores ha permitido el diseño de curvas de luz sintéticas a partir de modelos físico-matemáticos y una serie de parámetros físicos que caracterizan a las binarias eclipsantes. Para conseguir la solución al sistema, se modifican los valores de los parámetros hasta que la curva de luz generada por el modelo se ajuste lo más posible a la observada.

En la actualidad se conocen más de 6.000 estrellas binarias eclipsantes formadas por todo tipo de estrellas, desde las más calientes hasta las más frías, y ubicadas en órbitas con geometrías diferentes. Pero es posible que sistemas binarios eclipsantes a su vez alberguen estrellas cuyo brillo cambie con el tiempo y cuya variación sea debida a procesos físicos que ocurren en su interior. Estas estrellas se llaman estrellas variables pulsantes. Aunque en la actualidad son muchos los tipos de pulsantes conocidas con diferentes mecanismos de pulsación, son muy pocas las binarias eclipsantes que alberguen este tipo de variables. El análisis de las estrellas pulsantes dentro de un sistema binario nos proporcionará información adicional que no podríamos obtener si estuviera aislada. Esta información, en forma de parámetros fundamentales, junto a las frecuencias de oscilación detectadas, nos permitirá conocer el interior estelar.

# Rompiendo techos

LA INSERCIÓN DE LA MUJER EN EL ÁMBITO CIENTÍFICO AÚN NO SE CORRESPONDE CON LAS PROMESAS DE PARIDAD DE LOS GOBIERNOS: EL TECHO DE CRISTAL CONSTITUYE HOY DÍA UN CONCEPTO MUY VIGENTE

Por Matilde Barón (EEZ, CSIC)

SI UNA RECIÉN LICENCIADA EN CUALQUIER UNIVERSIDAD ESPAÑOLA CON UN BRILLANTE EXPEDIENTE ACADÉMICO decidiera seguir la carrera científica, probablemente no le animaría mucho saber que, desde la creación del premio Nobel en 1901, los premiados en las tres áreas de Ciencias Experimentales suman ya 512 investigadores y sólo 12 investigadoras. Parece que en el Olimpo de la Ciencia moran pocas diosas. Pero seguro que se estimularía con la tenacidad y la inteligencia de las elegidas, no sólo las archiconocidas Curies -madre e hija-, sino fisiólogas como Rita Levi Montalcini, que descubrió los factores de crecimiento nervioso, o Christiane Nüsslein-Volhard, que reveló las claves del control genético del desarrollo temprano de embriones. Encontraría también en este grupo a genetistas como Bárbara McClintock, por el hallazgo de unos elementos genéticos "saltarines", los transposones. McClintock tuvo que esperar 35 años para que se viera reconocido su descubrimiento, que ha revolucionado la genética actual. Finalmente, se toparía también con una galardonada reciente (2004), Linda Buck, investigadora de la organización del sistema olfativo.

Pero si nuestra chica repasara la historia, vería que sus antecesoras sí que lo tuvieron difícil. Universidades y Academias de Ciencias dieron con la puerta en las narices a las mujeres hasta bien entrado el siglo XIX y el XX, respectivamente. Ni siquiera el haber conseguido



Marie Curie.

*Desde la creación del premio Nobel en 1901, los premiados en las tres áreas de Ciencias Experimentales suman ya 512 investigadores y sólo 12 investigadoras*

do dos premios Nobel facilitaron el acceso de Marie Curie a la *Académie des Sciences* de París.

Retrocediendo a la Edad Media, siempre les quedaba la solución del convento, que gozaba de un especial protagonismo en la vida

intelectual y se convirtió para las mujeres, aunque parezca contradictorio, en un espacio de libertad para desarrollar su erudición. Si se habla de que el género femenino tiene la ventaja de ser multitarea, qué decir del equivalente alemán de nuestra Santa Teresa de Jesús, Hildegard von Bingen, filósofa, mística, poeta y musicóloga, que polemizaba con Papas y emperadores; sus libros van desde la descripción de sus visiones hasta tratados de cocina.

Pero ya que los tiempos actuales no son muy propicios al ascetismo, nuestra candidata a científica tendría que ir a la búsqueda de mode-

los femeninos más cercanos, a través de siglos oscuros en que el mundo académico se cargó de prejuicios contra la mujer. Se contrapuso la Ciencia como sinónimo de razón, objetividad, frialdad y poder a la Feminidad entendida como subjetividad, sentimiento, pasión y falta de ambición. Hay quien afirmaba en el siglo XIX que si las mujeres ejercitaban sus cerebros sus ovarios se paralizarían y, a principios del siglo pasado, se intentaba justificar la discriminación intelectual hacia la mujer con diferencias hormonales o de tamaño del cerebro entre sexos. Pero, a finales del XIX, las Universidades europeas empezaron a admitir mujeres. En algunas Universidades españolas eran acompañadas por un catedrático al aula y se sentaban separadas de sus compañeros en una mesa supletoria. Antes de 1900 se licenciaron 33 mujeres en España, donde la mayoría de la población femenina era analfabeta.

### Acceso a la Universidad

Finalmente, el conde de Romanones firmó en 1910 la Real Orden que permitía el acceso de las mujeres a la Universidad española y seis años más tarde Emilia Pardo Bazán era la primera mujer en ocupar una cátedra. El acceso de las mujeres a los laboratorios de investigación españoles se promovió con la creación de la Junta de Ampliación de Estudios presidida por Ramón y Cajal, de la que este año celebramos su centenario. En paralelo a la Residencia de Estudiantes, en la que luego aparecerían personajes como Lorca, Dalí o Buñuel, se crea la Residencia de Señoritas que acoge a estudiantes de Farmacia, Medicina, Ciencias y Magisterio. Ésta favorece el intercambio científico con EEUU y Europa mediante la concesión de becas y la creación de nuevos laboratorios de Física y Química en Madrid. María de Maeztu, su primera directora, afirmaba que *“la mujer debe tener las mismas opciones culturales que su compañero e ir al matrimonio con igualdad de derechos y deberes. Es preciso que se abran a las mujeres horizontes para vencer en iguales condiciones que el hombre en la lucha por la vida, sin que tenga que depender de él”*.

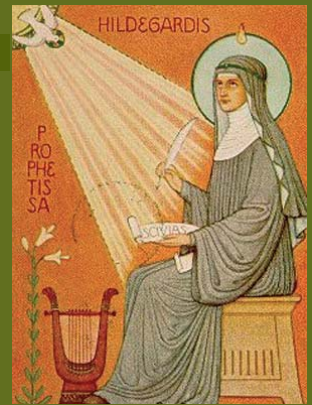
Años más tarde, mujeres como Pilar Primo de Rivera siguieron alimentando los viejos prejuicios, afirmando: *“Las mujeres nunca descubren nada, les falta, desde luego, el talento creador reservado por Dios para inteligencias varoniles; nosotros no podemos hacer nada más que interpretar, mejor o peor, lo que los hombres nos dan hecho”*.

Las Academias de Ciencias, instituciones siempre más vetustas, tardaron en abrirse a las científicas españolas. La primera en entrar en la Academia de Ciencias de Madrid fue la bióloga molecular Margarita Salas en 1988 y la de Farmacia ha tenido su pri-

## MUJERES CIENTÍFICAS

### HILDEGARD VON BINGEN 1098-1179

▷ De origen aristocrático y abadesa de un convento beneditino en el suroeste del imperio alemán, fue una de las personalidades más respetadas de la Alta Edad Media. Sus teorías científicas se derivaban de la cosmología griega, con la existencia de cuatro elementos con propiedades complementarias y cuatro humores. Creía que la enfermedad perturbaba el delicado equilibrio entre los humores y que, comiendo la planta o el animal adecuado, se conseguía un cuerpo sano. Desarrolló una dieta basada en un cereal, la espelta, y actualmente existen en Alemania cadenas de tiendas macrobióticas y bañeríos que siguen sus postulados. Destacan sus tratados de medicina sobre las propiedades de plantas, metales y piedras preciosas, los libros de teología y mística en que relata sus visiones, además de sus más de setenta composiciones litúrgicas y una ópera -de alguien que no había recibido educación musical alguna-, así como su correspondencia con el papa Eugenio III y el emperador Federico I Barbarroja.



### BARBARA MC CLINTOCK 1902-1994

▷ Premio Nobel de Fisiología y Medicina 1983. Seducida por lo vivo, como afirmaba su biógrafa Evelyn Fox Keller. Genetista en una época difícil, cuando la ciencia de los genes empezaba a consolidarse. Profundamente independiente, fue considerada entre sus colegas como excesivamente original y visionaria, y sus teorías estuvieron marginadas durante décadas. La mayoría de sus descubrimientos son logros absolutamente individuales.



Sus trabajos genéticos en el maíz indio, muy popular en Estados Unidos, los realizó de forma muy artesanal, al modo de los antiguos naturalistas. Intentando relacionar el color de los granos de las mazorcas con la composición genética del maíz, descubrió cómo algunos genes o grupos de genes saltaban alegremente a lo largo de los cromosomas y hacían cambiar el color de los granos cuando se asentaban en otra parte. La existencia de estos genes "saltarines", los transposones, fue considerada demasiado audaz en su época; pero décadas más tarde fue confirmada por las nuevas técnicas de biología molecular y le valió el Nobel a su descubridora. Odiaba que en el ambiente científico se la juzgara en razón a su sexo (ella, que había sido educada como un chico por un padre decepcionado por una cuarta hija, a la que regalaba en su más temprana niñez guantes de boxeo).

### RITA LEVI MONTALCINI 1909-



▷ Premio Nobel de Fisiología y Medicina 1986. Neuróloga italiana, de familia judía, el auge del nazismo motivó que sus primeros descubrimientos, sobre el desarrollo embrionario del sistema nervioso en pollos, los realizara en un laboratorio instalado en su dormitorio y en la cocina de su casa. Con la ayuda de su hermano, que le construyó un incubador de huevos, realizaba operaciones de microcirugía sirviéndose de agujas de coser, tijeras microscópicas de oftalmólogo y mini forceps de relojero. En 1947 emigró a Estados Unidos, donde realizó las investigaciones que le valieron el Premio Nobel

(continúa página siguiente)

(Rita Levi-Montalcini)

junto a Stanley Cohen sobre los "factores de crecimiento nervioso", que contribuyen además a la coordinación de los sistemas nervioso, endocrino e inmunológico. Actualmente es una casi centenaria elegante e hiperactiva, que continúa sus investigaciones en neurobiología en Roma (afirma que se vive mejor en Italia, aunque se trabaja mejor en América) y está involucrada en diversas tareas sociales. Fue promotora de la Carta Magna de los Deberes Humanos de 1992, que "se propone afrontar con la máxima urgencia los peligros que amenazan al globo, a la biosfera y a todas las especies vivientes" y es senadora vitalicia por designación del Presidente de la República italiana. En las maratónicas y frecuentemente polémicas sesiones del Senado italiano, ella aguanta hasta el final mientras sus colegas se tienden en los escaños a echar una cabezada.

## MARGARITA SALAS



▷ Bioquímica y pionera de la investigación en Biología Molecular en España. Discípula de su paisano Severo Ochoa, con el que realizó una estancia post-doctoral de tres años en la escuela de Medicina de la Universidad de Nueva Cork, donde descubrió en qué dirección se lee el mensaje genético y dos de las proteínas necesarias para iniciar la síntesis de proteínas. Es Profesora de Investigación del CSIC en el centro de Biología Molecular Severo Ochoa, del que también ha sido directora, donde dirige un grupo dedicado a la investigación del virus Phi-29. Fue a su vuelta a España cuando inició esta línea de investigación junto con su marido Eladio Viñuelas. Pero, buscando una mayor independencia, a principios de los años setenta asumió el liderazgo de esta línea, mientras su marido se dedicaba al estudio del virus de la fiebre porcina africana. Es Académica de la Lengua y de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Y ha recibido numerosos galardones nacionales e internacionales, entre los que destaca el de "Investigadora europea 1999" otorgado por la UNESCO.

mera Presidenta hace unos meses. Pero el ascenso de las estudiantes en la Universidad española es ya imparable, de modo que nuestra joven amiga no debió sentirse muy sola: un 54% de los estudiantes matriculados son mujeres, subiendo a un 64% en el caso de las Ciencias Experimentales. Y aunque las matriculadas en ingenierías apenas alcanzan un 30%, recordemos que su número se ha multiplicado por diez en tres décadas. Además, abandonan los estudios en menor proporción y obtienen a menudo mejores notas que sus compañeros varones; en 2002, de los 183 Premios Nacionales Fin de Carrera, 122 se concedieron a mujeres.

### El techo de cristal

Sin embargo, la tubería de entrada de las mujeres en el sistema español de I+D empieza a tener pérdidas cuando analizamos el profesorado universitario, que en el curso 2002-2003 tenía un 34% de mujeres (aunque la presencia de éstas disminuía cuando aumentaba la categoría profesional, con sólo un 13,7% de catedráticas). En el mismo estudio se contabilizaban sólo cuatro rectoras (tres en Cataluña) en las 73 Universidades españolas.

No debe ser casual que nos encontremos con porcentajes parecidos en la principal institución investigadora de este país junto con la Universidad, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Con-

siderando los datos del 2005, la paridad de sexos es casi total (a favor de las mujeres) en el primer escalafón de la carrera científica, los becarios predoctorales. Ya en plantilla, un 38% de los Científicos Titulares son mujeres y su presencia desciende en los puestos de mayor responsabilidad y mejor remunerados, como Profesores de Investigación o Directores de Centro, en que constituyen cerca de un 20% del total. Recientemente se han incorporado a los planes estratégicos del CSIC para los próximos años *Acciones de equidad de género* ([http://www.csic.es/mujer\\_ciencia.do](http://www.csic.es/mujer_ciencia.do), ver estudios de Flora de Pablo y Eulalia Pérez Sedeño).

Con el "techo de cristal" hemos topado, señoras. Cuanto más alto es el nivel de un puesto de trabajo, más bajo es el porcentaje de mujeres que lo ocupan. Y, tras esta gira por las principales instituciones científicas españolas, nuestra

inquieta estudiante, que ya nació en la Europa comunitaria y con mucha probabilidad ha disfrutado de una beca Erasmus, querrá mirar hacia fuera y entonces tendría un ataque de optimismo. Porque España, según los informes de la UE, ocupa algunos de los primeros puestos en la feminización (porcentaje de mujeres) en el sistema público de I+D. Aunque esto esconde una gran paradoja. En aquellos países de gran desarrollo económico-social, tradición científica, reconocimiento social de la investigación y tradición religioso-cultural tipo calvinista, pocas féminas logran sobrevivir en el mundo académico e investigador. España pertenece al segundo tipo, como otros del área mediterránea: escasa tradición científica y poco reconocimiento social de la investigación, así como hábitos religioso-culturales católicos o similares. En países con economías menos avanzadas la ciencia no está muy integrada en el tejido productivo y su prestigio decae; aquí, a los chicos se les presiona para que elijan carreras más prestigiosas y rentables, con lo que la investigación se feminiza. A la vez, en los países de fuerte influencia católica la familia puede constituir una sólida red de apoyo para ayudar a la mujer de carrera al

cuidado de su prole. Si observamos nuestro entorno, veremos una multitud de abuelos españoles cuidando apasionadamente de sus nietos; los abuelos nórdicos y centroeuropeos han optado más bien por excursiones en bicicleta

por Mallorca o por disfrutar del sol en nuestras costas. Así, si viajamos al centro o el norte de Europa, el dilema frecuente para una científica sería hacer carrera o crear una familia.

Sabe agri dulce este recorrido por universidades, laboratorios y Academias del presente y el pasado. En un último intento de convencer a nuestra recién licenciada de que su destino es la investigación empezando por una Tesis Doctoral, le recordaremos que la ciencia, representada a menudo en los siglos pasados con imágenes de espléndidas mujeres, puede ser así de seductora y apasionante, y hasta generosa si le dedicas pasión y esfuerzo.

Y si hace siglos se afirmaba que enseñar a la mujer añade maldad "a la malicia natural que ellas tienen", diremos, parafraseando a Mae West: *Si somos buenas, somos muy buenas, pero si somos malas, somos mejores.*

*La ciencia, representada a menudo en los siglos pasados con imágenes de espléndidas mujeres, puede ser seductora y apasionante, y hasta generosa si le dedicas pasión y esfuerzo*



# La estrella más masiva

DOS PREGUNTAS DIFÍCILES:  
¿CÚAL ES LA ESTRELLA MÁS  
MASIVA CONOCIDA? ¿EXISTE  
UN LÍMITE DE MASA SUPERIOR  
PARA LAS ESTRELLAS?

Por Jesús Maíz (IAA-CSIC)



Imágenes de Pismis 24 tomadas con la cámara ACS del HST con sucesivas ampliaciones para apreciar la resolución de Pismis 24-1 en dos componentes.

**¿CUÁN GRANDE PUEDE SER UNA ESTRELLA?** Para los astrónomos, "más grande" puede interpretarse como "de mayor radio" o "de mayor masa". El radio de una estrella varía a lo largo de su vida, pudiendo expandirse cientos de veces su valor original poco antes de morir. Las estrellas de mayor radio son las supergigantes rojas, que pueden alcanzar tamaños de varias unidades astronómicas (la distancia del Sol a la Tierra) antes de explotar como supernovas. Se trata de estrellas bastante masivas, entre diez y treinta veces la masa del Sol. No obstante, éstas no son las estrellas más masivas de todas. Existen estrellas bastante más masivas, y de ellas vamos a ocuparnos aquí.

## En busca del récord

(y desenmascarando a los farsantes)

¿Cuál es el récord de masa estelar? Antes de responder a esa pregunta hemos de distinguir entre las masas medidas de forma directa (o masas keplerianas, obtenidas a partir de una órbita o de cambios en velocidad radial) y las medidas de forma indirecta (a partir de su posición en el diagrama HR o de un espectro de alta resolución).

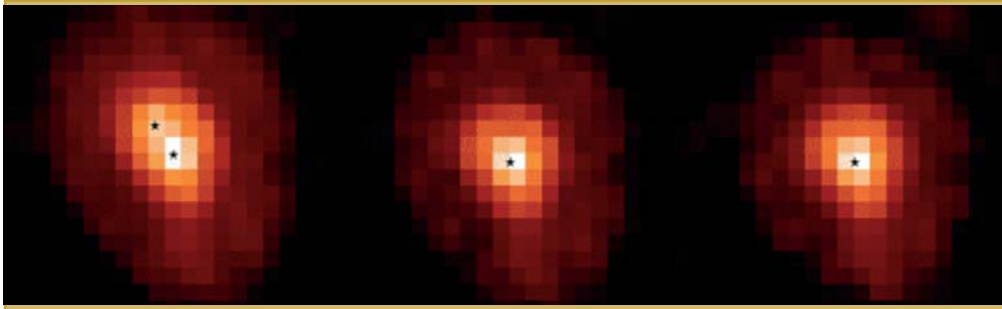
Para las masas medidas de manera directa y, por lo tanto, las que ofrecen una mayor confianza, los dos objetos más masivos son las dos componentes de WR 20a, con  $83 \pm 5$  y  $82 \pm 5$  masas solares respectivamente. Además, las dos componentes de WR 20a

son estrellas de tipo WN6ha, que han perdido ya una parte substancial de su masa debido a sus intensos vientos estelares. Por lo tanto, los valores arriba indicados son sus masas actuales pero sus masas iniciales debieron haber sido aún mayores, quizás en torno a las 100 ó 120 masas solares\*.

El número de masas medidas de manera indirecta es mayor que el de las directas, pero la historia del método de medición nos lleva a ser escépticos. El problema más grave que ha afectado a las masas indirectas elevadas es el de la multiplicidad no resuelta. Así, a principios de los años 80 se propuso que R136a, el objeto situado en el centro de 30 Doradus, era una estrella supermasiva de 2.500 masas solares. Sin embargo, unos años más tarde se descubrió que dicha superestrella era en realidad un cúmulo compacto que, al ser observado con el Telescopio Espacial Hubble (HST), no contenía estrellas más masivas que 120-150 masas solares (en masa inicial).

Otro ejemplo de récord derribado por culpa de la multiplicidad es el de Pismis 24-1, el objeto central del cúmulo Pismis 24. A principios de este siglo, se estimó que su

\*Cuando este número se hallaba en preparación se produjo el anuncio de un nuevo récord: N6C3603A1, una binaria espectroscópica eclipsante con 114 y 84 masas solares



A la izquierda se muestra una imagen de HD 93129A tomada con el HST en la que se aprecia la existencia de dos estrellas, cuyos centros se marcan con los símbolos negros. La imagen tiene solamente 530 milisegundos de arco de tamaño y la estructura compleja que se aprecia en ella es el producto de la óptica del telescopio y del detector. Se puede comparar la imagen con la que aparece en el centro, que muestra a HD 93129B, un objeto que, por lo que sabemos, consiste en una única estrella. La imagen del centro es prácticamente idéntica a la que se aprecia a la derecha, que es un modelo teórico (o PSF) de la apariencia de una fuente puntual observada a través de la óptica del telescopio y del detector. En todos los casos se usa una escala de intensidad logarítmica para incluir tanto las zonas brillantes como las débiles.

masa oscilaba entre 210 y 291 veces la del Sol. Observaciones más recientes obtenidas con el HST muestran Pismis 24-1 como dos fuentes puntuales claramente separadas, NE y SW. Además, una de las dos fuentes puntuales en las imágenes del HST es en realidad un sistema de dos estrellas, elevando el número total a tres. Las masas (una vez resuelto el sistema en tres componentes) resultan ser de  $\sim 96$ ,  $\sim 64$  y  $\sim 64$  masas solares, valores elevados pero muy inferiores a la estimación anterior.

Un tercer ejemplo de objeto muy masivo recientemente resuelto en dos componentes es HD 93129A, con una masa estimada en 2002 de 127 veces la de nuestro Sol. Dos años más tarde se descubrió que en realidad HD 93129A está formado por dos objetos, uno dos veces y media más brillante que el otro. La masa total del sistema parece ser cercana a las 200 masas solares.

La gravedad del problema de la multiplicidad oculta se manifiesta aún más claramente cuando nos damos cuenta de que Pismis 24-1 y HD 93129A son dos de las candidatas al trono de los pesos pesados más cercanas al Sol, ya que se hallan

solamente a unos 8.000 años luz de nosotros. Para las candidatas situadas a mayor distancia, una misma separación física entre ellas se traduce en una menor separación angular en el cielo, lo que permite que los sistemas múltiples se enmascaren con mucha mayor facilidad. Para objetos extragalácticos la situación se puede volver desesperada. Por ejemplo, si colocáramos HD 93129A a la distancia de M33 (una galaxia del Grupo Local rica en estrellas masivas), no sólo seríamos incapaces de distinguir sus dos componentes con el HST sino que incluso HD 93129B (otra estrella muy masiva) se añadiría al conjunto y estaríamos confundiendo tres estrellas por una sola.

¿Con qué nos quedamos entonces como estrella más masiva? En el caso de las dos componentes de WR 20a hay pocas dudas de que sus masas actuales están en torno a las 80 masas solares y de que sus masas iniciales debieron ser superiores en un 25%. En cuanto a las estrellas con mediciones indirectas, si tuviera que elegir un candidato a la estrella Galáctica más masiva mi apuesta iría por Eta Carinae, con

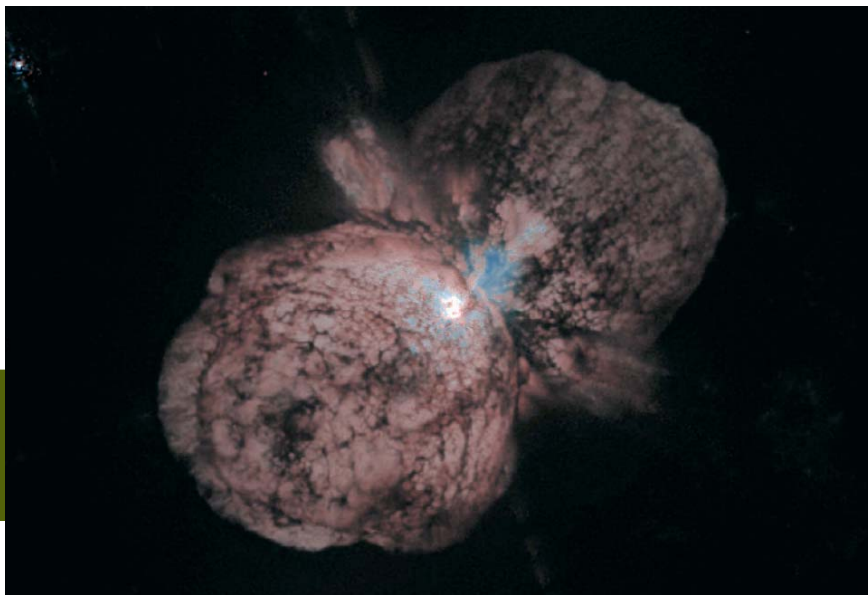
una masa de unas 150 veces la del Sol. A mediados del S XIX experimentó una gran erupción en la que expulsó en torno a diez masas solares (produciendo la actual nebulosa bipolar que se observa a su alrededor). Para que una estrella expulse esa cantidad de masa sin ser destruida y manteniendo una alta luminosidad es necesario que su masa inicial sea muy elevada.

### Mentiras, mentiras de las gordas y estadísticas

Buscar estrellas supermasivas en el entorno solar es difícil por varias razones: nuestro entorno inmediato (distancias de 5.000 años luz o menos) es relativamente pobre en regiones de formación estelar intensa, donde las estrellas más masivas suelen formarse. Por otro lado, observar a través del plano de la Galaxia puede inducir a confusiones en la medida de la distancia, lo que hace difícil derivar las propiedades de las estrellas. Finalmente, el plano de la Galaxia es rico en nubes de polvo que en unos casos esconden la estrella en luz visible y en otros introducen grandes incertidumbres en su estudio.

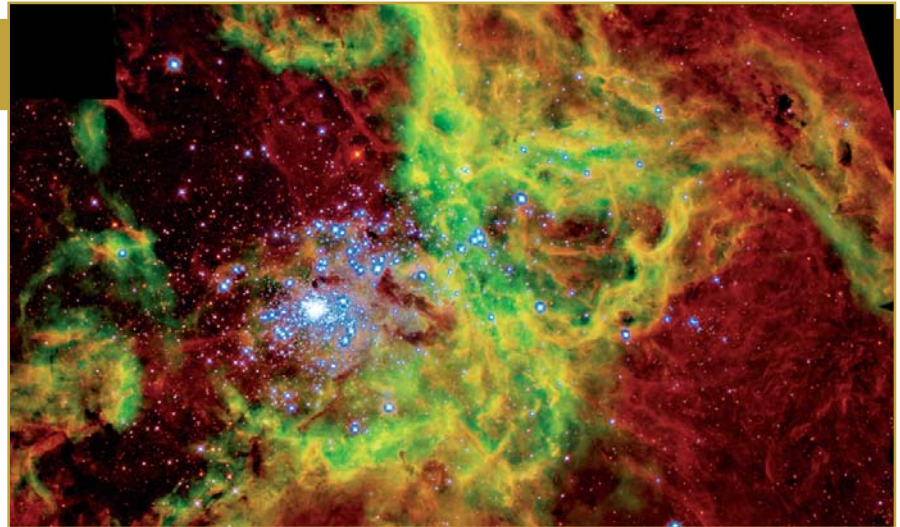
Ante estas circunstancias, los astrónomos recurren a los cúmulos masivos jóvenes, enormes agrupaciones de estrellas que combinan las mejores condiciones para la búsqueda de estrellas supermasivas (proximidad, escasez de nubes de polvo en la línea de visión, edad y número total de estrellas). Parte de los estudios se han centrado en 30 Doradus, un cúmulo situado en la Gran Nube de Magallanes (a una distancia de 165.000 años luz) y con una masa total en estrellas de unas 100.000 masas solares.

La ventaja de los cúmulos masivos jóvenes reside en que en ellos deben existir varias decenas de estrellas supermasivas (más masivas que 50 masas solares). Eso permite hacer estudios estadísticos y determinar no solamente cuál es la estrella más masiva en ese cúmulo sino cuál es la probabilidad de que se forme una estrella de una masa determinada (a dicha función los astrónomos la llaman la función inicial de masa o FIM). En concreto, la pregunta que nos interesa aquí es si la FIM se extiende hasta masas infinitas (aunque la probabilidad de formar una estrella de, por ejemplo, más de 1000 masas solares sea extremadamente



La estrella Eta Carinae, con una masa de unas 150 veces la del Sol. A mediados del S XIX experimentó una gran erupción en la que expulsó en torno a diez masas solares (produciendo la actual nebulosa bipolar que se observa su alrededor).

30 Doradus, un cúmulo situado en la Gran Nube de Magallanes que contiene con una masa total en estrellas de unas 100.000 masas solares. Fuente: HST.



baja) o si, por el contrario, existe un límite superior de masa a partir del que es imposible que se forme una estrella.

En 1998, Massey y Hunter usaron el HST para medir la FIM de 30 Doradus y encontraron que existían varias estrellas con masas entre 120 y 150 veces la del Sol (pero ninguna mayor) y que, aunque el cúmulo era rico en estrellas masivas, simplemente no era lo suficientemente grande como para que existieran estrellas de 200 ó más masas solares. En otras palabras, sus resultados eran compatibles con que no existiera un límite superior de masa. Unos años más tarde, varios grupos de investigadores (Weidner y Kroupa 2004, Oey y Clarke 2005, Koen 2006) demostraron que en el estudio de 1998 el análisis estadístico fallaba y que los datos eran consistentes con un límite superior de masa cercano a las 150 masas solares (con un cierto colchón entre 120 y 200). 30 Doradus sí que es suficientemente grande como para tener estrellas más masivas si estas pudieran formarse, y otro estudio similar realizado por Don Figer para el cúmulo de Arches demostró que éste se halla en las mismas circunstancias: tiene suficiente masa como para que hubiera estrellas de 300 masas solares pero no las hay. Por lo tanto, en la actualidad los astrónomos observacionales piensan que en nuestra Galaxia y en las más cercanas existe un límite superior de masa que impide que se formen mastodontes estelares.

### El porqué del límite

La existencia de un límite superior de masa estelar en nuestro entorno sugiere dos preguntas: ¿Cuál es su causa? ¿Es ese límite universal? Para responder a la primera pregunta hemos de empezar por el mecanismo de formación de estrellas masivas. Las estrellas de baja masa se forman a partir del colapso gravitatorio de una nube de gas. La nube se aplana al contraerse y acaba formando un disco alrededor de la protoestrella. El material del disco es recogido lentamente por el objeto central, por lo que recibe el nombre de disco de acreción. El mecanismo para las estrellas de alta masa está menos claro y en la actualidad existen dos alternativas: discos de acreción y colisiones estelares. El primer mecanismo es una modificación del de las estrellas de masa baja que tiene en cuenta las condiciones específicas de las estrellas de masa elevada, especialmente el cómo vencer los

*La existencia de un límite superior de masa estelar sugiere dos preguntas: ¿Cuál es su causa? ¿Es ese límite universal?*

problemas derivados del límite de Eddington. Este límite establece que una estrella demasiado luminosa ejerce tanta presión de radiación sobre sus capas externas que se vuelve inestable y supone una limitación para la tasa de acreción de masa en torno a una estrella masiva. El segundo mecanismo, las colisiones estelares entre (proto)estrellas de menor masa, implica que las estrellas de alta masa no se pueden formar directamente sino a partir de objetos preexistentes. Las simulaciones por ordenador indican que las colisiones se producirían solamente cuando la densidad de protoestrellas fuera muy elevada, por lo que se daría únicamente en cúmulos estelares muy masivos y muy densos. Los dos mecanismos dan explicaciones distintas para un posible límite superior de masa. Si las estrellas masivas se forman por discos de acreción, una masa máxima podría existir debido al límite de Eddington, que impediría que estrellas de, por ejemplo, 200 masas solares se formaran por el efecto de la presión de la radiación (o, si se formaran por accidente, se disgregarían de manera casi inmediata). Si, por el contrario, las estrellas masivas se formaran por medio de colisiones, el límite superior dependería del número de éstas y sería mayor cuanto más denso fuera el cúmulo donde se forman las estrellas.

¿Cuál de los dos mecanismos de formación de estrellas masivas es el correcto? Hoy en día no existe una respuesta definitiva e incluso podría resultar que los dos representarían un papel importante. Los indicios

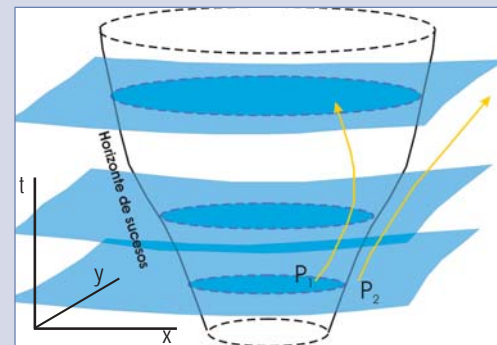
observacionales existentes, no obstante, parecen favorecer a los discos de acreción como mecanismo predominante. Así, como vimos con anterioridad, Pismis 24 es un cúmulo con varias estrellas supermasivas (además de las tres componentes de Pismis 24-1, otra estrella, Pismis 24-17, ronda las 100 masas solares) y es un cúmulo de tamaño mediano y no especialmente denso. Si el mecanismo dominante para la formación de estrellas masivas fueran las colisiones estelares no esperaríamos ver tantas estrellas supermasivas en Pismis 24. Otro ejemplo a favor de la formación de estrellas masivas por discos de acreción es NGC 604, un cúmulo muy poco denso (tan poco que, de hecho, no parece ser un cúmulo propiamente dicho, esto es, un objeto ligado gravitacionalmente) y sin un núcleo definido pero tan masivo como 30 Doradus. NGC 604 aparenta haberse formado con un número similar de estrellas supermasivas al de 30 Doradus, lo que no debería haber ocurrido de haberse formado por colisiones estelares. Por lo tanto, aun a falta de una respuesta definitiva, el límite de Eddington parece ser el responsable más probable de la existencia de un límite superior de masa en nuestro entorno.

Otro asunto distinto es la situación para las primeras generaciones de estrellas que se formaron en el Universo. Dichas estrellas eran extremadamente pobres en metales, lo que tiene una consecuencia importante para el límite superior de masa. A menos metales, menor absorción de la radiación en la atmósfera de una estrella y, por lo tanto, menor presión y resistencia a la acreción de material y menor efecto de posterior disgregación por vientos estelares. Por lo tanto, es posible que las primeras estrellas sí que fueran extremadamente masivas y superaran los varios cientos de masas solares.

# CRITERIOS TERMODINÁMICOS EN LA EVOLUCIÓN DE AGUJEROS NEGROS

[1] Según la teoría de la relatividad de Einstein, la presencia de materia en el Universo tiene el efecto de distorsionar la estructura del espacio y el transcurrir del tiempo a su alrededor. Hablar de agujeros negros y ondas gravitacionales es hablar de diferentes tipos de distorsión del espacio-tiempo. Un agujero negro equivaldría a un "pozo" en este espacio-tiempo mientras que una onda gravitacional no es más que la propagación de una ondulación del espacio-tiempo.

[2] Se suele decir que un agujero negro es como una estrella congelada, con una gravedad tan fuerte que no deja escapar ni tan siquiera la luz. La definición precisa de agujero negro tal y como se usa en la literatura científica es sin embargo la que resume el texto. Un agujero negro es una región vacía (sin materia) del espacio-tiempo que aparece después de la implosión total de una estrella, hasta alcanzar un radio cero, bajo su propia gravedad. Situémonos en un punto concreto del espacio, digamos  $x$ , e imaginemos que en un instante dado,  $t$ , enviamos un rayo de luz desde este punto hacia observadores arbitrariamente alejados. Si el rayo no es recibido por estos observadores decimos que el punto del espacio-tiempo caracterizado por  $x$  y  $t$  pertenece al agujero negro. Si es recibido decimos que el punto  $P = (x, t)$  no pertenece al agujero negro. Se llama horizonte de sucesos a la superficie que separa la región cuyos puntos pertenecen al agujero negro de aquella cuyos puntos no pertenecen al mismo.



La presencia de agujeros negros en rápida evolución dinámica juega un papel fundamental en algunos de los fenómenos astrofísicos más violentos que se conocen. Como ejemplos podemos citar los denominados "estallidos de rayos gamma", así como la coalescencia de binarias de agujeros negros, uno de los mecanismos más eficientes de generación de ondas gravitatorias [1]. Tradicionalmente se ha caracterizado un agujero negro como una región muy compacta cuyas señales luminosas nunca alcanzan a un observador lejano, y que se encuentra separada del resto del Universo por una frontera denominada horizonte de sucesos [2]. Esta visión ha resultado muy útil en el estudio del régimen estacionario o de equilibrio de estos objetos, dando lugar en particular a las leyes de la termodinámica de agujeros negros [3]. Un rasgo fundamental de esta descripción es su denominado "carácter global", que implica que para localizar el horizonte de sucesos uno necesita conocer el futuro de todo el espacio-tiempo [4]. Esta naturaleza global plantea dos importantes problemas en el estudio de la dinámica de estos objetos. El primer problema, de carácter muy práctico, surge al tratar de describir en detalle la evolución del agujero negro. Para ello una parte del conocimiento en un instante inicial, de una "instantánea" del espacio que contiene el agujero negro y, a

continuación, se determinan nuevas instantáneas correspondientes a tiempos posteriores mediante la resolución de las ecuaciones de la Relatividad General [5]. En consecuencia, el espacio-tiempo que contiene al agujero negro (esto es, el conjunto de instantáneas del espacio a distintos tiempos) sólo se obtiene como resultado "a posteriori", una vez que hemos llevado a cabo todo el proceso. Esto plantea el problema fundamental del "seguimiento" del agujero en "tiempo real" durante la evolución, puesto que la naturaleza global del horizonte de sucesos impide su localización espacial en tiempos intermedios dados, cuando todavía no conocemos todo el desarrollo futuro. El segundo problema es de carácter conceptual y tiene que ver con lo que un astrofísico quiere decir cuando habla de un agujero negro. Al señalar un punto del espacio como posible candidato de agujero negro, estamos haciendo una afirmación sobre el Universo en un instante dado. Esto entra claramente en tensión con una descripción que exige el control de toda la evolución futura. Ambos problemas reflejan la necesidad de desarrollar una caracterización de la noción de agujero negro que sólo precise del conocimiento de propiedades físicas en regiones localizadas del tiempo y del espacio. Esto ha dado lugar recientemente a un nuevo paradigma para el estudio de agujeros negros, conocido como "horizontes cuasi-

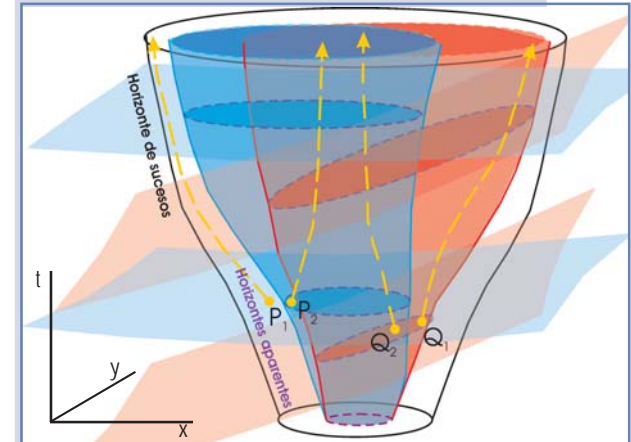
locales", en los que la noción de horizonte de sucesos es sustituida por la de horizonte aparente. Éste último se define como la frontera de la región cuyos puntos no pueden emitir luz en la dirección (sentido) que apunta al exterior del agujero [6]. Así, puede ocurrir que un punto sea capaz de emitir "hacia" un observador lejano (exterior), pero que esa luz acabe siendo atrapada y cayendo de vuelta hacia el interior del agujero: decimos que ese punto está en el interior del horizonte de sucesos (su luz no alcanza al observador lejano) pero está fuera del horizonte aparente (es capaz de emitir inicialmente hacia afuera). Como vemos, el horizonte aparente siempre se encuentra en el interior del de sucesos. Este enfoque cuasi-local ha permitido extender el estudio de agujeros negros a situaciones en las que éstos crecen violentamente. La nueva caracterización es utilizada con éxito en las simulaciones numéricas de la fusión de agujeros negros tanto estelares como supermasivos, en el colapso gravitatorio de estrellas de neutrones en rotación rápida y, en general, permite la extracción de información física en escenarios astrofísicos donde la gravedad es muy intensa. Sin embargo, hay un precio a pagar: la evolución temporal del horizonte aparente no está definida de forma unívoca. Si bien esto no es grave para la extracción de las ondas gravitatorias emitidas, que se realiza a gran dis-

tancia del agujero, sí plantea ambigüedades en la descripción de la física en el entorno del agujero y afecta a las propiedades matemáticas de las ecuaciones, lo que puede ser crítico para la estabilidad de la construcción numérica. En nuestro trabajo\* proponemos un criterio termodinámico para la determinación única de la evolución de un agujero negro fuera del equilibrio: se privilegia aquella evolución que maximiza el ritmo de crecimiento de la entropía del agujero negro [7]. Este enfoque permite el transvase de conceptos y técnicas desarrollados en el estudio general de la "termodinámica de sistemas fuera del equilibrio" al contexto gravitatorio, proporcionando una vía para la extensión de la termodinámica de agujeros negros a regímenes más allá del equilibrio, elemento clave en el control de magnitudes físicas como la masa o el estado de rotación de los agujeros. Junto a aspectos formales como el estudio geométrico/analítico de la estabilidad de los sistemas de ecuaciones en derivadas parciales que aparecen en Relatividad General, la principal aplicación de este trabajo es la mejora en la precisión y comprensión física de las actuales simulaciones numéricas de agujeros negros en contextos astrofísicos.

JOSÉ LUIS JARAMILLO (IAA)  
deconstrucción: CARLOS BARCELÓ (IAA)

[7] Es decir, se elige el tubo cuya área crece más deprisa.

[6] La definición de horizonte aparente no involucra lo que van a hacer los rayos de luz en el futuro; sólo se necesita saber cuál es su tendencia en el presente. El problema ahora es que "el presente" en Relatividad General no es un concepto universal: dos observadores diferentes pueden tener conceptos distintos de presente. Las instantáneas de las que se compone la historia del Universo pueden ser tomadas de diversas formas. Un punto que en una instantánea está dentro del horizonte aparente en otra puede estar fuera.



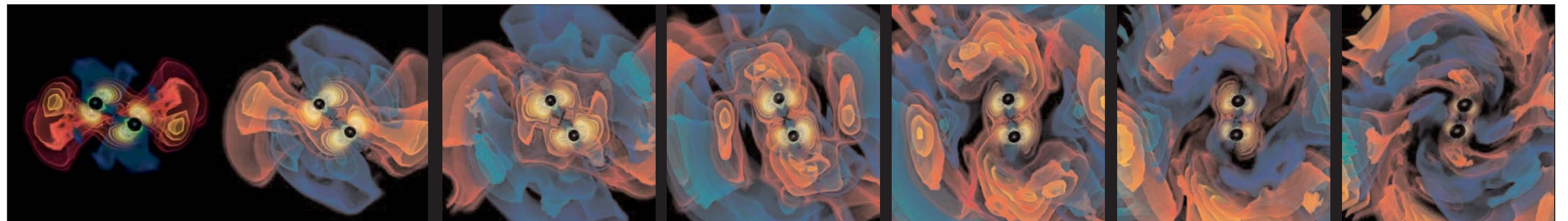
Representación de dos sucesos de horizontes aparentes distintos (tubos azul y naranja). Ambos se sitúan en el interior del horizonte de sucesos. Vemos que las instantáneas (cortes) pueden ser diferentes para observadores distintos

[3] Uno de los logros más importantes y elegantes de la teoría de agujeros negros ha consistido en mostrar rigurosamente que, a pesar del exotismo de estos extraños objetos, su comportamiento a gran escala (o macroscópico) está sujeto exactamente a las mismas leyes que cualquier otro cuerpo de la naturaleza: las leyes de la termodinámica. En particular, la primera ley de la termodinámica (de conservación de la energía) nos dice que el aumento de masa del agujero implica una variación en su área (la cual nunca puede dis-

minuir) y en su estado de rotación. De paso, establece una identidad fundamental entre el área del horizonte y la entropía del agujero, una especie de medida de nuestro desconocimiento del interior. Esta sorprendente identidad entre las leyes de la termodinámica y las de los agujeros negros, aún por comprender en su totalidad, constituye una de las más profundas intuiciones de la física actual. Como tal, juega un papel clave en líneas de investigación básicas como la gravedad cuántica.

[4] Para saber si un punto del espacio-tiempo pertenece o no a un agujero negro hay que conocer completamente el comportamiento futuro de los rayos de luz emergentes desde ese punto. Pero, en un momento dado, ¿cómo podemos conocer este futuro? Por ejemplo, podría ser el caso que todos nosotros estuviéramos ya en un agujero negro sin saberlo. Si una nube esférica con suficiente materia nos estuviera rodeando a gran distancia y se encontrara implosionando, un rayo enviado por nosotros hacia observadores más allá de la nube nunca sería recibido por estos. La definición estricta de agujero negro no parece muy práctica desde un punto de vista astrofísico. Uno preferiría definir los objetos por lo que son aquí y ahora. Sin embargo en Relatividad General esto no es una tarea sencilla.

[5] Podemos imaginar la historia del Universo como una sucesión de instantáneas, igual que una película de cine es una sucesión de fotografías (esto representan tanto los cortes en la imagen [2] como en la sucesión de imágenes a pie de página). Las ecuaciones de la Relatividad General permiten, a partir de una de estas instantáneas, predecir cómo va a ser la siguiente. Es como cuando se calcula dónde se va a encontrar un planeta dentro de unos meses sabiendo dónde se halla en este momento. De hecho, los investigadores que trabajan en lo que se conoce como Relatividad Numérica pretenden determinar, dada una instantánea inicial, cómo son las instantáneas siguientes con sofisticados programas informáticos. Ya que las trayectorias de los rayos de luz se ven afectadas por la presencia de materia (cualquier planeta, galaxia, etc.), para poder conocer estas trayectorias completamente primero tenemos que calcular cómo es la distribución de materia en el Universo ahora y en el futuro.



Distintas instantáneas de la coalescencia de dos agujeros negros en fase de caída espiral y rotando en sentido horario con la consiguiente emisión de ondas gravitatorias. Simulación numérica: Albert Einstein Institute (AEI); visualización científica: W. Bengert (Zuse Institute Berlin/AEI).

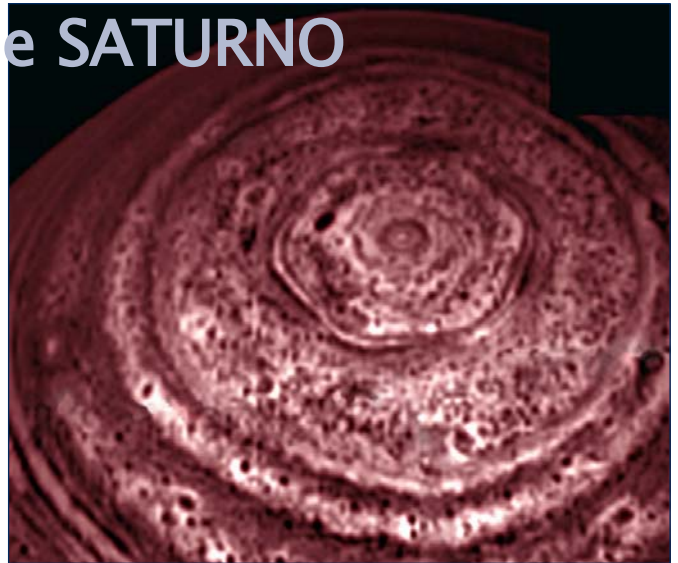
\* E. Gourgoulhon, J.L. Jaramillo, Area evolution, bulk viscosity, and entropy principles for dynamical horizons, Phys. Rev. D 74, 087502 (2006).

## Los peculiares polos de SATURNO

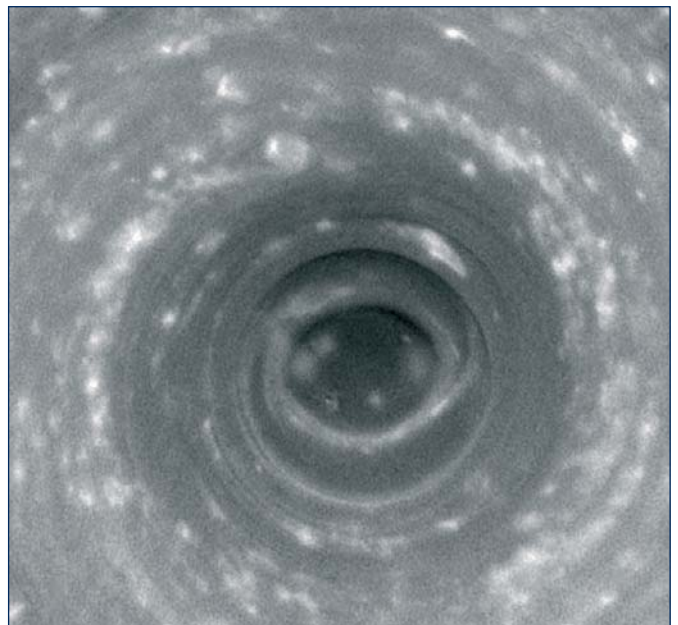
El planeta Saturno parece querer dejar atrás su estigma como “planeta de los anillos”. Para muestra, las últimas imágenes de sus regiones polares.

► Las regiones polares de Saturno se presentan como estructuras nubosas bien distintas a las estructuras de cinturones y zonas que aparecen en el resto del planeta. Podemos encontrar la explicación de estas diferencias en los distintos mecanismos de formación de aerosoles (partículas en suspensión) que afectan a las regiones polares y al resto del planeta. Aparte de los procesos fotoquímicos que afectan al disco planetario en su totalidad, el origen de los aerosoles polares parece estar relacionado con el bombardeo de partículas energéticas a altas latitudes. En un fenómeno igual al de las auroras terrestres, las partículas energéticas (iones y electrones) ionizarían el hidrógeno atmosférico iniciando una serie de reacciones en cadena que darían lugar a largas cadenas de hidrocarburos. El gradiente de temperatura latitudinal y vertical asociado con el calentamiento auroral puede dar lugar a un efecto combinado de transporte horizontal y vertical que generaría caprichosas estructuras de nubes en las regiones polares. Sin embargo, hasta a la mente más imaginativa le cos-

taría sospechar una estructura nubosa en forma de hexágono casi perfecto en las regiones polares. Pues bien, exactamente esto es lo que ha fotografiado recientemente la cámara infrarroja de la sonda Cassini. Además, sabemos que las imágenes en el infrarrojo nos muestran las capas más profundas (y calientes) de la atmósfera. Por lo tanto, a partir de estas imágenes también podemos obtener información sobre la altura de estas nubes en la atmósfera. De ellas podemos deducir que la peculiar estructura hexagonal se encuentra unos 100 km más profunda que el resto de las nubes. Además, esta estructura hexagonal ya fue observada por los *Voyager 1* y *2* en los años 80, por lo que parece ser una estructura bastante estable en la atmósfera. Pero, si encontramos un hexágono en la región polar norte, ¿qué podemos encontrar en el polo sur? ¿Presentará una estructura similar? Curiosamente, la región polar sur presenta una estructura bastante diferente, aunque igual de sorprendente. Como podemos ver en una de las imágenes, la región polar sur presenta una estructura muy similar a la de los huracanes



Polo Norte de Saturno.



Polo Sur de Saturno.

terrestres, desplegando dos brazos espirales que se extienden desde el anillo central y abarcando

un área oscura dentro de un brillante y grueso anillo de nubes.

**Olga Muñoz (IAA).**

## Primeros resultados de AKARI

Uno de los resultados destacados es el estudio de la formación de varias generaciones de estrellas en la región IRC4954/4955

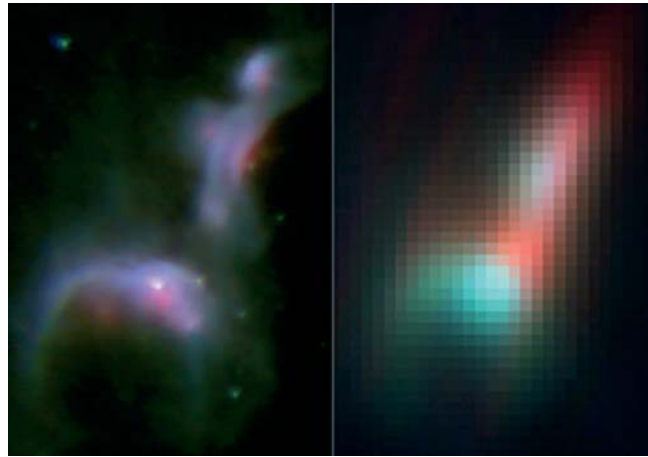
► El satélite japonés AKARI, lanzado en febrero de 2006, tiene como misión principal realizar un cartografiado completo del cielo en el infrarrojo, mejorando el realizado hace ya más de veinte años por

IRAS, el primer satélite infrarrojo. AKARI lleva a bordo un telescopio de 68,5 cm con instrumentación capaz de realizar observaciones en el infrarrojo cercano, medio y lejano, abarcando un rango de lon-

gitudes de onda comprendido entre 1,7 y 180 micras. Aunque parte del infrarrojo cercano y medio es accesible con telescopios desde tierra, la mayor parte de la radiación infrarroja, especial-

mente la del infrarrojo lejano, es bloqueada por la atmósfera y por ello hay que observarla desde el espacio. Los telescopios infrarrojos pueden penetrar en las regiones del espacio muy oscuras por el polvo, tales como las nubes moleculares interestelares, detectar objetos fríos como los planetas en órbita alrededor de otras estrellas y ver objetos con un corrimiento al rojo muy alto, pertenecientes a las épocas más tempranas de la historia del Universo.

Los primeros resultados científicos de la misión AKARI fueron presentados el pasado mes de marzo en la reunión anual de la Sociedad Astronómica de Japón. Uno de los resultados destacados es el estudio de la formación de varias generaciones de estrellas en la región IRC4954/4955 (en la imagen). En la parte izquierda de la imagen se muestra la emisión en el infrarrojo medio de una zona aproximadamente de 13x20 años luz, donde pueden apreciarse dos estructuras en forma de arco posiblemente formadas por material empujado por una estrella masiva. La parte de la derecha muestra la emisión en el infrarrojo lejano, donde las zonas que aparecen en azul son las más calientes y las que aparecen en rojo corresponden a las partes más frías (completamente invisibles con un telescopio óptico), que



contienen grandes cantidades de material que puede formar una nueva generación de estrellas. La formación estelar en esta región había sido estudiada previamente en gran detalle por A. Delgado (IAA) y colaboradores, a través de observaciones en el visi-

ble utilizando el telescopio de 1,5 m del Observatorio de Sierra Nevada y el telescopio de 4,2 m William Herschel del Observatorio del Roque de los Muchachos (*Astronomical Journal*, 2004, 128, 330-342).

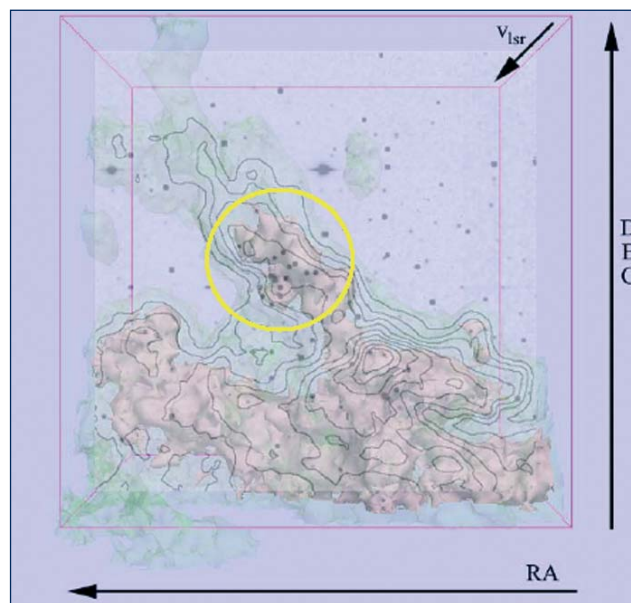
Guillem Anglada (IAA).

## Tecnología médica aplicada a las estrellas

Astrofísicos y médicos de la universidad de Harvard han desarrollado una fructífera colaboración que ha culminado en la identificación de nuevas regiones de formación estelar en la muy estudiada nube molecular de Perseo.

► Los astrofísicos estaban interesados en la visualización de datos espectrales con el fin de mejorar el entendimiento de la estructura de las nubes moleculares. Resulta especialmente interesante la identificación de núcleos densos (*clumps*) en la nube, donde las estrellas se forman en grupos compactos. Para poder identificar estos núcleos densos se combinan las imágenes bidimensionales obtenidas con los datos de la velocidad con la que cada parte de la nube se mueve en la dirección hacia el observador, que se calculan a partir de los datos espectrales. Así se obtiene una descripción tridimensional de la nube que permite identificar con mayor facilidad los núcleos densos.

Tradicionalmente, la búsqueda de núcleos densos se ha realizado



Superposición de una imagen tradicional en el primer plano (contornos grises de abundancia relativa de  $^{13}\text{CO}$ ) con el resultado de un modelo tridimensional (RA= ascensión recta, DEC=declinación,  $v_{\text{lsr}}$ =velocidad). Un círculo amarillo marca un cúmulo estelar joven que se corresponde con una estructura prominente del modelo tridimensional pero que no se refleja en una acumulación de líneas en la representación tradicional.

## EN BREVE

### ¿"Playas" en Titán?

► La nave Cassini ha obtenido, mediante técnicas de radar, esta imagen de la superficie de Titán, una de las lunas de Saturno. La región oscura apenas reflejaba las señales de radar, un efecto esperable en zonas relativamente llanas que quizá correspondan con una superficie líquida. Además, la topología -similar a las regiones costeras terrestres- parece insistir en el carácter líquido de la región, que podría alcanzar las decenas de metros de profundidad. No se trataría, sin embargo, de un océano de agua líquida, sino de metano y etano.



### La más brillante

► La explosión de supernova catalogada como SN2006gy no sólo superó en brillo a la galaxia que la alberga, NGC 1260, sino también a la mayoría de explosiones de supernova registradas hasta la fecha.



Las imágenes, tomadas por el Observatorio de Rayos X Chandra, apuntan a que la estrella progenitora de esta explosión era unas cien veces más masiva que el Sol.

proyectando los datos espectrales sobre las imágenes (ver figura). La idea de los científicos de Harvard consistía en realizar el análisis en tres dimensiones para facilitar la identificación automática de los núcleos densos. Cuando analizaron las posibilidades que ofrecían los programas astrofísicos para representar imágenes y modelos tridimensionales en el espacio se dieron cuenta de que aún no disponían de los programas de visualización adecuados. Antes de

invertir mucho esfuerzo en el desarrollo de un nuevo programa, los científicos se preguntaron si no habría algún otro campo donde los problemas a los que se enfrentaban estuviesen ya resueltos.

La respuesta a su pregunta se hallaba en la radiología, donde la reconstrucción, visualizado y modelado tridimensional a partir de imágenes bidimensionales es una práctica rutinaria que permite diagnósticos muy precisos. La determinación del volumen y posi-

ción de un tumor o el diagnóstico y localización de una estenosis son algunas de las aplicaciones que, con ayuda de visualizadores, han adquirido una gran exactitud permitiendo tratamientos mínimamente invasivos.

Del trabajo conjunto de médicos, ingenieros, informáticos y astrofísicos resultó una versión del programa utilizado en medicina adaptado para su utilización con datos astrofísicos. Como primera prueba se analizaron datos espectrales del

cúmulo IC348, un cúmulo estelar joven localizado en la nube molecular de Perseo. Este cúmulo había sido intensamente observado en diferentes longitudes de onda, por lo que un gran número de núcleos densos eran ya conocidos. Con el nuevo programa pudieron identificarse 217 núcleos de los que 20 pueden tratarse de fuentes anteriormente no catalogadas.

**José Raya García del Olmo**  
(*Department of Clinical Radiology, University Hospital Munich*).

## Escombros planetarios en estrellas dobles

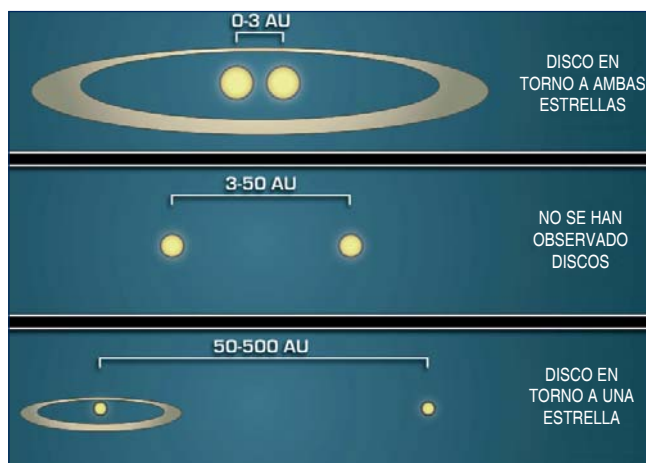
Gracias al telescopio Spitzer (NASA) se han hallado discos de escombros polvorientos en torno a estrellas dobles relativamente cercanas entre sí



► Las espectaculares puestas de soles dobles a las que nos tienen acostumbrados las películas de ciencia ficción podrían ser más comunes de lo que imaginamos. Utilizando el telescopio espacial infrarrojo Spitzer, un grupo de astrónomos ha descubierto que los sistemas planetarios podrían ser igual de abundantes alrededor de estrellas dobles que alrededor de estrellas solitarias como nuestro Sol. Más de la mitad de las estrellas de nuestra galaxia son dobles o binarias, lo que sugiere que el Universo podría estar repleto de planetas con dos soles. Los astrónomos sabían previamente que los planetas podían formarse en sistemas de estrellas dobles excepcionalmente separadas, en los que las estrellas están alejadas entre sí más de mil veces la distancia Sol-Tierra (>1000 Unidades Astronómicas, o UA). De los aproximadamente 200 planetas extrasolares conocidos, unos 50 orbitan alrededor de uno de estos gemelos estelares extremadamente separados.

Los estudios de este trabajo se han realizado para estrellas menos separadas entre sí: entre las 0 y las 500 UA. Hasta hace poco se desconocía cómo podría afectar la proximidad de estrellas al crecimiento de los planetas, aunque en el 2005 se encontró el primer candidato a planeta extrasolar orbitando un sistema estelar múltiple. Los astrónomos que han usado el Spitzer no han encontrado planetas, pero sí discos de escombros polvorientos en sistemas de estrellas dobles. Estos discos se componen de cientos de miles de trozos de roca, similares a asteroides, que no han llegado a formar verdaderos planetas y cuya presencia indica que el proceso de formación planetaria ha tenido lugar alrededor de una estrella. Se han encontrado discos de este tipo en 69 sistemas estelares binarios situados a distancias entre los 50 y los 200 años luz de la Tierra. Todas estas estrellas son algo más jóvenes y más masivas que nuestro Sol. Aproximadamente el 40% de estos sistemas presentan discos, porcentaje algo mayor que el encontrado para un conjunto similar de estrellas solitarias.

Los astrónomos quedaron impresio-



Arriba, una puesta de sol doble ficticia. Abajo, discos planetarios en torno a sistemas estelares dobles. Fuente: NASA/JPL/Univ. Arizona.

nados al encontrar que estos discos son aún más frecuentes (60%) alrededor de las estrellas dobles cercanas entre sí: aquellas separadas sólo entre 0 y 3 UA. Para estos casos, además, el disco se encuentra "abrazando" ambas estrellas, y no sólo una. Planetas alrededor de estas binarias cercanas son los que podrían disfrutar de puestas de sol como las de las películas de ciencia ficción. Este resultado puede indicar que la formación de plane-

tas se ve favorecida por la presencia de estas binarias cercanas entre sí, o que este tipo de estrellas son más ricas en polvo. Los resultados de este estudio también revelan que no todos los sistemas binarios son lugares óptimos para la formación de planetas. Sólo estrellas dobles poco separadas o lo bastante alejadas entre sí son lugares favorables para que crezcan planetas.

**Pablo Santos (IAA).**

# Agujero negro girando al límite

Recientemente, un grupo de científicos liderados por McClintock y Narajan, del *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics*, han medido la rotación de un candidato a agujero negro que se encuentra en los límites de lo posible según la teoría de la Relatividad General

► Newton se dio cuenta de una propiedad fundamental de la materia: todo trozo de materia en el Universo atrae a todo otro trozo; es lo que llamamos gravitación. La relatividad general, la teoría con la que entendemos la gravitación en la actualidad, nos dice que esta tendencia atractiva es imparable. Si ponemos suficiente materia junta, ésta se hundirá bajo su propia gravedad hasta formar un agujero negro. Así pues, los agujeros negros serían como sumideros de materia en el espacio. Estos sumideros pueden estar en reposo o girando con respecto a las estrellas fijas. De hecho, para un observador alejado de uno de estos sumideros, como es nuestro caso, existen dos números que lo caracterizan completamente a cada instante: la cantidad de materia que ha tragado (o, correspondientemente, su masa) y la rotación que posee. El primer número nos dice cuál es la atracción gravitatoria que va a ejercer en cuerpos cercanos; el segundo requiere una explicación adicional.



Ilustración de un agujero negro girando con un disco de acrecimiento de materia a su alrededor. La zona interior del disco, en color blanco, es la que presenta una fuerte emisión en rayos X.

En la actualidad conocemos otra propiedad universal de la materia, aparte de su tendencia a la atracción: todo cuerpo en rotación intenta que los cuerpos cercanos roten a

su alrededor en su misma dirección de rotación. Por lo tanto, la rotación de un agujero negro, nuestro segundo número, deja su impronta en la materia que se mueve a su

alrededor, intentando que ésta corrote con él.

Los dos números que caracterizan un agujero negro son independientes, con una salvedad. Existen razones teóricas para creer que, dado un valor para la masa total del agujero, su rotación no puede exceder un valor límite asociado a esa masa (con mayor precisión, el momento angular específico de un agujero negro no puede superar numéricamente el valor de su masa).

Pues bien, aquí es donde volvemos a la actualidad. Los científicos antes mencionados han estimado la rotación de un buen candidato a agujero negro (con nombre GRS1915+105) a partir de medidas de emisión de rayos X del gas circundante. Lo que han encontrado es que la rotación de este objeto tiene un valor cercano a su máximo posible. Las incertidumbres en las medidas impiden decir exactamente su valor, pero éste oscilaría en torno al  $90 \pm 10\%$  del máximo. Sabiendo que la masa de este objeto es unas catorce veces la masa del Sol (lo que corresponde a un radio gravitacional de tan sólo 42 km), obtenemos que debe estar rotando nada menos que a unas mil veces por segundo sobre sí mismo. Conocer si los candidatos típicos a agujero negro tienen o no rotación nos proporcionará una valiosa información sobre cómo se formaron.

**Carlos Barceló (IAA).**

# Avalancha de planetas

Los planetas extrasolares pueblan los titulares y conducen a equívocos en la prensa generalista

Hoy día, con un total de más de 230 planetas descubiertos fuera de nuestro Sistema Solar, encontrar otro no constituye en

sí una noticia. Para que lo sea existen, sin embargo, varias estrategias: en apenas dos semanas hemos asistido al hallazgo del "pri-

mer planeta parecido a la Tierra en la zona de habitabilidad", del "más masivo", del "más caliente" y del "primero del que se obtiene un mapa". Abrumador.

El planeta "parecido a la Tierra" se ha impuesto en los titulares y ha pasado de estar en la "zona de habitabilidad" a ser habitable (algunas crónicas incluso se preguntaban si albergará vida inteligente). La "zona de habitabilidad"

es una región esférica alrededor de una estrella en la que las temperaturas permitirían que un hipotético planeta tuviera agua líquida. Lo que no quiere decir que sea habitable, y menos observado desde la distancia: ¿sabían que un extraterrestre llegaría a la conclusión de que la Tierra -vista desde lejos y con la distancia al Sol como único factor de diferencia-, es un término medio entre Venus y Marte, con una atmósfera compuesta básicamente por dióxido de carbono, una presión de unas 20 a 40 atmósferas y una temperatura media de unos  $227^{\circ}\text{C}$ ? La realidad -bien distinta-, revela lo difícil de pronosticar las condiciones de cualquier planeta más allá del Sistema Solar.



### "Pariente" muy, muy lejano

Aún así, démosle un margen de confianza a Gliese 581c, el recién hallado "pariente" de la Tierra que, para empezar, sí que tiene algo de mérito: casi todos los exoplanetas encontrados son gigantes gaseosos similares a Júpiter, y tan sólo se contaban dos con una masa inferior a ocho veces la de la Tierra; uno estaba demasiado lejos y el otro demasiado cerca de su estrella para, en principio, albergar agua líquida. Gliese 581c, por el contrario, se sitúa dentro de la región donde la temperatura permite la existencia de agua líquida. Los investigadores del Observatorio de Ginebra, autores de este y de casi todos los hallazgos de exoplanetas, emplean una técnica que sólo permite determinar un límite mínimo de masa del planeta (así, la masa real podría ser bastante mayor) que, para Gliese 581c, se halla en cinco veces la masa de la Tierra. Se estima que su radio es un 50% mayor que el de nuestro planeta, de modo que la densidad también será significativamente más elevada (esto implica una gran fuerza gravitatoria y, en principio, dificulta la creación de montañas y continentes; así, el planeta podría estar cubierto por un único océano en caso de tener agua). Además, se conoce que Gliese 581c completa un vuelta alrededor de su estrella en 13 días y se encuentra 14

veces más cerca de ella que la Tierra del Sol. Una cercanía afortunada porque Gliese 581, su estrella, es una enana roja (el tipo de estrella más abundante en nuestra galaxia y mucho menos luminosa que el Sol).

Los autores, con lo que parece un carácter más que especulativo, plantean una temperatura de entre 0 y 40 grados para el planeta, lo que es sólo posible imaginándonos muchas cosas: que su albedo (o luz reflejada) fuera un término medio entre Venus y la Tierra, que su atmósfera -si la hay- tuviera la composición y densidad adecuadas (de hecho, una atmósfera como la de Venus convertiría el planeta en un horno) y olvidando un dato importante: la baja luminosidad de las enanas rojas limita la zona de habitabilidad a una región muy próxima a la estrella, y esta proximidad produce la sincronización de las órbitas, es decir, una cara mira siempre a la estrella mientras la otra permanece oscura (lo mismo que ocurre con la Luna). Como resultado, calor y frío extremos a ambos lados del planeta, lo que reduce las posibilidades de albergar agua líquida.

Aunque, claramente, se trata de un hallazgo importante, quizá habría que proceder con más cautela a la hora de plantearnos preguntas como "¿Y si no estamos solos?", que titulaba una de las crónicas sobre el descubrimiento. Es posi-



Concepción artística de HD 149026b, uno de los últimos planetas hallados por el telescopio espacial Spitzer (NASA). Con un tamaño algo menor que el de Saturno, destaca por la temperatura de su superficie, que se estima en más de 2.000 grados.

ble que no pero, de momento, hacen falta más (muchos más) datos.

#### Hablando de datos

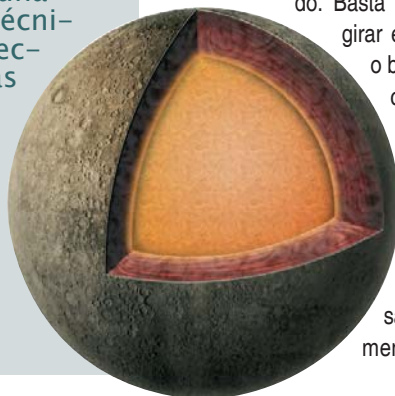
En 2005, NASA y ESA suscribían un informe que recomendaba la publicación de los datos de los exoplanetas encontrados (así como de sus estrellas), imprescindibles para determinar con acierto los objetivos de las futuras misiones "cazaplanetas". La necesidad de un informe así sólo se justifica si los investigadores no comparten su datos con la comunidad científica, lo que, extrañamente, ocurre: investigadores del Instituto de Astrofísica de Andalucía, al conocer el descubrimiento de Gliese

581c, buscaron el artículo remitido por los científicos del Observatorio de Ginebra a la revista *Astronomy & Astrophysics* para, partiendo de los datos originales, interpretarlos para confirmar los resultados de los científicos suizos. Sin embargo, ni los datos aparecen en el artículo ni los investigadores muestran intención alguna de hacerlos públicos, lo que impide cualquier refutación y vulnera el derecho de cualquier astrofísico de hacer su propio análisis. Así, no tenemos más opción que creer lo que afirma el grupo de Ginebra, lo que convierte, peligrosamente, su hallazgo en un asunto de fe.

**Silbia López de Lacalle (IAA).**

## El núcleo de Mercurio está fundido

Para lograr este resultado se han realizado medidas durante cinco años utilizando una novedosa técnica que detecta pequeñas perturbaciones en el giro de Mercurio mientras orbita alrededor del Sol.



► Este descubrimiento está basado en un truco muy simple que usan los cocineros para distinguir si un huevo está crudo o cocido. Basta con hacer girar el huevo y observar cómo se comporta cuando su giro es perturbado para saber fácilmente si su

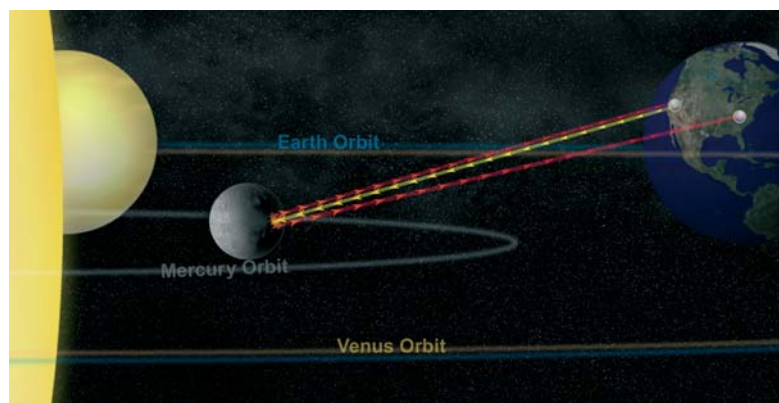
interior es sólido o líquido. Usando algo muy parecido con el planeta Mercurio, los astrónomos han encontrado fuertes evidencias de que éste posee un núcleo fluido o fundido. Para lograr este resultado se han realizado medidas durante cinco años utilizando una novedosa técnica que detecta pequeñas perturbaciones en el giro de Mercurio mientras orbita alrededor del Sol. Estas perturbaciones, llamadas libraciones longitudinales, ocurren cuando la gravedad del Sol ejerce pares de torsión alternantes sobre la forma ligera-

mente asimétrica del planeta. La sorpresa fue encontrar que el valor de estas perturbaciones (libraciones) es el doble de lo que cabría esperar para un cuerpo completamente sólido, pero consistentes con un objeto cuyo núcleo está fundido y no está obligado a girar junto con el caparazón que lo envuelve. Se creía que Mercurio estaba compuesto por un manto de silicatos envolviendo un núcleo de hierro que se suponía sólido ya que los planetas pequeños, como Mercurio, se enfrían rápidamente y era espera-

ble que su núcleo se hubiera "congelado" hace mucho tiempo. La supervivencia de un núcleo fundido a lo largo de miles de millones de años requiere que éste contenga también algún elemento ligero, como el azufre, que disminuya la temperatura de fusión del material que compone el propio núcleo. Este núcleo fundido explicaría también el débil campo magnético observado en Mercurio (1% del terrestre) causado por efecto del giro del propio núcleo (efecto dinamo). Las medidas se han realizado

usando tres radiotelescopios que lanzan una señal de radar contra dos puntos separados de la superficie del planeta y estudiando el posterior "eco" (que retorna a la Tierra). Con dicha técnica se consigue calcular el estado de rotación del planeta con una exactitud de 1/100.000. Para poder realizar el experimento se tomaron 21 medidas de este tipo cuando Mercurio se encontraba en una posición muy concreta que sólo dura veinte segundos.

**Emilio J. García, Pablo Santos (IAA).**



La señal de radar (amarillo) se transmite desde California y los ecos de radar se reciben en las antenas de California y West Virginia (EEUU). Fuente: Bill Saxton (NRAO/AUI/NSF).

## La estrella más vieja

► Gracias al telescopio VLT situado en Cerro Paranal (desierto de Atacama, Chile), los astrónomos han medido recientemente la edad de HE 1523-0901, una de las estrellas más antiguas encontradas en nuestra galaxia que, se estima, nació hace 13.200 millones de años ("sólo" 500 millones de años después del Big Bang).



VLT

La técnica para calcular la edad de las estrellas es muy similar al método de datado del carbono-14 empleada en arqueología y paleontología. Para que la técnica de cálculo de edades estelares funcione, se debe elegir bien el isótopo radioactivo cuya abundancia se va a medir. A diferencia de los elementos estables, la abundancia de los isótopos radioactivos (que son inestables) disminuye con el transcurrir del tiempo. Cuanto más rápida sea la desintegración, menos cantidad del isótopo quedará después de un cierto tiempo. Desgraciadamente, las mediciones de la edad de las estrellas están restringidas a objetos muy raros que tengan grandes cantidades de elementos radioactivos como el torio o el uranio.

## ENTRE BASTIDORES

**CAMBIO CLIMÁTICO: LLEGÓ EL CONSENSO**

**MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ VALVERDE (IAA)**

En un número anterior yo me preguntaba si en las últimas décadas ha existido un consenso unánime entre los científicos sobre el problema del calentamiento global o no. Y también si la información enviada al público y los medios sobre el estado del conocimiento científico del problema fue siempre suficientemente clara.

Seguramente, la respuesta es NO a ambas cuestiones. Pero NO con matices. Y matices diferentes; esto es importante. En mi opinión, las discusiones científicas, tan fructíferas ante cualquier problema abierto, se han interpretado erróneamente fuera de la comunidad científica y han generado una idea de "ciencia incierta".

El Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) va a dar a conocer este año cuatro informes con los resultados del último estudio, el cuarto en quince años. En el primer informe por fin consensúan como "muy probable" en vez de "probable" el agente hombre como causa del calentamiento del planeta observado en los últimos 50 años. Por cierto que semejante adjetivo nos recuerda una dificultad sería a la hora de comunicar resultados científicos sin cuantificación. Porque ¿qué diferencia hay entre probable y muy probable? Hay que irse al informe para aclarar que "probable" significa una confianza del 60% al 90%, y "muy probable" una mayor del 90%.

En 2001, en el anterior estudio del IPCC, aún se debatía si el aumento de temperatura era significativo u oscilaba dentro de cambios naturales esperables (dentro de márgenes estadísticos) de la atmósfera. En el último informe, el calentamiento ya es "inequívoco".

El consenso entre los científicos va aumentando continuamente sobre puntos que antes presentaban más discusión. Y es de esperar que se extenderá a puntos hoy días oscuros todavía. Un ejemplo que está generando voces críticas sobre

el último informe es la ausencia de mención al "oscurecimiento global", como algunos llaman a la reducción continua durante décadas de la radiación solar que llega a la superficie terrestre. En realidad, hay un ligero "aclaramiento global" desde mitad de los años 80. Ninguno de estos efectos se explica hoy día convincentemente, aunque se piensa que pueden estar relacionados con variaciones en la cantidad de aerosoles y polvo en suspensión. A pesar de la continua mejora de los modelos numéricos de predicción climática a largo plazo, el mismo IPCC reconoce áreas de gran desconocimiento (por ejemplo, existen dudas sobre los cambios a menor escala -países concretos).

Y, yendo a la segunda cuestión, es bien conocido que la comunicación entre científicos y público ha padecido de numerosos obstáculos, provenientes tanto de grupos de presión y grandes multinacionales como de instituciones públicas y gobiernos concretos. Ejemplos abundan también, desde presiones sobre científicos individuales para que "reapen" sus resultados antes de darlos a conocer, hasta "recomendaciones" para que no hablen con la prensa. Un ejemplo especialmente llamativo acabó con la dimisión de un alto cargo de la Casa Blanca durante este gobierno Bush. Dicho delegado alteró un informe de un equipo de NASA, tras retenerlo durante meses para "revisarlo". Para ser algo equitativo sobre estas batallas, conviene recordar que algunos políticos también vienen quejándose de ciertas actitudes científicas, con un espíritu de crítica constructiva y no intervencionista. Al Gore propone que, frente a sucesos como los comentados antes o al conocido distanciamiento de muchos científicos respecto a los medios, no deben caer (los científicos) en dejar de comunicar, sino que deben comunicar más y más claramente. Me quedo con este consejo.

Pilares científicos

# FLUIDOS RELATIVISTAS EN NÚCLEOS GALÁCTICOS

EN EL ESTUDIO DE LOS CHORROS RELATIVISTAS, COMUNES EN GALAXIAS ACTIVAS, LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ADQUIERE GRAN RELEVANCIA.

Muchas de las galaxias activas (conocidas por su acrónimo en inglés: AGN, o *Active Galactic Nuclei*), presentan uno de los objetos más llamativos de la naturaleza: chorros de materia que se propagan hasta distancias incluso mayores que el tamaño de la propia galaxia que los alberga. Estos chorros están formados por partículas subatómicas de energías relativistas que se encuentran imbuidas en un campo magnético, lo que da lugar a la emisión de enormes cantidades de energía por el proceso de radiación sincrotrón.

Su observación a través de técnicas interferométricas nos ha permitido, a lo largo de las últimas décadas, constatar algunas de las características más importantes de estos chorros en AGNs. Hemos observado que pueden presentar una enorme variabilidad en la emi-

sión, a veces en escalas temporales del orden de horas. En muchos de los AGNs estudiados vemos que del centro de la galaxia emerge solo uno de los dos chorros que predicen los modelos actuales. Pero lo que más ha llamado la atención ha sido la detección en los chorros de movimientos proyectados en el plano del cielo con velocidades muy superiores a la de la luz, conocidos como movimientos superlumínicos.

Lo que en un principio parecía contradecir la teoría de la relatividad de Einstein, que establece como premisa la imposibilidad de viajar más rápido que la luz, pronto se vio que constituía uno de los ejemplos más claros de su validez. En efecto, tanto los movimientos superlumínicos como las otras propiedades de los chorros en AGN descritas anteriormente, se explican dentro de la teoría de la relatividad, y establecen como uno de los principales pilares en los que sustentar nuestro entendimiento de estos objetos la existencia de velocidades relativistas en los chorros

de AGN; es decir, velocidades que, si bien no superan a la de la luz, sí que han de ser muy próximas a ella (99.99% o superior), en donde todos los efectos relativistas predichos por Einstein adquieren una enorme relevancia.

Recientemente hemos podido observar cómo estos chorros relativistas son mucho más comunes en el Universo de lo que pensábamos; se observan también en los denominados microcuásares de nuestra propia galaxia, o en las hipernovas, asociadas con los estallidos de rayos gamma (GRB).

Todos ellos muestran una característica común: la presencia de un agujero negro, de masas estelares en el caso de los microcuásares o GRB, o miles de millones más masivos en el caso de los AGNs.



Incertidumbres

# EL ORIGEN DE LOS CHORROS RELATIVISTAS

EL CAMPO MAGNÉTICO PARECE HALLARSE EN EL ORIGEN DE LOS CHORROS DE MATERIA QUE SE FORMAN EN TORNO AL AGUJERO NEGRO CENTRAL DE LAS GALAXIAS ACTIVAS

La enorme cantidad de energía liberada en los AGNs tiene como origen el acrecimiento de materia en torno a agujeros negros -miles de millones de veces más masivos que nuestro Sol- situados en el centro de estas galaxias. Pero, ¿cómo puede un agujero negro, que "engulle" todo lo que tiene a su alrededor, dar lugar a la eyección de los chorros de materia que suelen observarse en los AGNs?

Observaciones recientes, tanto en AGNs como en microcuásares, han revelado que la materia que viaja en los chorros proviene de las regiones más

internas del disco de acrecimiento que rodea al agujero negro. Esto sin duda supone un gran avance, pero no sabemos cómo parte del material que forma el disco no llega a caer en el agujero negro, sino que es eyectado en forma de chorros alineados con el eje de rotación del agujero negro y en sentidos opuestos. Más aún, no sabemos cómo este material es acelerado hasta velocidades muy cercanas a la de la luz, ni cómo se mantiene esa excelente colimación de los chorros hasta distancias muy superiores a la de la propia galaxia que los contiene.

Nuestra mejor hipótesis sugiere que el campo magnético tiene un papel relevante. Las líneas de campo se encuentran ancladas en el disco de acrecimiento, y rotan con este alrededor del agujero negro extrayendo parte del material y depositándolo en forma de chorros. La

presión magnética puede acelerar y colimar el chorro, pero ni con nuestros más complejos modelos numéricos por ordenador hemos conseguido hasta ahora producir chorros con propiedades similares a los observados. Quizás haya otros efectos, asociados con el agujero negro y su rotación, que no hemos sabido considerar hasta ahora.

El estudio de los chorros relativistas, tanto en AGNs como microcuásares y GRBs, presenta otros muchas interrogantes básicos: ¿cuál es su composición (pares electrón/protón o electrón/positrón)? ¿Cuál es el mecanismo de emisión a muy altas energías (rayos X y gamma)? O ¿Qué papel juega el campo magnético en la dinámica de los chorros? Son estas incertidumbres las que, sin duda, hacen especialmente interesante el estudio de estos objetos.

# "Serendipia" cósmica

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

Antes de que los puristas de la lengua se rasguen las vestiduras y arremetan contra mi endeble persona por titular estas líneas con un término no existente en la Real Academia de la Lengua, permítanme al menos reconocer que soy consciente de mi afrenta. Es cierto: "serendipia" no es una palabra perteneciente al castellano. Pero, ya que estoy envalentonado, permítanme aún más: proponerla como candidata en las futuras ampliaciones de nuestro diccionario. Harían un favor a muchos investigadores, y aquí va mi defensa:

"Serendipia" constituye una traducción libre del término inglés *serendipity* que, según su diccionario, se define como "la facultad de realizar un descubrimiento afortunado e inesperado por puro accidente". Fue acuñado por el político y escritor Horace Walpole tras leer "Los tres príncipes de Serendip", que narra la historia de los tres príncipes de la isla Serendip (probablemente la actual Sri Lanka), que poseían la fantástica capacidad de descubrir cosas sin pretenderlo. Pero, ¿qué tiene que ver la Ciencia en todo esto?

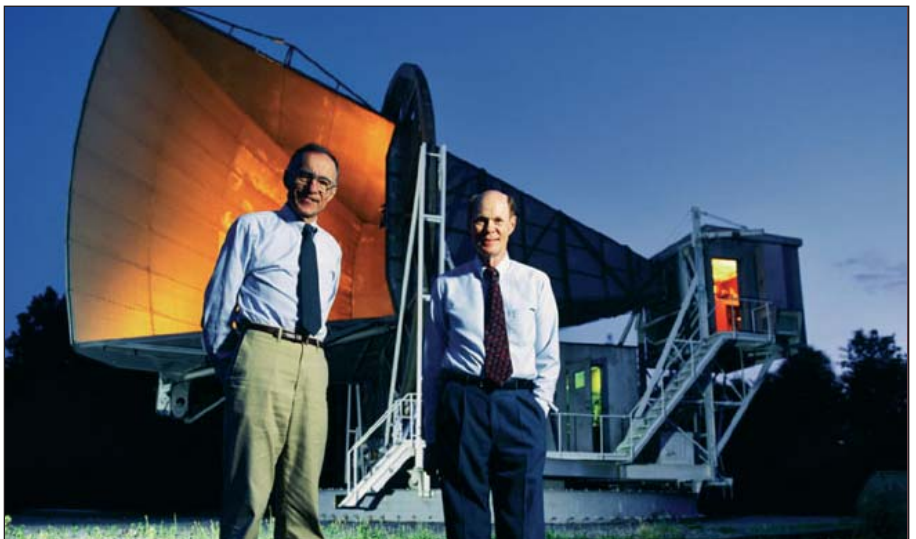
Me reconocerán ustedes que la Ciencia, incluyendo la de los astros, está repleta de logros fortuitos. No hay más que imaginar a Alexander Fleming ante aquella muestra mohosa que dio lugar a la penicilina, o al médico holandés Christiaan Eijkman que, tras nueve años de enfermiza dedicación en la isla de Java, resolvió, gracias a un chispazo de casualidad, el origen del beriberi.

"Bueno, acabas de mencionar la palabra casualidad", argumentarán algunos. Es cierto que de casualidades está la Ciencia llena, algunas sorprendentes como la que aconteció entre Galileo y Kepler en 1610. El genio de Pisa acostumbraba a "esconder" sus últimos descubrimientos en crípticos anagramas, como "SMAISMRMILMEPOETALEUMIBUNENUGTTAURIAS", que Kepler descifró como "SALVE UMBISTINEUM GEMINATUM MARTIA PROLES", es decir, "Salve, furiosos gemelos, prole de Marte", lo que le llevó a pensar que Galileo había descubierto dos satélites marcianos. Pero lo que ocultaba era "ALTISSIMUM PLANETAM TERGEMINUM OBSERVAVI" ("he observado el planeta más alto en su triple forma"), en referencia a su recién descubierto Saturno. Lo asombroso es que, efectivamente, Marte tiene dos satélites (Fobos y Deimos), que fueron observados por primera vez más de 250 años después de esta escena. Y no es la única casualidad asociada a dichos

satélites. En su novela "Los viajes de Gulliver", el sarcástico Jonathan Swift describe con detallada exactitud las principales características de ambos "hijos" de Marte,...150 años antes de su descubrimiento.

Pero la serendipia implica más que simple

“SERENDIPIA” CONSTITUYE UNA TRADUCCIÓN LIBRE DEL TÉRMINO INGLÉS *SERENDIPITY* QUE SE DEFINE COMO LA FACULTAD DE REALIZAR UN DESCUBRIMIENTO AFORTUNADO E INESPERADO POR PURO ACCIDENTE”



Arno Penzias y Robert Wilson. Fuente: Addison Wesley.

“LA CIENCIA, INCLUYENDO LA DE LOS ASTROS, ESTÁ REPLETA DE LOGROS FORTUITOS”

casualidad. Exige que haya un descubrimiento y, ante todo, sagacidad para reconocer lo descubierto.

Por ejemplo, en 1964, dos radioastrónomos de la compañía Bell se toparon con un hallazgo que revolucionaría los cimientos de la cosmología: la radiación cósmica de fondo. Aquel año, Arno Penzias y Robert Wilson se afanaban en la antena de alta sensibilidad de Holmdel (New Jersey) para detectar las posibles interferencias en la banda de microondas que la Galaxia pudiera introducir en las incipientes comunicaciones vía satélite (y de paso lograr resultados científicos). Fueron tomando medidas de todo el cielo y reconociendo las diferentes fuentes de emisión, pero existía una que se resistía a ser identificada. Esta persistente señal era como un ruido débil, constante y centrado en la frecuencia de 160GHz. Lo asombroso era su carácter isotrópico, es decir,

la antena recibía la señal independientemente de la dirección a la que apuntara. Desesperados, ambos astrónomos pensaron que el origen de esta emisión provenía de la propia antena, sobre todo cuando descubrieron que estaba llena de nidos y excrementos de palomas. Pero todo fue inútil, y Penzias y Wilson asumieron la derrota.

Ajenos a todo esto, un grupo de físicos de Princeton liderado por R. H. Dicke y J.E. Peebles, basándose en los trabajos del año 1948 de George Gamow y Ralph Alpher, defendían que, de ser cierta la teoría del Big-

Bang, todo el Universo debería estar inundado de una radiación isotrópica y homogénea, como un eco de sus primeros balbuceos. Debido a la expansión, actualmente dicha radiación debería resultar muy débil y estar centrada en la banda de microondas.

Peebles expuso esta teoría (y su intención de descubrir dicha radiación) en una conferencia en el laboratorio de Física aplicada de John Hopkins (Baltimore). Uno de los asistentes era Ker Turner, amigo del astrónomo Bernie Burke, a quien Penzias y Wilson habían llamado desesperados, precisamente ¡¡porque no sabían qué era esa radiación de microondas que lo inundaba todo!! Pura serendipia.

Pero los académicos no se rinden: "Hay claros análogos castellanos para este aspirante a neologismo" Uhhh, no sé...¿¿chiripa??, hombre, no me veo a Ronaldinho "marcando un gol por serendipia"... ¿azaroso?, tal vez, pero déjenlo, me rindo. En el fondo no puedo evitarlo: prefiero imaginar la ciencia como el arte de descubrir lo que esconde la naturaleza, aunque sea accidentalmente, como los tres príncipes de Serendip.



## El Observatorio de Sierra Nevada abre sus puertas

El Instituto de Astrofísica de Andalucía desea brindar a los ciudadanos la posibilidad de visitar el Observatorio de Sierra Nevada durante el próximo verano. Para dotar estas visitas de un carácter más amplio, las actividades se realizarán en colaboración con el Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM), el Albergue Universitario de Sierra Nevada y tres asociaciones de astrónomos aficionados: la Sociedad Astronómica Granadina, la Agrupación Astronómica de Córdoba y la Agrupación Astronómica Hubble de Martos. Las visitas tendrán lugar el 23 de junio, 7 y 21 de julio, 4 y 18 de agosto y 1 de septiembre, y el número de plazas está limitado a 40 personas por visita.

### Programa

Las visitas partirán del Albergue Universitario, donde se impartirá una confe-

rencia de divulgación sobre el Observatorio de Sierra Nevada y la antena del IRAM, en la que se explicará su funcionamiento, instrumentación y tipo de observaciones que se efectúan con ellos. Después, personal del IAA y del IRAM guiará las visitas a ambas instalaciones. Se han programado dos tipos de visita: la de un día, que finalizará ahí, y de dos días, que contempla también actividades nocturnas y observación con telescopios y prismáticos (los visitantes dormirán en el Albergue Universitario).

Las reservas se pueden realizar enviando un correo electrónico a la dirección [nevadensis@albergueugr.com](mailto:nevadensis@albergueugr.com)

Dudas en relación con la parte astronómica: [visitasOSN-astro@iaa.es](mailto:visitasOSN-astro@iaa.es)

Dudas en relación con el Albergue Universitario: [nevadensis@albergueugr.com](mailto:nevadensis@albergueugr.com) y 958480122.

## I Reunión e-CA

En la Resolución del 7 de marzo de 2007 de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa para la concesión de incentivos a Proyectos de Excelencia se aprobó el proyecto *Creación de una infraestructura de e-Ciencia Andaluza*.

El objetivo de este proyecto consiste en crear una infraestructura GRID básica para el desarrollo de la e-Ciencia en Andalucía de cara a la integración en un futuro tejido de e-Ciencia nacional (el conjunto de actividades científicas desarrolladas mediante el uso de recursos distribuidos accesibles a través de Internet).

### I Reunión

Esta reunión se enmarca dentro de dos de los objetivos básicos de e-CA: por un lado, determinar qué grupos de investigación están interesados en actividades de e-Ciencia en Andalucía y, por otro, fomentar la relación ciencia-empresa en dicho campo.

Lugar y fecha:

Granada, 19-20 de junio de 2007

Más información:

<http://e-ca.iaa.es/php/page.php?id=86>

## DESARROLLO TECNOLÓGICO

## El altímetro que estudiará Mercurio

BepiColombo es la más reciente misión planetaria conjunta de ESA y JAXA para explorar Mercurio y su entorno. Para tal empresa se han ideado una serie de instrumentos que estudiarán la superficie, interior, exosfera y magnetosfera del planeta. Entre estos instrumentos destaca el primer altímetro láser espacial europeo (BELA), cuya principal motivación científica se centra en el estudio geológico del planeta. Para la construcción de BELA se ha formado un consorcio científico-tecnológico europeo liderado por la Universidad de Berna en Suiza y el Instituto de Estudios Planetarios del DLR en Alemania. La responsabilidad del IAA-CSIC dentro del mismo consiste en el diseño, la construcción y la fabricación del Módulo Conversor de

Potencia (PCM). Este subsistema estará condicionado por las restricciones habituales de la instrumentación espacial: muy poco peso (300 g), poco volumen (300 cm<sup>3</sup>) y que consuma poca potencia (22 W), todo esto trabajando en un ambiente muy hostil con un nivel altísimo de radiación y sometido a enormes gradientes de temperatura (300K).

El propósito del PCM consiste en aislar eléctricamente y adaptar los niveles del bus de potencia del satélite a las necesidades de los distintos subsistemas del instrumento y distribuirlos según las necesidades de los mismos.

El PCM, de acuerdo a la filosofía de la instrumentación espacial, será redundante y estará compuesto por dos tarjetas de circuito

impreso. A partir de los 28V suministrados por el satélite, con el máximo rendimiento posible, generará tantos voltajes secundarios aislados como sean necesarios, cumpliendo con los requerimientos electromagnéticos exigidos. Además, el PCM realizará el muestreo y digitalización de los voltajes, corrientes y temperatura del subsistema de potencia, así como la comunicación con la DPU, mediante el uso de una FPGA.

El periodo comprendido entre 2007 y 2011 servirá para desarrollar los diferentes modelos que se requieren para obtener un producto final cualificado para vuelo, listo para ser integrado con el resto de subsistemas que conformaran BELA.

José María Castro (IAA).

## CORONA



Temperatura: entre 1.000.000 de grados Kelvin, millones de kilómetros

ES LA ATMÓSFERA EXTERNA DEL SOL. AQUÍ SE PRODUCE EL VIENTO SOLAR, UN FLUJO DE PARTÍCULAS QUE SALE DEL SOL A 400KM/S Y BARREN TODO EL SISTEMA SOLAR.



## ESPACIO EXTERIOR



EL FOTÓN VIAJA SIN IMPEDIMENTOS A LA VELOCIDAD DE LA LUZ: 300.000KM/S.

LA DENSIDAD DE PARTÍCULAS ES TAN BAJA QUE APENAS SE ENCUENTRA CON NADIE.



## LA TIERRA



Temperatura: entre -20 y 40



LOS FOTONES TARDAN SOLO OCHO MINUTOS EN LLEGAR A LA TIERRA, Y ALLÍ INTERACCIONAN CON LOS GASES DE LA ATMÓSFERA.

EL OZONO, POR EJEMPLO, ABSORBE LOS FOTONES MAS ENERGÉTICOS, LOS ULTRAVIOLETA; GRACIAS A ESTO ES POSIBLE LA VIDA EN LA TIERRA.



LA ZONA DE MÁXIMA CONCENTRACIÓN CONTIENE UNA MOLECULA DE OZONO POR CADA MILLÓN DE MOLECULAS DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>), PERO NUNCA ES EFICAZ.

## PLANTA



EL FOTÓN LLEGA A UNA PLANTA Y ACTIVA LA CLOROFILA Y LE EXCITA LOS ELECTRONES; ESTOS EMPIEZAN A CIRCULAR COMO LOZOS GENERANDO ENERGÍA POR UNA CADENA DE TRANSPORTE.



Y TODOS FUERON FELICES Y CREARON AZÚCARES.

## WEB DE DIVULGACIÓN

“A TRAVÉS DEL UNIVERSO” NO ES SÓLO UN PROGRAMA DE RADIO. TODOS LOS CONTENIDOS DE LAS TRES TEMPORADAS SE ENCUENTRAN DISPONIBLES EN LA PÁGINA WEB QUE, POCO A POCO, SE HA CONVERTIDO EN UNA HERRAMIENTA DE DIVULGACIÓN EN SÍ MISMA. EN ELLA SE PUEDEN CONSULTAR LOS TEMAS TRATADOS EN LOS PROGRAMAS CON UN IMPORTANTE APOYO DE IMÁGENES, ASÍ COMO LAS NOVEDADES, LOS CONCEPTOS O LAS RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE LOS OYENTES.

<http://universo.iaa.es>

## AGENDA

### CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA

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

FECHA	CONFERENCIANTE	TEMA O TÍTULO TENTATIVO
28 de junio	Isabel Márquez (IAA-CSIC)	<i>Activas y perezosas: las galaxias también lo son.</i>

### REUNIONES Y CONGRESOS

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

I REUNIÓN SOBRE E-CIENCIA ANDALUZA (PROYECTO E-CA)  
GRANADA, 19 – 20 DE JUNIO DE 2007

YOUNG MASSIVE STAR CLUSTERS: INITIAL CONDITIONS AND ENVIRONMENTS  
GRANADA, 11 – 14 DE SEPTIEMBRE DE 2007

### LIBROS DE DIVULGACIÓN

*Un viaje al Cosmos en 52 Semanas.* Antxon Alberdi y Silbia López de Lacalle (coordinadores). Edita el Área de Cultura Científica (CSIC), 2007.

En marzo de 2004 surgió la posibilidad de establecer una colaboración única entre el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA, CSIC) y el diario Granada Hoy. Se planteó como una serie de artículos que dibujaran un recorrido por el Universo, desde lo más cercano a lo más distante, que se extendiera a lo largo de todo un año y apareciera puntualmente todos los miércoles. Así surgió "Un viaje por el Cosmos en 52 semanas", serie en la que participó un nutrido grupo de científicos del IAA y que ahora el CSIC recoge y edita en forma de libro: un compendio de artículos que busca ofrecer una herramienta básica, completa y rigurosa, que bien pueda establecer las bases de una futura profundización en los secretos del Universo.

### CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

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

