

I A A

INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

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

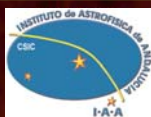
FEBRERO 2009, NÚMERO: 27

EL CORAZÓN DE LA VÍA LÁCTEA

AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA

BINARIAS DE RAYOS X

EL TIEMPO



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

<http://www.iaa.es>

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, Iván Agudo, Julio Rodríguez, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle. Imprime: ELOPRINT S.L.

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

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

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

SUMARIO

REPORTAJES

Sagitario A*: el agujero negro en el corazón de la Vía Láctea ...3

ESPECIAL: Año Internacional de la Astronomía ...7

HISTORIAS DE ASTRONOMÍA. Chandrasekhar y los agujeros negros ...11

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Binarias de rayos X ...12

EL "MOBY DICK" DE... ...14

ACTUALIDAD ...15

ENTRE BASTIDORES ...20

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. El tiempo ...22

ACTIVIDADES IAA ...23

Muchos astrónomos se cruzan, a lo largo de su vida, con un objeto -sea estrella, cometa o grupo de galaxias- que alcanza un protagonismo especial en su carrera y que, en ocasiones, requiere un esfuerzo de seguimiento similar al que el capitán Ahab dedicó a la caza de la ballena Moby Dick (eso sí, menos dramático y autodestructivo). Esta nueva sección nos acercará a esos objetos de la mano de los astrónomos.



Sagitario A*: el agujero negro en el corazón de la Vía Láctea

AÑOS DE INTENSAS OBSERVACIONES HAN PERMITIDO ASEGURAR QUE SAGITARIO A* ES UN AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO

Por Rainer Schödel (IAA-CSIC)

Traducción: Silbia López de Lacalle

A MITAD DEL SIGLO XX, Y EN GRAN PARTE GRACIAS AL DESARROLLO DE LAS TÉCNICAS DE RADAR durante la Segunda Guerra Mundial, el enorme progreso en radiotecnología asfaltó el camino para un rápido avance de la radioastronomía. Esta nueva rama observacional de la astronomía pronto desarrolló numerosas y potentes radiofuentes extragalácticas. Al compararlas con las imá-

genes de los telescopios ópticos, algunas de ellas se revelaron como objetos muy compactos, muchas veces puntuales y que parecían estrellas normales. Se los denominó cuásares -fuentes de radio cuasi-estelares-, y constituyeron un misterio durante décadas. Su alto corrimiento al rojo muestra que se hallan a distancias cosmológicas y las sitúa entre los objetos más brillantes del Universo (casi ninguno de ellos se halla en el Universo local).

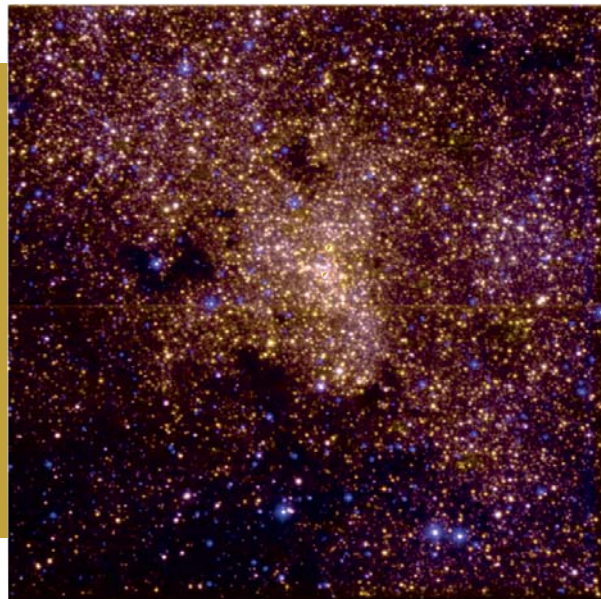
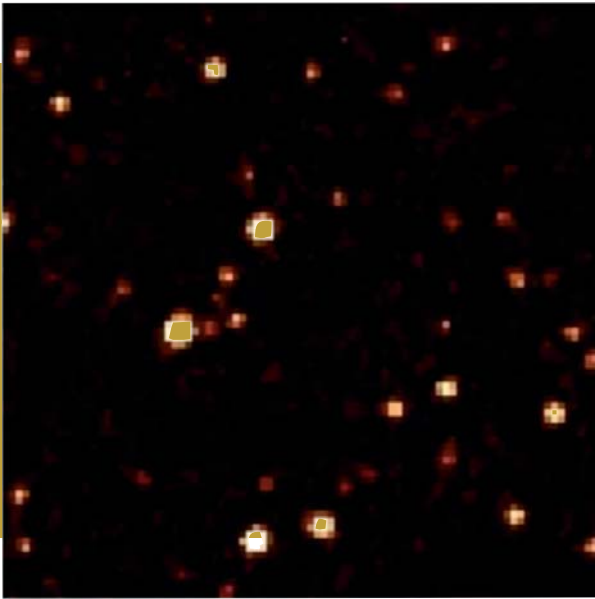
Observar un objeto que se encuentra a semejante distancia supone indagar en el pasado, debido al tiempo que su luz ha tardado en alcanzarnos. Así, los cuásares fueron frecuentes en el Universo temprano pero han desaparecido en gran parte con su evolución hacia su estado actual. Hemos realizado importantes avances en la comprensión de los cuásares, sobre todo gracias

a la mejora de las técnicas de observación, como la creación de telescopios mayores y, sobre todo, gracias al Telescopio Espacial Hubble, que permitió ubicar los cuásares en los centros galácticos; un descubrimiento particularmente difícil porque los cuásares son tan brillantes que pueden eclipsar la luz difusa de la galaxia anfitriona.

En la década de 1980 los astrofísicos desarrollaron un modelo que explicaba de manera satisfactoria todas las propiedades de los cuásares observados. Según este modelo, un cuásar es un objeto que obtiene su energía de un agujero negro supermasivo. El término supermasivo se refiere a millones, o incluso miles de millones, de masas solares, en contraste con la media de diez masas solares que presentan los agujeros negros formados por la muerte de las estrellas más masivas. La intensa radiación electro-

* Imagen compuesta del centro galáctico en radio (púrpura), milímetros (naranja) e infrarrojo (cian). Cubre un área de 2x1 grados (300pc x 150pc).

Fuente: Adam Ginsburg and John Bally (Univ of Colorado - Boulder), Farhad Yusef-Zadeh (Northwestern), Bolocam Galactic Plane Survey team; GLIMPSE II team.



magnética de los cuásares se produce en los discos de acrecimiento de gas alrededor de estos agujeros negro supermasivos. En estos discos el gas puede alcanzar temperaturas de hasta millones de grados Kelvin e irradiar fuertemente en todo el espectro electromagnético. De hecho, aproximadamente un 10% del gas acretado en estos discos se convierte en radiación electromagnética, en un proceso unas diez veces más eficiente que la fusión de hidrógeno que alimenta las estrellas y que convierte sólo el 0,7% de la masa en reposo en radiación.

Los astrónomos advirtieron que, si esta teoría era correcta, entonces los agujeros negros supermasivos que “encendían” los cuásares del Universo primitivo también debían estar presentes en el Universo local, aunque de manera menos activa o incluso en estado latente. Dichos agujeros se han encontrado en las dos últimas décadas mediante la observación de la dinámica estelar en los centros de las galaxias, a través de observaciones espectroscópicas de la luz estelar difusa.

Una cuestión central es, por supuesto, si existe tal agujero negro supermasivo en nuestra propia galaxia. La Vía Láctea es, en todos los aspectos, una galaxia normal que se asemeja a las miles de millones galaxias del Universo.

Sagitario A*

En 1974, los radioastrónomos comenzaron a utilizar la todavía joven técnica de la interferometría en radio para observar el centro galáctico. Vinculando dos radiotelescopios situados a 35 km de distancia en el observatorio de Green Bank, Robert L. Brown y Bruce Balick lograron una resolución angu-

lar suficientemente alta para separar los distintos componentes de la fuente de radio Sagitario A situada en el centro galáctico. Descubrieron un objeto puntual, Sagitario A* (que se pronuncia "Sagitario A Estrella" y se abrevia SgrA*), y poco después de su descubrimiento se especuló que Sagitario A* podría ser la manifestación del agujero negro supermasivo del centro de la Vía Láctea.

En este punto, sin embargo, quedaba todavía un largo camino por recorrer hacia la prueba convincente de esta hipótesis. De hecho, durante más de dos décadas persistieron las dudas sobre si Sagitario A* obtenía su energía de un agujero negro supermasivo. Estas dudas se nutrían básicamente del hecho de que la emisión de SgrA* era muy débil para un agujero negro supermasivo, una debilidad que pudo ser explicada con éxito en la última década: Sagitario A* es un agujero negro que está pasando hambre. Esto significa que, en sus alrededores, casi no hay gas o polvo para acretar. SgrA* traga una cantidad inferior a 10^{-7} masas solares de la materia por año (una cienmilésima de Sol), una cantidad muy baja en comparación con la dieta media de los cuásares de una masa solar por año. Además de la extremadamente baja tasa de acreción, también se ha observado que el material cercano a SgrA* es acretado en lo que se denomina un flujo de acreción radiativamente ineficiente. En este flujo, la eficiencia de la conversión de masa en energía no alcanza el 10% de los discos de acreción alrededor de agujeros negros supermasivos en cuásares, sino que es muchos órdenes de magnitud más baja.

Una vez explicada la debilidad de SgrA* se

El centro galáctico en luz visible (izda, del *Digitized Sky Survey*) y en infrarrojo cercano (dcha, de observaciones con la cámara de infrarrojos ISAAC del VLT de ESO). Ambas imágenes se centran en Sagitario A* y muestran la misma región de $2.5' \times 2.5'$ (en comparación, el diámetro de la luna llena es de $30'$). Debido a la extinción hacia el centro galáctico, el denso cúmulo estelar sólo puede verse en el infrarrojo. En el visible sólo se detectan las estrellas del primer plano, que aparecen azules en la imagen en infrarrojos.

eliminó un importante escollo. Sin embargo, con el fin de demostrar con éxito que Sagitario A* es un agujero negro supermasivo, todavía era necesario medir su masa y demostrar que esta masa se concentraba en un volumen tan pequeño que los modelos alternativos al de agujero negro pudieran ser excluidos. Un importante obstáculo en esta búsqueda reside en que el Sistema Solar está situado en el plano de la Vía Láctea, lo que limita las observaciones del centro galáctico a radio, infrarrojos y rayos X, longitudes de onda capaces de atravesar las grandes cantidades de gas y polvo existentes a lo largo de la línea de visión hacia el centro galáctico (ver imagen superior). Se aplicaron, principalmente, dos técnicas astronómicas: por un lado la radiointerferometría de muy larga base (VLBI), que combina radiotelescopios de todo el mundo para lograr resoluciones angulares de menos de un milisegundo de arco -una precisión inigualable por cualquier otra técnica-; y, por otro, la observación en infrarrojo cercano de las estrellas del centro galáctico en el límite de difracción de los mayores telescopios disponibles.

Dinámica estelar en las cercanías de Sagitario A*

Sagitario A* se encuentra en el centro del cúmulo estelar más denso de la Vía Láctea.

La densidad en la parte central de esta agrupación supera las 10^6 masas solares por pársec cúbico, más de un millón de veces la masa en la vecindad solar. Las estrellas próximas a SgrA* sufren su influencia gravitatoria, de modo que el estudio del movimiento de estas estrellas puede emplearse para medir la masa de Sagitario A*.

Las observaciones del cúmulo estelar en el centro galáctico no fueron posibles hasta finales de 1980, cuando comenzaron a estar disponibles detectores en el infrarrojo cercano lo suficientemente sensibles.

La luz en el infrarrojo cercano puede penetrar sin problemas las nubes de polvo existentes entre la Tierra y el centro galáctico: mientras que en luz visible sólo un fotón de cada billón emitido en esa zona no es absorbido por el polvo interestelar, en el infrarrojo cercano alrededor de un 10% de la luz emitida consigue llegar hasta nosotros. La mayoría de las estrellas en el cúmulo nuclear presentan temperaturas de pocos miles de grados Kelvin y, por lo tanto, emiten una cantidad significativa de la luz en el infrarrojo cercano. Debido a la alta densidad de estrellas en las cercanías de Sagitario A*, para distinguir las estrellas del centro galáctico es necesario hacer uso de la resolución angular de los mayores telescopios disponibles. Pero surge una dificultad importante. En su camino a través de la atmósfera, la luz de las estrellas atraviesa las regiones de aire de diferentes temperaturas y, por tanto, con índices de refracción ligeramente diferentes. Y el viento produce una mezcla turbulenta de los paquetes de aire, lo que provoca que las imágenes de las estrellas se emborronen. Así, independientemente del tamaño del espejo principal, una estrella aparecerá como un disco de entre 0,5" y 1,5" de diámetro en las imágenes astronómicas. Es el efecto conocido como *seeing*. Para superar el efecto de la turbulencia atmosférica se han aplicado dos técnicas diferentes. La más antigua se llama *speckle imaging*, y consiste en tomar miles de imágenes con tiempos de exposición más cortos que el tiempo de coherencia de la turbulencia atmosférica (de unos pocos a unas decenas de milisegundos) y sumarlas de manera adecuada, y la limitación que impone la difracción puede ser reconstruida por ordenador. La segunda técnica, más eficaz, se conoce como óptica adaptativa y es un sistema que mide la distorsión de las imágenes en tiempo real y la corrige mediante un espejo deformable. Dado que este método requiere gran potencia compu-

tacional sólo ha sido ampliamente disponible en grandes telescopios en los últimos diez años. Mediante el uso de imágenes *speckle* o de óptica adaptativa puede alcanzarse una resolución angular del orden de

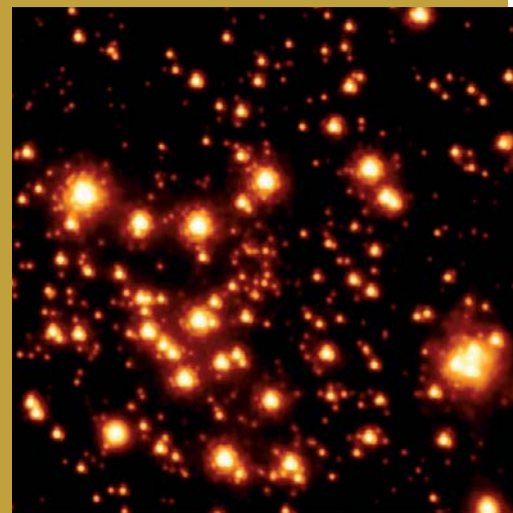
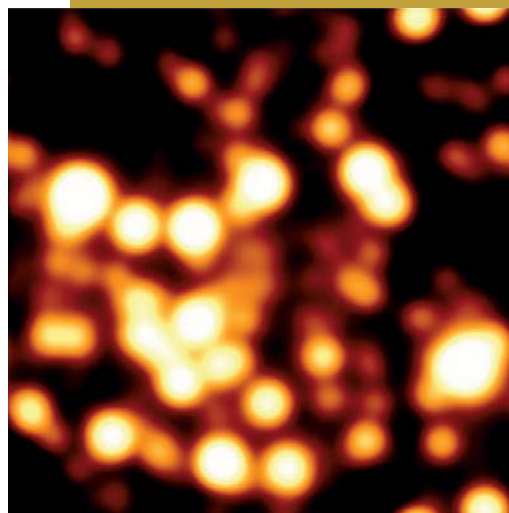
Las mediciones del tamaño de Sagitario A con VLBI indican que debe ser menor que la distancia media de la Tierra al Sol*

cincuenta milisegundos de arco en el infrarrojo cercano en telescopios de ocho o diez metros (esto equivale al diámetro de un cabello humano visto a una distancia de 400 metros).

Las observaciones de las estrellas en torno a Sagitario A* con óptica adaptativa (y con *speckle*) se han llevado a cabo por dos gru-

exige trabajar con muy alta precisión. Teniendo en cuenta la distancia al centro galáctico (8 kiloparsec o 26.000 años luz), estos movimientos pueden convertirse en la velocidad real de las estrellas en kilómetros por segundo.

En la segunda mitad de la década de 1990 los datos eran lo suficientemente precisos para demostrar que las estrellas se movían con velocidades de varios cientos de km/s en las proximidades de Sagitario A*. Aún más importante fue hallar que la velocidad media de las estrellas aumentaba hacia SgrA* con el inverso de la raíz cuadrada de su distancia al supuesto agujero negro. Esta es exactamente la misma ley que se aplica a las velocidades de los planetas de nuestro Sistema Solar, y este comportamiento constituye una clara evidencia de que las estrellas del centro galáctico se mueven bajo la influencia gravitacional de un objeto pun-

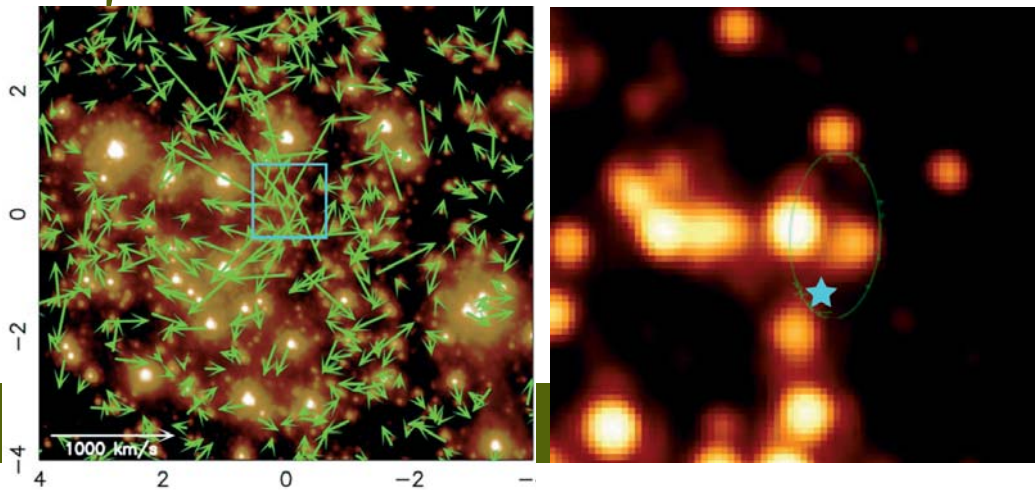


A la izda, imagen limitada por el *seeing* (~ 0.5" *seeing*) y a la dcha imagen en el infrarrojo cercano con óptica adaptativa (obtenida con el instrumento NaCo en el VLT de ESO) de una zona de 8" x 8" centrada en la región de Sagitario A* (que no es visible en la imagen).

tos de astrónomos (con sede en EE.UU. y Alemania) con regularidad desde la primera mitad de la década de 1990. Utilizaron el telescopio NTT de ESO de 3,5 metros en La Silla (Chile), el VLT (8 metros) de ESO en Paranal (Chile), y el Telescopio Keck de diez metros en Mauna Kea (Hawaii), respectivamente. Después de una cuidadosa alineación de las imágenes tomadas en diferentes épocas lograron medir la variación de las posiciones relativas de las estrellas con el tiempo. Se trata de cambios de posición muy pequeños, del orden de unos pocos milisegundos de arco por año, lo que

lo que apunta a un objeto pesado y compacto. Puede demostrarse que la masa de este objeto equivale a unos pocos millones de masas solares y que la posición de este objeto puntual coincide con la posición de la fuente de radio Sagitario A*. El último gran avance tuvo lugar en 2002/2003, cuando los astrónomos alemanes y estadounidenses adquirieron suficientes datos para determinar sin ambigüedades la órbita de una estrella individual en torno a Sagitario A*. Esta estrella, denominada S2, completa una órbita muy elíptica alrededor de SgrA* en 15 años y en su

El último gran avance tuvo lugar en 2002/2003, cuando los astrónomos alemanes y estadounidenses adquirieron suficientes datos para determinar sin ambigüedades la órbita de una estrella individual en torno a Sagitario A*. Esta estrella, denominada S2, completa una órbita muy elíptica alrededor de SgrA* en 15 años y en su



Izda: indicaciones de las medidas de las velocidades estelares superpuestas en una imagen en infrarrojo cercano de NaCo / VLT de 8"x 8" del centro galáctico (basado en la obra del autor). La longitud de las flechas es proporcional a la magnitud de la velocidad. Dcha: zoom de la zona indicada por el recuadro azul, con la indicación de la órbita medida de la estrella S2 (es la estrella brillante en el centro). La marca azul muestra la posición del agujero negro Sagitario A*, que es una fuente de intensidad variable y no siempre se detecta.

punto de máximo acercamiento la distancia hasta SgrA* apenas alcanza las 17 horas luz (alrededor de tres veces la distancia Sol-Plutón). Desde las primeras observaciones (1992, en el NTT en La Silla) la estrella S2 ha completado una órbita alrededor de Sagitario A*. También se han determinado las órbitas de otra docena de estrellas, aunque con menor precisión. A partir de estas mediciones, y usando las leyes de Kepler, la masa de SgrA* se ha determinado con precisión en $4,0 \pm 0,1$ millones de masas solares. Se descubrió que esta masa tiene que estar concentrada en un volumen inferior a, más o menos, tres veces el tamaño del Sistema Solar, lo que proporcionó la evidencia de que debe ser un agujero negro.

Observaciones VLBI de Sgr A*

Sagitario A* está continuamente intercambiando momento con las estrellas en su medio, mucho más ligeras. Por consiguiente, se espera que siga una trayectoria errática similar al movimiento browniano de una partícula de polvo en suspensión en el agua, donde las pesadas partículas de polvo intercambian momento con las ligeras moléculas de agua. Cuanto más pesado es Sgr A*, menor será la medida de su movimiento browniano. La posición de la fuente de radio de SgrA* se ha medido durante más de diez años con la técnica VLBI con muy alta precisión relativa a la posición de los cuásares cercanos. Dado que estos cuásares se encuentran a distancias cosmológicas, su movimiento es

inmediblemente pequeño y, por lo tanto, pueden ser utilizados como un sistema de coordenadas. Las observaciones desvelan que Sagitario A* muestra una velocidad ínfima en relación con el grupo estelar circundante, lo que a su vez implica que la fuente de radio SgrA* debe contener al menos cien mil masas solares. Las mediciones del tamaño de Sagitario A* con VLBI indican que debe ser menor que la distancia media de la Tierra al Sol. Por lo tanto, las observaciones con VLBI de Sagitario A* conducen a la misma conclusión que las observaciones de infrarrojos de las velocidades de las estrellas que rodean la agrupación: la fuente de radio Sagitario A* debe estar asociada a un agujero negro supermasivo.

INVESTIGACIÓN DE SAGRITARIO A* EN EL IAA

OBSERVAN CÓMO SGR A* TRITURA MATERIA A SU ALREDEDOR

Un grupo internacional de astrónomos, en el que participa Rainer Schödel (IAA), atisbó las regiones centrales de la Vía Láctea con los telescopios VLT y APEX y ha observado qué ocurre en el entorno de SgrA*, el agujero negro supermasivo que, con cuatro millones de veces la masa del Sol, sigue devorando materia. De hecho, se han detectado intensas fulguraciones producto del desgarramiento de las nubes de gas que giran, a una velocidad de vértigo, en las últimas órbitas antes de caer al agujero negro. Los investigadores emplearon los telescopios VLT y APEX, que observan en el infrarrojo y en ondas submilimétricas respectivamente, y se trata de la primera vez que se

obtienen medidas simultáneas de una fulguración con estos potentes instrumentos. "SgrA* es visible en la luz infrarroja durante cortos periodos de tiempo, cuando exhibe fuertes fulguraciones -explica Rainer Schödel-. Como no se puede prever cuándo ocurrirán estas fulguraciones, no es fácil observarlas con dos telescopios que no estén en el mismo lugar, porque una simple nube podría tapar la región del cielo que nos interesa". Tras varias noches de espera, los astrónomos encargados del VLT descubrieron que SgrA* se activaba, y que su brillo aumentaba cada minuto. Alertaron a sus colegas del APEX y, durante las siguientes seis horas, observa-

ron violentas variaciones en el brillo de SgrA*, además de cuatro fulguraciones mayores. Como preveían los astrónomos, las fulguraciones se registraron en ondas submilimétricas con una hora y media de retraso con respecto a las infrarrojas, lo que se debe a la expansión de las nubes de gas que finalmente caen al agujero negro: la velocidad con la que giran las nubes en las últimas órbitas en torno a SgrA* hace que se estiren, aumenten su tamaño y se vuelvan más transparentes. Es entonces cuando la radiación puede viajar a través de ellas y llegar hasta nosotros, aunque por fases: la nube se hace transparente primero para las longitudes de onda



cortas, como las infrarrojas, y después para las que tienen una longitud mayor, como las submilimétricas. De ahí la hora y media de retraso. S.L.L



El Universo patas arriba

Hace 400 años, Galileo Galilei observaba por primera vez el cielo con un telescopio, gesto que festejamos en 2009 con el Año Internacional de la Astronomía

Las ideas de Galileo supusieron el inicio de la ciencia moderna y contribuyeron a asentar el modelo heliocéntrico, que puso fin a siglos de error

Por Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)

Al contrario de lo que se piensa, Galileo no inventó el telescopio: construyó uno a partir de noticias que llegaban de Europa sobre “lentes espía”, capaces de hacer que lo lejano pareciera cercano. Y tampoco derrocó él solo el sistema geocéntrico, que hablaba de cielos inmutables y de un único centro, la Tierra, alrededor del que giraban el Sol y el resto de planetas; en esto comparte méritos con otros tres astrónomos de los que hablaremos enseguida. ¿Decepcionados? No lo estén: la contribución de Galileo fue mucho más allá ya que, como dijo un filósofo de la ciencia, “de lo que se trataba no era de combatir teorías erróneas, o insuficientes, sino de transformar el marco de la misma inteligencia”. Y Galileo sí que fue el primer astrónomo que apuntó al cielo con un telescopio, gesto que festejamos este año con el Año Internacional de la Astronomía. Galileo vivió en una época en la que todas las respuestas procedían de la filosofía o de la Biblia y, aunque hubiera evidencias en su contra, se ignoraban o se tachaban de ilusiones. Aunque hoy nos parezca obvio que el saber se construya a partir de la experiencia, entonces era una excentricidad, y aquí va un ejemplo: según el dogma, había un mundo sublunar, la Tierra, a rebosar de corrupción y cambios, y un mundo supralunar, donde reinaba la perfección. Así, la Luna tenía que ser una esfera perfecta y límpida, lo que chocaba con la propia Luna, que muestra zonas inequívocamente más oscuras, señal de su naturaleza montañosa. Pues los filósofos se limitaban a repetir que la Luna “no podía” poseer esas irregularidades, porque ello la privaría de la forma esférica perfecta correspondiente a los

cuerpos celestes. Y punto.

Siglos de error

¿De dónde procedía ese saber que no admitía dudas? De muy atrás, nada menos que de la Grecia clásica. Fue Aristóteles quien, en el siglo IV a.C, sentó las bases de la teoría cosmológica que, aunque errónea, dominó hasta el siglo XVII. Según ella, el mundo sublunar estaba com-

puesto por cuatro elementos, agua, tierra, fuego y aire, y, como la tierra era el más pesado, su lugar natural era el centro del Cosmos. El resto de elementos se situaban en esferas concéntricas alrededor de la tierra, y los objetos buscaban su lugar dependiendo de su composición: por eso las piedras, compuestas del elemento tierra, caían hacia el suelo, mientras que

el fuego se movía hacia arriba. Otra cuestión era el mundo supralunar, que no estaba compuesto por los cuatro elementos ordinarios sino por el quinto elemento, el éter, incorruptible y sin peso. Los cuerpos celestes giraban en torno a la Tierra en sus respectivas esferas de éter, todas circulares y perfectas, en el siguiente orden: la Luna, Mercurio,

Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y la esfera de estrellas fijadas. Más allá de esta última esfera se hallaba el motor inmóvil, que impartía el movimiento a todas las esferas. Y ahí terminaba el Universo.

Aunque hubo voces disonantes, como la de Aristarco de Samos, que defendía que era la Tierra la que giraba alrededor del Sol, las ideas de Aristóteles se consolidaron como dogma irrefutable; eso sí, faltaba dotar a esa teoría de una base matemática que explicara ciertas cosas: los astrónomos veían que los planetas no se movían en órbitas circulares perfectas, sino que aceleraban, deceleraban y en algunos casos incluso se detenían e iban hacia atrás (miren, sino, la imagen de la trayectoria de Marte dibujaba sobre el fondo de estrellas). Y tampoco había manera de explicar por qué Venus, Marte o Júpiter brillaban unas noches más intensamente que otras,



Arriba: Ilustración del modelo de Ptolomeo que, inspirado en las ideas de Aristóteles, sitúa la Tierra en el centro del Universo. Arriba, ejemplo de las órbitas que propuso Ptolomeo, a base de epiciclos. Debajo, modelo propuesto por Copérnico, en el que la Tierra gira alrededor del Sol.

ya que una órbita circular perfecta no permitía cambios de distancia y los cuerpos celestes, dada su inmutabilidad, no podían cambiar de brillo. Los astrónomos buscaron encajar estas anomalías en un modelo matemático con bastante poco éxito hasta que Claudio Ptolomeo publicó su *Almagesto* en el siglo II. En él, Ptolomeo presentaba un modelo geocéntrico que reflejaba el movimiento del Sol y los planetas con una estructura de órbitas llamadas epiciclos que, aunque complejísticas, se ajustaban a lo que los astrónomos observaban en el cielo. Así, la Tierra siguió siendo el centro del Universo durante siglos y muy pocos se atrevieron a investigar la naturaleza al margen de la vía marcada por Aristóteles, independientemente de las evidencias en su contra, como las mencionadas montañas de la Luna.

Época de cambios

En 1543, poco antes de la muerte de su autor, vio la luz *De las revoluciones de las esferas celestes*, obra en la que Nicolás Copérnico había trabajado durante treinta años y que proponía una alternativa al modelo geocéntrico: no sólo la Tierra giraba alrededor del Sol -un modelo heliocéntrico-, sino que la misma Tierra giraba sobre su eje. Aunque la hipótesis contradijera la versión oficial, la construcción matemática era excelente y muchos aprovecharon sus ideas pero aplicadas a la concepción geocéntrica. Sin embargo, el modelo heliocéntrico estaba tan al margen de la filosofía de Aristóteles y del propio sentido común (¿alguien nota cómo se desplaza la Tierra?) que, aunque contó con seguidores, no produjo una respuesta apabullante. El mismo Galileo mostraba, décadas después, su asombro ante el cambio de paradigma: "No puedo encontrar término a mi admiración, al ver cómo en Aristarco y en Copérnico haya podido hacer la razón tanta violencia contra los sentidos, para que, en contra de éstos, ella se haya hecho la dueña de sus credulidades". Ni siquiera la Iglesia debió ver una amenaza inminente, ya que no se pronunció al respecto durante el siglo XVI.

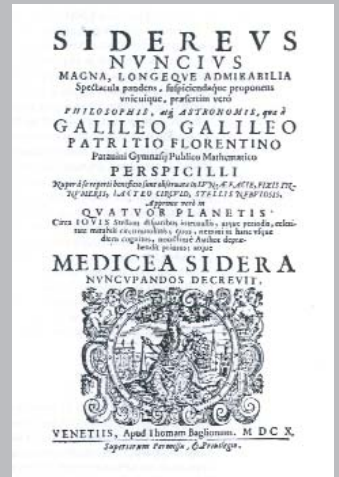
Quizá faltaban pruebas, algo que mostrara de modo inequívoco que Aristóteles y los teólogos se equivocaban: algo así llegó a manos del astrónomo

danés Tycho Brahe en 1572. Brahe, cuya obra se considera el pináculo de la observación a simple vista, descubrió una "estrella nueva" en la inalterable esfera celeste. "Estaba tan sorprendido que no me avergoncé de dudar de la fiabilidad de mis ojos", escribió en sus diarios (algunas versiones aseguran que pidió a su vecino que le pegara para comprobar que no estaba soñando). Su estrella nueva -hoy sabemos que era una supernova, o la explosión de una estrella moribunda-, arruinaba las teorías griegas de un Universo sin cambios. Sin embargo, Brahe no abrazó del todo la teoría copernicana: ideó un Universo de transición en el que el Sol y la Luna giraban alrededor de la Tierra inmóvil, mientras que Marte, Mercurio, Venus, Júpiter y Saturno giraban alrededor del Sol.

Al morir Brahe, su asistente Johannes Kepler heredó los registros que su maestro había mantenido en secreto y que constituían los mejores datos de observaciones planetarias de la época. Kepler, defensor de la teoría copernicana, era también profundamente religioso y no concebía que Dios hubiera dispuesto las órbitas de los planetas en otra forma que no fuera el círculo. Probó sin éxito innumerables combinaciones de círculos y finalmente,



Galileo Galilei y la portada de *Sidereus Nuncius*, obra en la que publicaba sus descubrimientos sobre los satélites de Júpiter, el carácter montañoso de la Luna o de las regiones nebulares, que creía eran conglomerados de estrellas.



muy a su pesar, lo intentó con elipses. Con ellas formuló tres leyes del movimiento de los planetas que, publicadas en 1609 en su obra *Astronomia Nova*, permitían predecir la posición de los planetas con una exactitud que ningún astrónomo había logrado jamás (ni siquiera Copérnico, que mantenía en su modelo las órbitas circulares).

Ciencia contra religión

Fue ese mismo año, 1609, cuando Galileo fabricó su telescopio y comenzó a observar el cielo. Se conoce, por su correspondencia con Kepler, que Galileo defendía el Universo heliocéntrico

de Copérnico desde 1597, pero no lo hizo público hasta que tuvo pruebas sólidas que apoyaran este modelo. Y dichas pruebas llegaron con el telescopio: observó tres estrellas cercanas a Júpiter y en las noches siguientes advirtió que, en lugar de permanecer fijas, "seguían al planeta", y que no eran tres, sino cuatro en total. En apenas una semana Galileo halló una explicación al fenómeno: no eran estrellas, sino pequeños cuerpos que giraban en torno a Júpiter. Cuatro lunas, Ío, Europa, Ganímedes y Calisto, que hoy conocemos como las lunas galileanas. La importancia de estos cuatro satélites, cuyo descubrimiento difundió Galileo en su obra *Sidereus Nuncius* (*El mensajero de las estrellas*) en marzo de 1610, reside en que demostraba que no había un único centro de movimiento en el Universo, como defendía la tradición aristotélica, y que, independientemente del sistema cosmológico que se eligiera, había dos centros de movimiento: la Tierra o el Sol por un lado y Júpiter por otro. Además, contestaba a otra pregunta de la cosmología tradicional: si la Tierra era un planeta normal, como Mercurio, Venus y el resto, ¿por qué era el único que poseía un satélite? Galileo demostró que no sólo no era el único, sino que Júpiter tenía más. Pero el entusiasmo con el que Galileo comunicó sus descubrimientos se convirtió en estupor casi de inmediato, al ver que sus hallazgos generaban violentas acusaciones. Algunos incluso se negaron a mirar a través del telescopio para comprobar las afirmaciones de Galileo, aduciendo que se trataba de puras ilusiones o, como dijo un maestro de la Universidad de



Movimiento aparente de Marte desde la Tierra: aproximadamente cada dos años, la Tierra adelanta a Marte en su giro en torno al Sol, y parece que Marte se detiene y comienza a moverse hacia atrás. Este movimiento retrógrado era uno de los problemas a los que el modelo aristotélico de Universo no encontraba solución. Fuente: NASA.

Padua, "para no aturdirse la cabeza" con cosas nuevas y "meterse en andanzas" que le cambiaran las ideas de siempre.

Galileo invirtió muchísimo esfuerzo en convencer a sus contemporáneos de que no se puede elaborar una teoría despreciando la realidad y, además de con los filósofos, se topó con los teólogos, que consideraban su disciplina la madre de todas las ciencias. Se trataba de marcar una línea: ¿qué disciplina tiene el poder para desvelar la verdad, la ciencia o la religión? Pero articulado en torno a una acusación de herejía por parte de la Inquisición, resumida en dos puntos que contrariaban los textos bíblicos: Galileo debía ser censurado por afirmar que el Sol, y no la Tierra, era el centro del mundo, y por asegurar que la Tierra se movía. En el debate, Galileo defendía sus tesis científicas ante religiosos que consideraban las matemáticas un "arte diabólica", y recurrían a argumentos surrealistas como: "si se la analiza [la proposición de Galileo] desde el punto de vista

Júpiter y sus lunas galileanas, Io, Europa, Ganimedes y Calisto, vistas con un telescopio pequeño y con la sonda *Voyager*. Fuente: NASA.

teológico es al menos errónea por lo que se refiere a la fe".

Galileo denunció con tesón el gravísimo error de utilizar un texto bíblico en discusiones científicas y fue su revolucionaria actitud ante la naturaleza, que exigía demostraciones, la que constituía la verdadera amenaza para la alianza de filósofos y teólogos. Pero la Iglesia hizo gala de su línea más intransigente y en el último proceso, en 1633, Galileo comprendió que la discusión científica resultaba imposible y aceptó el consejo de un amigo que le recomendaba decir lo que los jueces quisieran. Su retractación no evitó que le condenaran a arresto domiciliario de por vida y, hasta 1992, en un discurso del Papa Juan Pablo II, la Iglesia no aceptó como error la condena a Galileo.



El Año Internacional de la Astronomía AIA-IYA 2009

"EL UNIVERSO PARA QUE LO DESCUBRAS"

¿Cómo surge la iniciativa AIA-IYA 2009?

En el año 1609 Galileo Galilei apuntó por primera vez al cielo con un telescopio. Fue el comienzo de 400 años de descubrimientos que aún continúan. El 27 de octubre de 2006 la Unión Astronómica Internacional (UAI) anunció la declaración por la UNESCO del 2009 como el Año Internacional de la Astronomía (IYA2009), ratificada por la ONU el 19 de diciembre de 2007. El Año Internacional de la Astronomía representa una celebración global de la Astronomía y de su contribución a la sociedad, a la cultura y al desarrollo de la humanidad.

Actividades repartidas por todo el globo terráqueo pretenderán estimular el interés por la Astronomía y la Ciencia en general; desde su influencia en nuestras vidas diarias hasta cómo el conocimiento científico puede contribuir a un mundo más libre e igualitario.

Las actividades del IYA2009 se realizan en tres niveles: local, regional e internacional. Cada país cuenta con un nodo nacional, constituido por los representantes de todos los centros profesionales y asociaciones de aficionados a la astronomía interesados en participar en el IYA2009.

participan: **136 PAISES**
150 ENTIDADES EN ESPAÑA!

★ El portal web

EN ESTA DIRECCIÓN PODRÁS INFORMARTE DE TODOS LOS EVENTOS Y ACTIVIDADES QUE VAYAN PROGRAMÁNDOSE EN RELACIÓN AL AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA EN ESPAÑA (AIA-IYA2009), PROPONER IDEAS, CONSULTAR ACTIVIDADES DE OTROS NODOS INTERNACIONALES, CONTACTAR CON LOS ORGANIZADORES, ETC.



www.astronomia2009.es

Proyectos pilares

SE TRATA DE ONCE PROGRAMAS GLOBALES CENTRADOS EN UNA SERIE DE TEMAS QUE CUBREN LOS PRINCIPALES OBJETIVOS DEL AIA ESPAÑA PARTICIPA EN LOS SIGUIENTES Y SERÁN LA CLAVE DEL ÉXITO DEL AIA-IYA2009

1 100 horas de Astronomía

100 horas de astronomía en todo el planeta, incluyen observaciones del cielo, *webcasts*, conexión de grandes observatorios alrededor del globo, etc.

Uno de los objetivos principales de este evento mundial es que el mayor número posible de personas descubra a través de un telescopio lo mismo que Galileo observó: las cuatro lunas galileanas alrededor de Júpiter.

100 horas de Astronomía tendrá lugar desde el jueves, 2 de abril, al domingo, 5 de abril de 2009. Esto incluye dos días lectivos, ideal para estudiantes y profesores y un fin de semana, más adecuado para toda la familia. Coordinación: Montse Villar (montse@iaa.es)

2 Descubre el cielo oscuro

Es urgente luchar por la preservación y protección de la herencia natural y cultural que supone un cielo oscuro, no contaminado por las luces artificiales, en lugares como oasis urbanos, parques nacionales y emplazamientos para la observación astronómica.

Para este proyecto la Unión Astronómica Internacional colaborará con NOAO, la Asociación Internacional para el Cielo Oscuro, y otras asociaciones en pro del cielo oscuro y de la educación medioambiental, en aspectos como el desarrollo de nuevas técnicas de iluminación y actividades como fiestas de estrellas, cuentacuentos, etc. Se pretende que ciudadanos de todo el mundo tomen medidas de la luminosidad de sus cielos empleando sus propios ojos y medidores digitales (similar al exitoso programa *GLOBE at Night*)

Coordinación: Fernando Jaúregui (fernando@pamplonetario.org)

3 Ella es una astrónoma

El AIA-IYA2009 tiene el propósito de contribuir a los objetivos del Desarrollo del Milenio de la ONU, entre ellos

“promover la igualdad entre los géneros”. Ella es una astrónoma tiene como objetivo ofrecer soluciones para algunos de estos problemas.

Aproximadamente la cuarta parte de los astrónomos profesionales son mujeres, y el campo continúa atrayendo a mujeres y beneficiándose de su participación. Sin embargo, hay grandes diferencias geográficas, con países donde más del 50% de las profesionales son mujeres, y otros donde apenas existe representación femenina.

La igualdad de género debe implicar a toda la comunidad científica independientemente de la localización geográfica, aunque los problemas y las dificultades varíen de unos países a otros.

Coordinación: Cesca Figueras (cesca@am.ub.es)

4 Diarios Cósmicos

Este proyecto no es sobre astronomía, sino sobre los astrónomos. En un blog cósmico, los astrónomos profesionales escribirán en texto e imágenes sobre sus vidas, familias, amigos, aficiones e intereses, así como su trabajo - sus últimos resultados profesionales y sobre los retos a los que se enfrentan en su carrera.

Estos diarios representarán una vibrante sección del conjunto de hombres y mujeres que trabajan en Astronomía alrededor de todo el globo.

5 Explora el Universo

(*The Universe Awareness - UNAWU*)

Los objetivos de *Explora el Universo: UNAWU-SPAIN* coinciden con el espíritu del Programa Internacional *Universe Awareness*, es decir, poner al alcance de niños de 4 a 10 años la belleza y grandiosidad del Universo con el objetivo final de formarse como adultos de mente abierta y tolerante.

Coordinación: Rosa María Ros (ros@ma4.upc.es)

6 Programa Galileo para profesores

Existe una ingente cantidad de recursos didácticos para la enseñanza de la Astronomía, la mayoría disponible de manera gratuita a través de Internet. Sin embargo es necesario complementarlos con un programa de formación de profesores para que sean capaces de emplearlos en su propio entorno educativo.

El principal objetivo de este proyecto es crear para el 2012 una red global de formación y recursos astronómicos para profesores en el que se incluya la celebración de congresos internacionales, herramientas para el empleo de telescopios ópticos y radioastronómicos a través de internet, *webcams*, ejercicios de astronomía, recursos interdisciplinarios, procesado de imágenes, universos digitales (*planetarios online*), etc.

7 Astronomía Patrimonio de la Humanidad

La UNESCO y la UAI están trabajando en un proyecto para la preservación de la Astronomía como herencia cultural y natural. La iniciativa pretende el reconocimiento y la promoción de los logros científicos de la humanidad a través de la nominación de patrimonio de la humanidad de aquellos lugares, paisajes o estructuras arquitectónicas relacionadas con la observación del cielo o con la Astronomía.

Las líneas propuestas son: identificación, salvaguarda, y promoción de las propiedades y características de estos emblemáticos espacios. El programa provee una oportunidad para identificar estos lugares relacionados con la Astronomía y localizados alrededor del globo, para preservar su memoria y salvarlos de la progresiva degradación. Es fundamental el apoyo de la comunidad internacional a través del AIA-IYA2009 para desarrollar esta actividad que nos permitirá ayudar a preservar esta, en muchas ocasiones, frágil herencia.

Contacto: Juan Antonio Belmonte (jba@iac.es)

Además de los proyectos pilares, en nuestro país se están organizando una serie de proyectos cuyo ámbito de alcance es todo el territorio nacional.

Más información en http://astronomia2009.es/Proyectos_de_ambito_nacional.html

Chandrasekhar y los agujeros negros

POR CHARO VILLAMARIZ CID
(INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS)

7 de octubre de 2008, 12 de la mañana hora de Estocolmo: ¿puede usted recordar lo que estaba haciendo? Los físicos japoneses Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi y Toshihide Maskawa estaban recibiendo una de las mejores noticias de su vida profesional: ¡el premio Nobel de física del año 2008 era *ex aequo* para ellos!

Dios mío, imagínenselo, años y años de pasión y trabajo, tanta pasión como trabajo y dificultades, para hoy recibir tamaño reconocimiento... dios mío dios mío, ¿qué más podrán ambicionar ahora estos excelentes investigadores?

Pues miren, uno de los 183 afortunados que hasta hoy han recibido este notición es nada más y nada menos que Subramanyan Chandrasekhar, el gran astrofísico indio, y él es el protagonista de esta nota histórica.

Subramanyan Chandrasekhar nació el 19 de octubre de 1910 en Lahore, en la entonces India británica, en el seno de una familia acomodada de diez hermanos. Su padre Chandrasekhara Subramanya Ayyar trabajaba para una compañía inglesa, la Northwestern Railways y, según sus propias palabras, su madre Sita era una mujer brillante que se dedicó con pasión a la educación de sus hijos y cultivó en ellos grandes expectativas. De casta le viene al galgo además por parte de tío, Sir Chandrasekhara Venkata Raman, que ganó también el premio Nobel de física en 1930.

Ese mismo año estaba su joven sobrino Subramanyan viajando desde India a Inglaterra, a Cambridge, para comenzar su tesis en la *Trinity College* dirigido por R.H. Fowler, después de haber terminado su licenciatura en física en la *Presidency College* de Madrás.

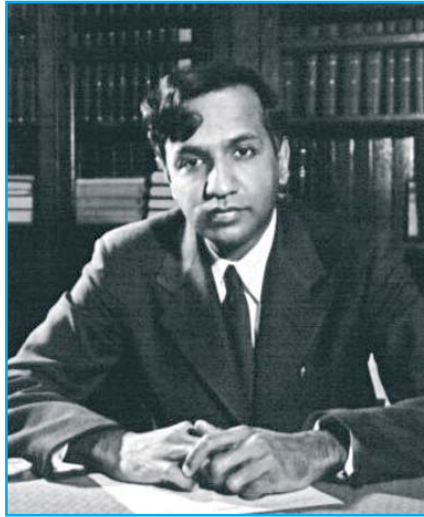
Cuenta la leyenda que durante el largo trayecto en barco desde su colorida y cálida India natal hasta la sesuda y fría Cambridge se entretuvo resolviendo las ecuaciones que rigen la estructura de los interiores estelares y que, calculando calculando, llegó a la conclusión de que si una enana blanca era aproximadamente una vez y media más pesada que el Sol, no había manera de evitar que la pobre colapsara sobre sí misma y formara un agujero negro. Vamos, que era tan pesada que no se aguantaba ni a sí misma.

MUY, MUY PESADAS

La cosa es sencilla: todos sabemos desde hace mucho tiempo que las masas se atraen: el Sol

atrae a la Tierra y viceversa, la Tierra atrae a la Luna y viceversa, la Tierra nos atrae a nosotros y viceversa ... pero ¿un trozo de la Tierra no atrae a otro trozo de la propia Tierra? ambos son masas también ... pues sí, efectivamente,

“ CUENTA LA LEYENDA QUE DURANTE EL LARGO TRAYECTO EN BARCO DESDE SU INDIA NATAL HASTA CAMBRIDGE SE ENTRETUVO RESOLVIENDO LAS ECUACIONES QUE RIGEN LA ESTRUCTURA DE LOS INTERIORES ESTELARES ”



existe lo que podemos llamar autogravedad y, precisamente, lo que impide que las estrellas colapsen sobre sí mismas debido a ella es la presión de la radiación que se está produciendo en su núcleo, donde procesos nucleares de fusión están inyectando energía en el sentido opuesto al del colapso gravitatorio (tengan en cuenta que las estrellas no son sólidas como la Tierra, sino plasma, un gas con cargas libres, y por tanto pueden comprimirse a diferencia del sólido).

Tate, ya lo entiendo, ¿qué pasa ahora si el combustible de las reacciones nucleares se termina? Oh dios mío (aquí está otra vez, es lo que tiene la ubicuidad) ¿quién va a frenar el colapso gravitatorio?

Pues esto es lo que Chandrasekhar andaba calculando: una enana blanca es una estrella que fue como el Sol mientras le duró el combustible y que, al apagarse y colapsar, encontró otro equilibrio: se convirtió en un material no comprimible, degenerado en lenguaje más técnico, y de esta manera consiguió frenar el colapso gravitatorio. Pero este tipo de material no comprimible no es capaz de soportar cualquier pre-

sión: igual que los sólidos que conocemos se rompen si los sometemos a tensiones mayores de lo que su estructura interna les permite soportar, las enanas blancas más pesadas que cierta masa límite no consiguen frenar el colapso gravitatorio y continúan colapsando y haciéndose más densas hasta convertirse en un agujero negro.

Esta masa límite recibe el nombre de masa límite de Chandrasekhar, en honor a su descubridor, y tiene un valor aproximado de una vez y media la masa del Sol.

UN NUEVO Y SINGULAR OBJETO

Así que el joven Chandrasekhar llegó a Cambridge con un objeto astrofísico nuevo bajo el brazo, los agujeros negros. En esa época la relatividad general de Einstein estaba recién salida del horno y en pleno apogeo tras las primeras pruebas experimentales a su favor, y en el marco de esta teoría los agujeros negros son objetos muy singulares. De hecho se les denomina técnicamente singularidades. Las propiedades del espaciotiempo dentro de

“ EL JOVEN CHANDRASEKHAR ENCONTRÓ TANTA RESISTENCIA A SUS IDEAS QUE FINALMENTE DECIDIÓ INVESTIGAR OTROS CAMPOS ”

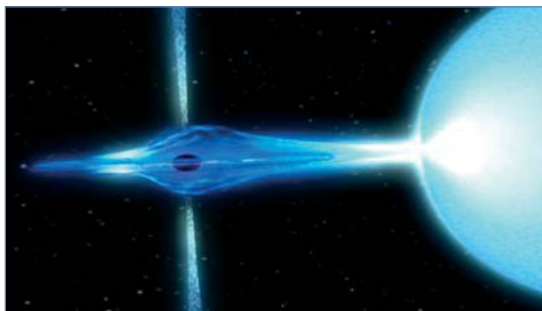
ellos parecen ser muy distintas a lo que la intuición y la física prerrelativista estaban acostumbradas.

Se trata de objetos de los que es imposible salir, igual que el tiempo camina irremediamente hacia el futuro en nuestra realidad más cotidiana, uno camina irremediamente hacia el centro del agujero negro una vez que entra en él. Ni siquiera la luz es capaz de escapar de ellos, y de ahí su nombre.

Hoy en día tanto la comunidad científica como la no científica hablan sin pudor de los agujeros negros: existen en el Universo, los hemos detectado, pero entonces aquello resultaba demasiado exótico para el pensamiento dominante y el joven Chandrasekhar encontró tanta resistencia a sus ideas que finalmente decidió investigar otros campos, hasta que unos treinta años más tarde volvió a retomar sus viejos trabajos y publicó una segunda tanda de artículos entre los años 60 y 70, que junto con los originales de los años 31 al 36 le valieron su envidiado Nobel en 1983. Un premio que, como el de nuestros coetáneos japoneses, fue también compartido.

ESTRELLAS BINARIAS

[1] Bajo este término, se agrupan objetos como las enanas blancas, las estrellas de neutrones, estrellas densas exóticas y los agujeros negros estelares. Los objetos compactos parecen ser objetos muy masivos, con un radio muy pequeño. Estos objetos corresponden al estado final de la evolución de las estrellas. Cuando una estrella ha consumido todo su combustible nuclear, la presión de radiación no es capaz de compensar el propio peso de la estrella y la estrella colapsa hasta un estado muy denso: es el objeto compacto.



[2] Son chorros de materia que se encuentran generalmente asociados a discos de acreción, tanto en formación estelar como en agujeros negros que succionan materia. Están formados por plasma que viaja a velocidades relativistas (próximas a la velocidad de la luz). Cuando la dirección de su movimiento es muy próxima a la línea de visión del observador, se observa que las inhomogeneidades se desplazan en el chorro a velocidades aparentes mayores que la velocidad de la luz (se denominan velocidades superluminales). Aunque no se conoce con todo detalle la física asociada a la formación, aceleración y colimación de los chorros, se sabe que el campo magnético juega un papel fundamental.

[3] Un microcuásar (o una binaria de rayos X que emite en longitudes de onda de radio) es una versión en miniatura de un cuásar: tiene propiedades comunes, como su intensa emisión en radio y su variabilidad, la presencia de chorros relativistas emanando del objeto compacto central y el disco de acreción que rodea al objeto central, que es un agujero negro o una estrella de neutrones. Pero, mientras que en el caso de los cuásares el objeto central tiene una masa de cientos de millones de soles, en el caso de los microcuásares es tan solo de unos pocos soles. En este caso, la masa acreta viene de una estrella compañera. Los chorros relativistas tienen fuerte emisión en radio y presentan velocidades superluminales. Como las escalas típicas de variabilidad de los chorros son proporcionales a la masa del objeto central, los microcuásares varían sus estructuras con escalas temporales características del día.

Las estrellas binarias de rayos X vienen desempeñando un papel muy relevante en astrofísica desde hace varias décadas, debido a que ha sido en este tipo de sistemas donde se ha encontrado evidencia clara de la presencia de objetos compactos [1]. Estos sistemas binarios están compuestos por un objeto compacto que succiona material de su estrella compañera, mucho más masiva pero menos compacta, mediante un disco de acrecimiento. Si, además, la binaria de rayos X presenta chorros relativistas [2] de emisión radio, este sistema se conoce como microcuásar [3].

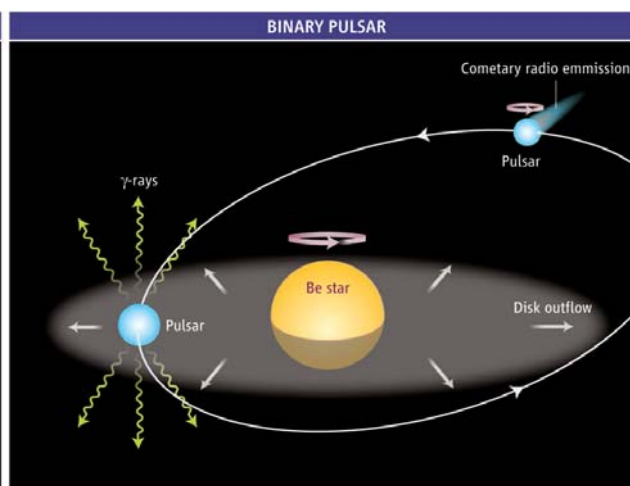
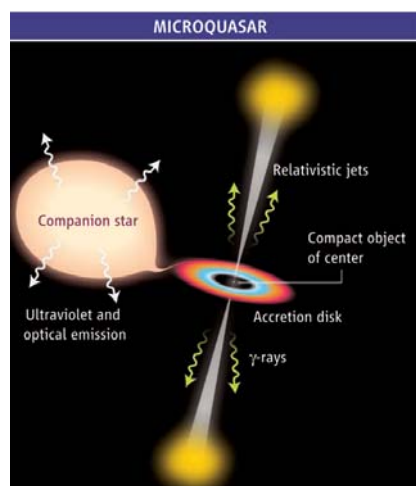
Los microcuásares se han venido considerando como el paradigma para explicar la emisión observada en las estrellas binarias de rayos X con chorros radio relativistas. Sin embargo, otros modelos alternativos se han propuesto para explicar la emisión observada. En particular, el modelo alternativo más plausible es el que presupone un sistema binario formado por una estrella masiva de tipo Be [4] en torno a la cual gira un púlsar [5], cuyo viento fluye hasta grandes distancias, formando una cola cometaria [6] de emi-

sión radio. La interacción del viento del púlsar con el flujo de la estrella Be produciría emisión en la banda de rayos gamma [7]. En este caso, no se forman chorros de radio relativistas, de modo que observaciones radio de muy alta resolución permitirían confirmar cuál de estos dos modelos es el correcto.

En el número de mayo de 2008 de la revista *The Astrophysical Journal* publicamos los resultados obtenidos durante una campaña de observación multifrecuencia y cuasi-simultánea del sistema LS I +61 303. Este sistema binario de rayos X es uno de los más estudiados de nuestra galaxia y se venía considerando el prototipo de microcuásar, ya que en un trabajo anterior se había sugerido la existencia de chorros relativistas, evidencia nunca confirmada.

Obtuvimos observaciones de alta resolución radio con las redes radiointerferométricas [8] europeas de MERLIN y del eEVN, y con la norteamericana del VLBA, así como en la banda de rayos X (con el satélite Chandra) y en la de rayos gamma (con el telescopio Cherenkov MAGIC, en la isla de La Palma).

[4] Es una estrella tipo B (estrellas azules muy luminosas) con líneas prominentes de hidrógeno en su espectro de emisión. También presentan líneas de emisión de otros iones atómicos, aunque son mucho más débiles. Presentan polarización lineal en el óptico y emisión en el infrarrojo mucho más intensa que las estrellas B normales, lo que se conoce con el nombre de exceso infrarrojo. El comportamiento de estas estrellas como tipo Be es transitorio, de modo que en ocasiones se presentan como estrellas tipo B normales y en otras como tipo Be. Las propiedades observacionales de estas estrellas pueden explicarse asumiendo la presencia de un disco gaseoso circumestelar, formado a partir de material expulsado por la propia estrella: las líneas de emisión se formarían a partir del reprocesamiento de la luz ultravioleta emitida por la estrella central en el disco; el exceso infrarrojo y la polarización se deberían a la dispersión de la luz en el disco de gas. Las estrellas tipo Be son rotadoras muy rápidas, como se demostró mediante observaciones interferométricas de las estrellas Achernar, que mostraron que la estructura de la estrella era achatada como consecuencia de esta rotación.



RIAS DE RAYOS X

Entre los resultados obtenidos, cabe destacar los siguientes tres aspectos. En primer lugar, las observaciones en radio de alta resolución indican que no existen chorros de emisión radio a escalas mayores de unas 200 UA. Y si existen a escalas menores, no parecen ser relativistas. Este resultado es difícilmente compatible con el modelo de microcuásar normalmente aceptado para LS I +61 303, y favorece en cambio el modelo de un púlsar orbitando en un sistema binario, ya que la emisión radio muestra de manera consistente un aspecto de cola cometaria, tal como cabe esperar en este escenario.

En segundo lugar, la morfología de la distribución de la emisión radio muestra una gran similitud cuando se comparan observaciones en distintas fechas, pero con la misma fase orbital, lo que indica un elevado nivel de periodicidad y estabilidad en los procesos físicos responsables de la emisión radio. Nuevamente, este resultado favorece el escenario del púlsar binario. Finalmente, la comparación de las observaciones cuasi-simultáneas radio, X y gamma sugieren la existencia

de una correlación temporal entre la emisión X y de rayos gamma, mientras que la emisión radio y de rayos gamma no muestra correlación e incluso podría estar anticorrelacionada. Este sorprendente resultado exige la existencia de dos poblaciones de electrones relativistas: una que es responsable de la emisión X y de rayos gamma, y otra que produciría la emisión radio.

En resumen, LS I +61 303, considerado hasta ahora como el prototipo de microcuásar, parece ser más bien un púlsar que gira en torno a una estrella masiva. Sin embargo, todavía quedan flecos por entender de este fascinante caso, y estamos actualmente analizando los resultados de una campaña multibanda y simultánea más intensa que la anterior, y que esperamos dé la respuesta definitiva a la cuestión básica del tipo de sistema que es responsable de la emisión radio, X y de rayos gamma procedente de LS I +61 303. Seguiremos informando.

MIGUEL ÁNGEL PÉREZ TORRES (IAA)
deconstrucción: ANTXON ALBERDI (IAA)

[7] Un púlsar irradia al exterior energía y materia en forma de viento, como cualquier otra estrella. La diferencia reside que el viento de un púlsar puede alcanzar velocidades relativistas y, en presencia de un campo magnético, emitir emisión radio de tipo sincrotrón. Si el púlsar no tiene una estrella compañera, el viento se desplaza en un medio de muy baja densidad y su interacción con el mismo es despreciable. En cambio, si el sistema es binario y la estrella compañera posee un viento estelar también significativo, como en el caso de una estrella Be, el resultado de esta interacción es un potente choque. En este choque, las partículas pueden llegar a acelerarse hasta energías de varios teraelectronvoltios, es decir, el rango de rayos gamma.



[8] Son redes de radiotelescopios que observan simultáneamente un objeto astronómico y que equivalen a un radiotelescopio cuyo diámetro es la máxima distancia entre los telescopios que forman la red. De esta forma, mejoran la resolución angular de las observaciones. Así, pasamos de una resolución angular típica de veinte segundos de arco para un radiotelescopio de cien metros observando a un centímetro, a una resolución mejor que un milisegundo de arco para una red interferométrica con telescopios distribuidos por la superficie terrestre (diámetro de 10.000 km). Entre las redes interferométricas más utilizadas están el *Very Large Array* (VLA; distancia máxima entre telescopios 27 km; Nuevo México, EE.UU.; trabaja a longitudes de onda centimétricas), *Very Long Baseline Array* (VLBA; distancia máxima de 9000 km; EE.UU., desde las Islas Vírgenes a Hawái; trabaja a longitudes de onda centimétricas), *European VLBI Network* (EVN; con líneas de base de hasta 10.000 km, con antenas en Europa y China; trabaja a longitudes de onda centimétricas), Plateau de Bure (PdB; con líneas de base de hasta 760 metros; trabaja a longitudes de onda milimétricas) *Sub-Millimeter Array* (SMA; con líneas de base de hasta 32 metros; trabaja a longitudes de onda submilimétricas), entre otras.

[5] Los púlsares son estrellas de neutrones en rotación, con un campo magnético muy intenso. Puede contener la masa del Sol en un radio de decenas de kilómetros, lo que supone una densidad de cientos de millones de toneladas por centímetro cúbico. La radiación de los púlsares se concentra en unos haces muy estrechos, de modo que la emisión sólo se detecta cuando los haces apuntan en la dirección del observador. El período típico de los pulsos va desde los milisegundos hasta los segundos de tiempo. No se conoce muy bien la razón de la concentración de la radiación, aunque se piensa que está asociado con la presencia de partículas muy relativistas (protones y electrones de la superficie girando alrededor del centro a enormes velocidades) sometidos a la acción de intensos campos magnéticos: las partículas relativistas orbitando en torno al campo magnético emiten radiación sincrotrón, radiación que está concentrada en un haz muy estrecho (cuanto más relativistas son las partículas, más estrecho es el cono de radiación).



[6] Los cometas son cuerpos celestes compuestos por hielo y rocas que giran en torno al Sol en órbitas muy elípticas. Cuando se acercan a posiciones próximas al Sol, parte de los materiales del núcleo del cometa se subliman y forman una atmósfera en su entorno que se denomina coma y que está constituido por gas y polvo. En la morfología de los cometas destaca la presencia de colas. Estas colas se forman cuando el cometa se acerca al Sol y el viento solar incide sobre la coma.

Normalmente presentan una cola de polvo y otra de gas ionizado. La cola de gas se dirige siempre en el sentido perfectamente contrario al de la luz del Sol; sin embargo, la cola de polvo retiene parte de la inercia orbital y se sitúa entre la cola principal y la trayectoria del cometa. En el cometa Hale-Bopp se descubrió un tercer tipo de cola que estaba compuesta por iones de sodio. Las colas de los cometas llegan a extenderse de forma considerable, alcanzando millones de kilómetros.



HD 34282



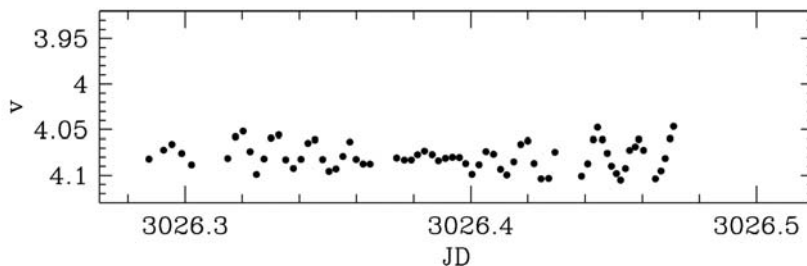
Realizó su doctorado en Astrofísica en la *Queen's University* (Belfast) y ha trabajado en los observatorios de Armagh (Irlanda del Norte), Catania (Italia) y La Silla (Paranal, Chile). Desde 2005 trabaja en el Instituto de Astrofísica de Andalucía con un contrato de Investigador Ramón y Cajal.

Su labor investigadora se centra en estrellas variables, pulsaciones estelares y en la actividad magnética estelar.

La primera vez que me encontré cara a cara con HD 34282 (o, como mis amigos prefieren llamarla, V1366 Ori) fue durante una larga noche de invierno de 2004 mientras estaba al frente de uno de los dos telescopios del Observatorio de Sierra Nevada. Estaba medio adormilado, ya que las noches de invierno son muy duras (sobre todo cuando la mente salta entre dos ideas fijas: ¿qué hora es? y ¿dónde está mi almohada?), pero cuando vi la fuerza y rapidez de las ondas que su movimiento producían en la luz que me llegaba de ella pensé "¿qué clase de bestia extraña es esta?". Lo primero que hice fue comprobar cada cuánto se repetía el fenómeno que estaba observando; no tardé mucho, ya que la periodicidad de 18 minutos que calculé se iba a convertir en la más rápida jamás observada para un objeto de su tipo. Desde entonces la llamo "hiperactiva".

Una estrella muy variable

Pero os preguntaréis que con qué tipo de curiosidad tuve que vérmelas aquella noche de enero. HD 34282 es un objeto que los astrofísicos llamamos "estrella pre-secuencia principal de tipo delta Scuti". El adjetivo pre-secuencia principal califica a una estrella joven que todavía no ha entrado en su fase adulta (fase en la que las estrellas pasan la mayor parte de su vida fusionando hidrógeno en su núcleo). El tipo, delta Scuti, proviene del nombre de una estrella en la que se observó por primera vez este tipo de variabilidad y que ha definido a toda una clase de estrellas variables. Las periodicidades en las curvas de luz de las estrellas delta Scuti se producen por un mecanismo físico que, puesto en marcha por las características peculiares de la estructura interna, mantiene una serie de seísmos internos que la hacen vibrar como un tambor (o como cualquier otra caja resonante de cualquier otro instrumento). Lo que vi reflejado como ondas en la curva de luz de la estrella eran los seísmos que se estaban produciendo en ese mismo instante en su interior y que se transmitían hasta su superficie. Estos seísmos nos permitirán, como ocurre con los de la Tierra,



Curva de luz de HD 34282 tomada en enero de 2004.

conocer más sobre las características de las capas más profundas del interior estelar, así como afinar un poco más la edad de este objeto celeste.

"La periodicidad de 18 minutos que calculé se iba a convertir en la más rápida jamás observada para un objeto de su tipo. Desde entonces la llamo hiperactiva"

Enseguida entendí que esa maravilla de la naturaleza me iba a traer de cabeza mientras intentara desentrañar los misterios que ocultaba. De estas primeras observaciones, mis compañeros y yo pudimos recoger cuantiosa y valiosa información que recopilamos en un manuscrito que publicamos rápidamente. La rapidez de esta publicación fue importante para, como el mismo árbitro de la revista dijo, "poder volver a pedir tiempo de telescopio para poder estudiarla más detalladamente". Y eso hicimos. A los pocos meses ya estábamos siguiéndola otra vez, esta vez desde distintos observatorios alrededor del mundo. Pero las herramientas que estábamos utilizando (la fotometría en varios colores) no eran suficientes.

Persiguiendo el objetivo

Pensando que nuestro *Moby Dick* realmente necesitaba instrumentos más potentes, decidí pedir tiempo en uno de los telescopios más grandes del mundo, el VLT (*Very Large Telescope*) en el desierto de Atacama, en Chile. Con la capacidad del VLT de recolectar mucha más luz

que sus hermanos pequeños y la de uno de sus instrumentos de descomponer la luz de los objetos celestes en muchos colores (lo que llamamos obtener un espectro), pudimos hacer un seguimiento temporal muy preciso de los seísmos que ya habíamos observado desde otros observatorios. Aunque aún tenemos que explotar los datos al máximo, con ellos hemos podido determinar los parámetros físicos que definen a una estrella, o sea, la temperatura de su superficie, la gravedad que se experimenta sobre ella y una medida de los elementos químicos más pesados que el helio.

"La estrella fue seguida por MOST, la primera misión espacial dedicada a hacer este tipo de estudios"

Además, la estrella fue seguida por la primera misión espacial dedicada a hacer este tipo de estudios, además de a la búsqueda de planetas más allá del Sistema Solar, tomando mediciones de su luz durante todo un mes. MOST, así se llama el satélite lanzado por la Agencia Espacial Canadiense que la observó, nos permitirá obtener una precisión en la determinación de los periodos de esta estrella no alcanzada antes. Solo CoRoT, otra misión espacial en la que participa España, podría haber superado la calidad de estos datos, pero esto no podrá ser, ya que nuestra ballena no saldrá a la superficie en la zona del cielo donde CoRoT esta apuntando su "catalejo".

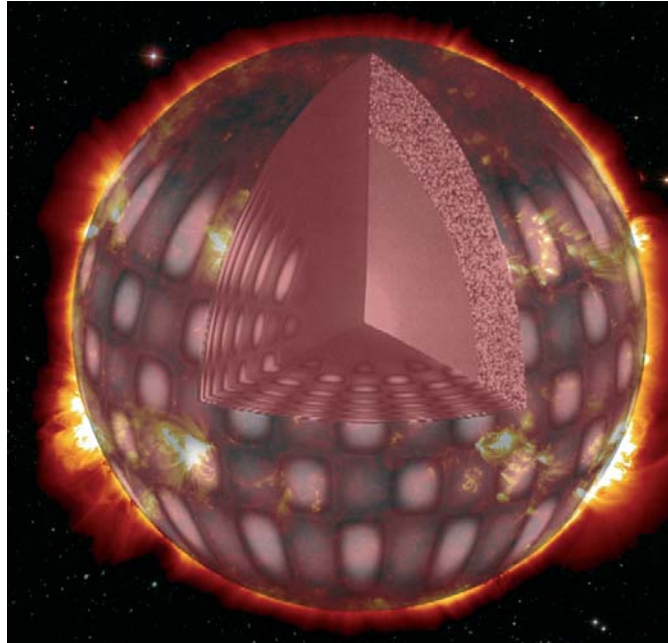
El interior de las estrellas, al alcance de los científicos gracias al satélite CoRoT

Los datos obtenidos sobre tres estrellas similares al Sol permiten conocer su edad, evolución y dinámica interna

► Los últimos resultados de la misión espacial CoRoT acercan a la comunidad científica un viejo sueño de los astrónomos: conocer qué ocurre en el interior de las estrellas. Los datos muestran inequívocamente oscilaciones en la superficie de tres estrellas similares al Sol, un fenómeno parecido a los terremotos terrestres pero, en este caso, causado por el movimiento del gas dentro de las estrellas. El análisis de estas oscilaciones, que se conoce como astrosismología, ofrece información sobre la edad de las estrellas, su composición química, rotación y evolución. Los resultados, en los que colabora Rafael Garrido, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), se publicaron en la revista *Science*.

La misión CoRoT constituye un desafío científico y tecnológico que busca, como explica Rafael Garrido, "ampliar a otras estrellas esa capacidad desarrollada, y no del todo, para la estrella más cercana: el Sol". El estudio de los temblores estelares ha permitido indagar en el interior del Sol, la única estrella que permite mediciones directas, pero la distancia impide observar esos "terremotos" en otras estrellas. La alternativa consiste en medir las variaciones en luminosidad que se producen cuando la estrella oscila, método que aplica CoRoT con una precisión inigualable, ya que es capaz de detectar variaciones de una parte por millón. Esto le permite estudiar estrellas similares al Sol, un tipo especialmente complejo debido a su tamaño (de hecho, el Sol entra en la clasificación de las "enanas amarillas").

Así, los recientes resultados, basados en las curvas de luz de las estrellas HD49933, HD181420 y HD181906, que cubren 60 días de observación para la primera y 156



Oscilaciones en el Sol. Una imagen de la atmósfera del Sol tomada por el satélite TRACE (NASA) superpuesta sobre un modelo matemático de uno de los millones de modos de oscilación que permite a los científicos deducir su estructura y dinámica interna.

Debajo, concepción artística de la misión. Fuente: CNES (ilus: D. Ducros).



para el resto, no sólo constituyen un sólido descubrimiento, sino que demuestran que es posible obtener este tipo de medidas, algo fundamental para futuras misiones. "Estos datos son el primer banco de pruebas que jamás se tuvo para contrastar nuestros modelos de cómo evoluciona una estrella", asegura Rafael Garrido. "Por otro

lado, el que seamos capaces de interpretar las oscilaciones nos podrá dar respuestas a algunas cuestiones que, en general, se consideran fuera del ámbito de la Física Estelar, como la masa de los neutrinos o la posible concentración de materia oscura en el núcleo de las estrellas; se han hecho modelos con y sin las partí-

culas que se cree que forman este tipo de materia y predicen modos de oscilación diferentes", señala el investigador.

CoRoT pionero

En diciembre de 2006 se lanzó la misión CoRoT, constituida por un telescopio pequeño dedicado a la fotometría, o medición de la luz, capaz de observar un gran número de estrellas de forma continuada y apreciar cualquier variación de brillo emitido por ellas. De hecho, cada serie de observaciones proporciona unas 12.000 curvas de luz, correspondientes a la observación casi continua durante periodos de hasta 150 días. Esta capacidad, exclusiva de CoRoT, se complementa con una precisión inigualable: podría observar un millón de bombillas y distinguir el parpadeo de una sola de ellas. Sus medidas de la variación del brillo de las estrellas no solo desvelarán el comportamiento de cada una de ellas, sino que posiblemente conducirán a una nueva clasificación estelar. Además, contempla como segundo objetivo la búsqueda de planetas similares al nuestro en torno a estrellas de tipo solar.

La misión, desarrollada por el Centro Nacional de Estudios Espaciales francés (CNES) cuenta con un 20% de participación de otros países, entre los que se encuentra España. Un grupo del Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC), liderado por Rafael Garrido, ha trabajado en el proyecto desde sus orígenes y coordina la participación española, que también incluye al Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC), el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), la Universidad de Valencia (UV), el Laboratorio de Astrofísica y Física Fundamental (LAEFF) de Madrid y la empresa GMV, que ha desarrollado parte del Centro de Misión del satélite.

Silbia López de Lacalle (IAA).

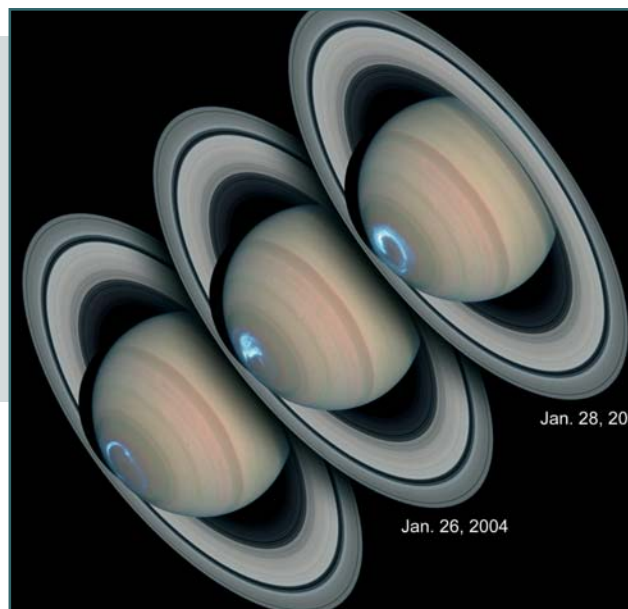
La compleja aurora de Saturno

Una cámara infrarroja de la nave Cassini ha detectado, en el polo norte de Saturno, una aurora muy distinta a las observadas en el Sistema Solar

► Vista desde el espacio, una aurora aparece como un anillo de luz localizado en las regiones polares del planeta. El brillo se origina porque las partículas con carga eléctrica provenientes del viento solar, al ser aceleradas por las líneas del campo magnético planetario, colisionan con los gases de las capas altas de la atmósfera. La colisión con los gases da lugar a la emisión de energía en forma de luz y ondas de radio. En la imagen se presenta una composición de imágenes de ultravioleta y visible del Telescopio Espacial Hubble. La emisión ultravioleta que podemos ver en la región polar sur está generada por la excitación del hidrógeno tras el impacto de las partículas energéticas. Simultáneamente a estas imágenes, la sonda Cassini registró emi-

siones de radio de la región polar así como medidas del viento solar. El estudio nos revela que las auroras cambian de un día a otro estando su morfología directamente relacionada con la actividad del viento solar. Como podemos ver en las imágenes, la región auroral de Saturno está dominada por un único óvalo. La geometría de este óvalo es altamente dependiente de la actividad solar variando desde prácticamente una forma circular durante periodos de baja actividad solar, hasta una forma espiral que se extiende hacia el Ecuador del planeta en periodos de máxima actividad solar.

Aunque está clara la fuerte dependencia de la morfología de las auroras con los cambios de la actividad solar, la fuente de las corrientes que las originan es aún

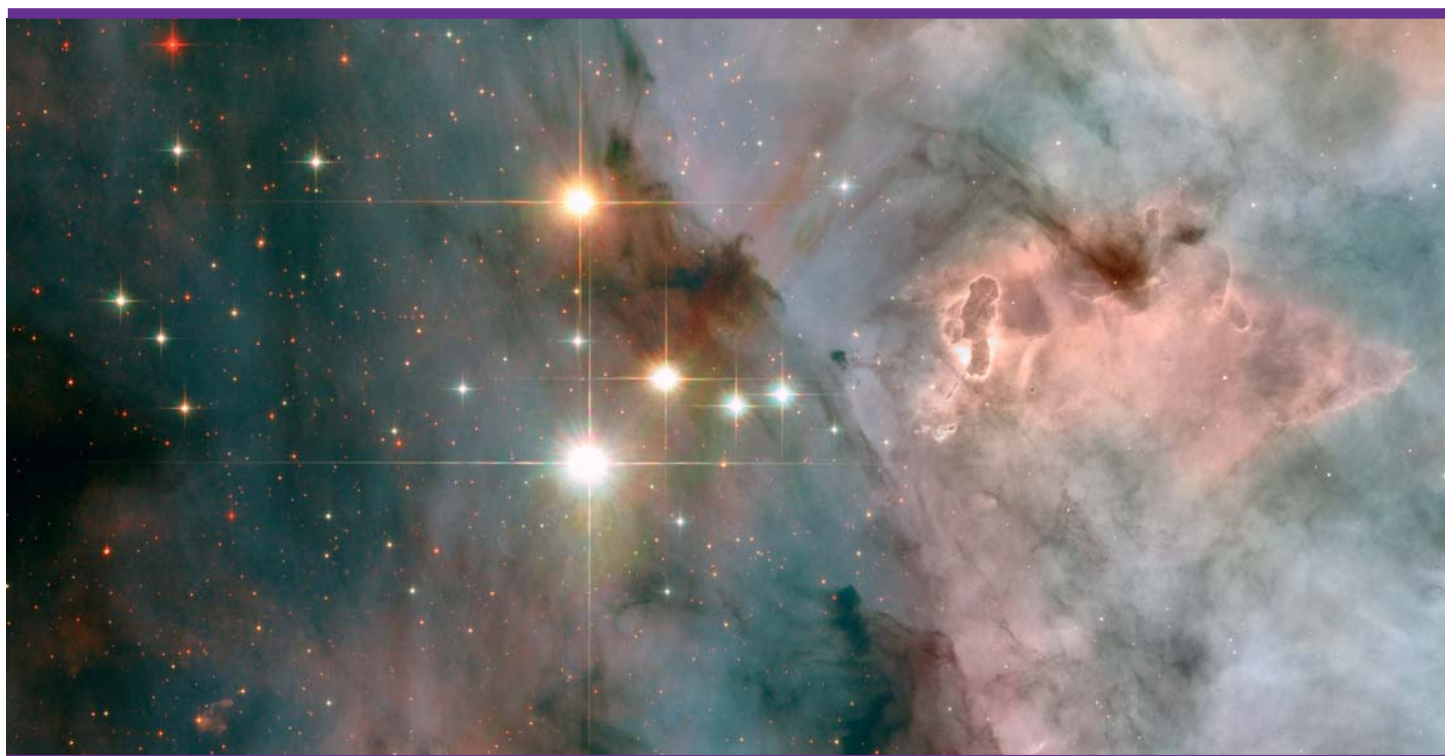


Composición de imágenes de ultravioleta y visible del Telescopio Espacial Hubble. NASA/ESA/J. Clarke Boston University.

hoy objeto de debate. Los últimos modelos predicen sólo débiles emisiones fuera del óvalo auroral principal. Sin embargo, recientes observaciones en el infrarrojo llevadas a cabo por la sonda *Cassini* vienen a poner en duda las teorías ampliamente aceptadas hasta la fecha.

La imagen de la región polar norte (página contigua) muestra tanto la

aurora (zona azul) como la atmósfera más profunda (zona roja) en dos longitudes de onda en el infrarrojo. La emisión auroral infrarroja se produce por la ionización del hidrógeno dando lugar al H_3^+ . Esta ionización del hidrógeno origina una serie de reacciones en cadena que darían lugar a largas cadenas de hidrocarburos. Esta es una de las primeras imágenes claras que se han obtenido de la región polar norte de Saturno. La razón para ello es que las observaciones desde Tierra están muy limitadas

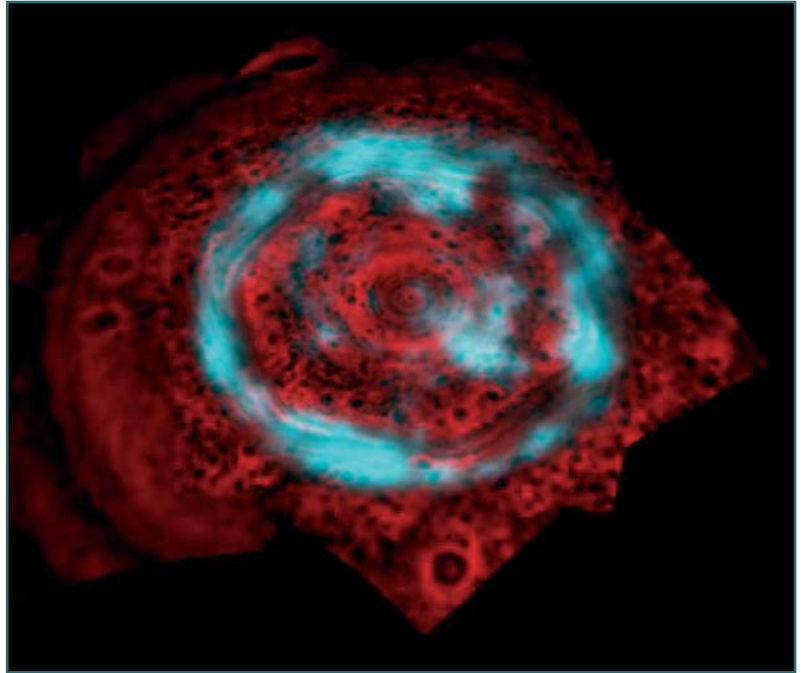


por la geometría de las observaciones. Hay que tener en cuenta que a Saturno le lleva la friolera de casi treinta años terrestres completar una órbita completa en torno al Sol. En los últimos quince años se encontraba en el solsticio de verano por lo que el polo Sur era el único visible desde Tierra. La sonda Cassini nos ha brindado así una ocasión única para observar la región polar norte. La imagen que tanto se había hecho esperar no nos ha defraudado. En ella no sólo se muestra lo que todos esperába-

mos, un anillo auroral, si no que además este anillo se extiende cubriendo una enorme área de la región polar. Este tipo de aurora parece ser única y no se puede explicar usando lo que hasta ahora creíamos que sabíamos sobre la magnetosfera de Saturno. La presencia de este tipo de auroras revela la existencia de una dinámica magnetosférica interna que conduce un sistema de corrientes no tenidas en cuenta hasta la fecha. El debate está abierto.

Olga Muñoz (IAA)

Región polar norte de Saturno, donde se observa tanto la aurora (región azul) como la atmósfera más profunda (región roja). NASA/JPL/Univ. Arizona.



A la caza de estrellas gigantes

WR 25 y Tr16-244, dos de las estrellas más masivas de la Vía Láctea, pierden su carácter misterioso al ser fotografiadas en gran detalle por el Telescopio Espacial Hubble

► El investigador Jesús Maíz del IAA dirige una campaña de observación que emplea el Telescopio Espacial Hubble y varios telescopios situados en España, Argentina y Chile para construir un catálogo de estrellas masivas de la Galaxia

(de más de treinta masas solares). Se trata de estrellas muy brillantes y más bien escasas que queman pronto su combustible y tienen vidas cortas, de cientos de millones de años, en comparación, por ejemplo, con estrellas de tipo solar

que viven miles de millones de años. Sin embargo, influyen en la estructura y evolución de las galaxias y su estudio permite profundizar en el conocimiento de las nebulosas de formación estelar. Unas de las últimas imágenes obtenida por el equipo de Maíz muestra un par de estrellas colosales, WR 25 y Tr16-244, situadas en el cúmulo Trumpler 16, que forma parte a su vez de una inmensa nube de gas y polvo situada a unos 7500 años luz de la Tierra conocida como la Nebulosa Carina.

WR 25 parece ser la más masiva e interesante de las dos estrellas observadas. Sólo hace dos años se descubrió que en realidad se trata de un sistema estelar compuesto, como mínimo, por dos estrellas, pero tan próximas que parecían un único objeto. La más masiva de las dos cuenta con una masa de unos cincuenta soles, y pierde materia a gran velocidad debido a su intenso viento estelar.

De hecho, parece que ya ha perdido sus capas de hidrógeno externas debido a ello. Se estima que su compañera tiene una masa de unos veinticinco soles y gira en torno a la primera una vez cada 208 años.

Por su parte, Tr16-244 se ha revelado como una estrella triple gracias a estas observaciones: dos de las tres estrellas se encuentran tan próximas que sólo la Cámara Avanzada del Hubble ha sido capaz de distinguirlas, y se estima que la tercera estrella del sistema tarda entre decenas y cientos de miles de años en girar en torno a las otras dos.

Los astrónomos creen que WR 25 y Tr16-244 son el origen de la radiación que provoca la lenta evaporación en el espacio de una inmensa nube de gas de la Nebulosa Carina, lo que posiblemente induce la formación de nuevas estrellas.

Silbia López de Lacalle (IAA)

WR 25 es la estrella más brillante situada en el centro de la imagen. Arriba a su izquierda se encuentra Tr16-244.

La estrella brillante amarilla cercana es una estrella de masa mucho menor pero bastante más cercana a la Tierra que la Nebulosa Carina. Fuente: NASA, ESA y Jesús Maíz Apellániz (IAA-CSIC).

Marte en 2008

Los posibles océanos primitivos del planeta rojo, cuya existencia ya se sugirió a finales de los 80, siguen siendo objeto de controversia

► Una de las noticias frescas de Marte con las que se cerró el 2008 fue el hallazgo de evidencias adicionales sobre la existencia de un antiguo gran océano de agua líquida, que habría cubierto gran parte del hemisferio norte de ese planeta. Las nuevas medidas provienen del Espectrómetro de Rayos Gamma (GRS) del *Mars Odyssey*, en órbita desde octubre del 2001, que permite sondear varias decenas de centímetros bajo la superficie.

No es una idea nueva, pues ya se venía debatiendo sobre la posibilidad de dichos océanos primitivos. Incluso a finales de los 80, mucho antes de las imágenes de alta resolución de misiones más recientes, T. Parker del JPL/Nasa advinó posibles líneas costeras en imágenes de los orbitales *Viking* (Parker y col., Icarus, 1989).

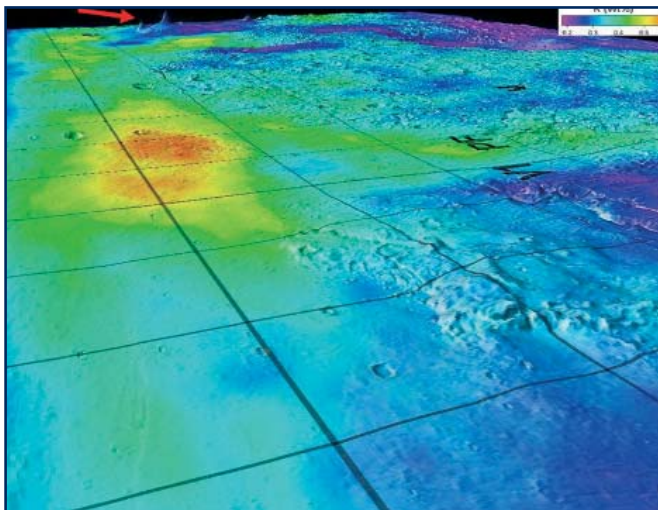
Posteriormente, y no sin controversia, se han propuesto esencialmente dos líneas de costa, una correspondiente a un área muy extensa, quizás de un océano muy antiguo de unas veinte veces el Mediterráneo terrestre, y otra más pequeña que quizás correspondería a un océano más joven, aún así primitivo, de un par de miles de millones de años de antigüedad (Fairén y col., *Nature*, 2004).

Exceso de potasio

Los nuevos resultados de *GRS/Mars Odyssey* son la observación de un enriquecimiento global de potasio, hierro y torio en el subsuelo de ese hemisferio, y han sido publicados por Dohm y colaboradores en *Planetary and Space Science*. La mayor abundancia de potasio ocurre, según los autores, justo en las regiones que albergaron ese anciano océano, bajo la hipotética línea de costa antes mencionada (en ambos supuestos océanos, el más joven y el más viejo). Y los autores mantienen que dicho enriquecimiento refleja unos sedimentos marinos enriquecidos en potasio

cuyo origen provendría de una serie de procesos típicos de un pasado mucho más húmedo en Marte, como son procesos de lixiviado o disolución de minerales junto con un transporte eficiente de esos minerales por agua líquida desde las tierras altas del hemisferio sur hacia el océano que ocuparía las tierras bajas del hemisferio norte.

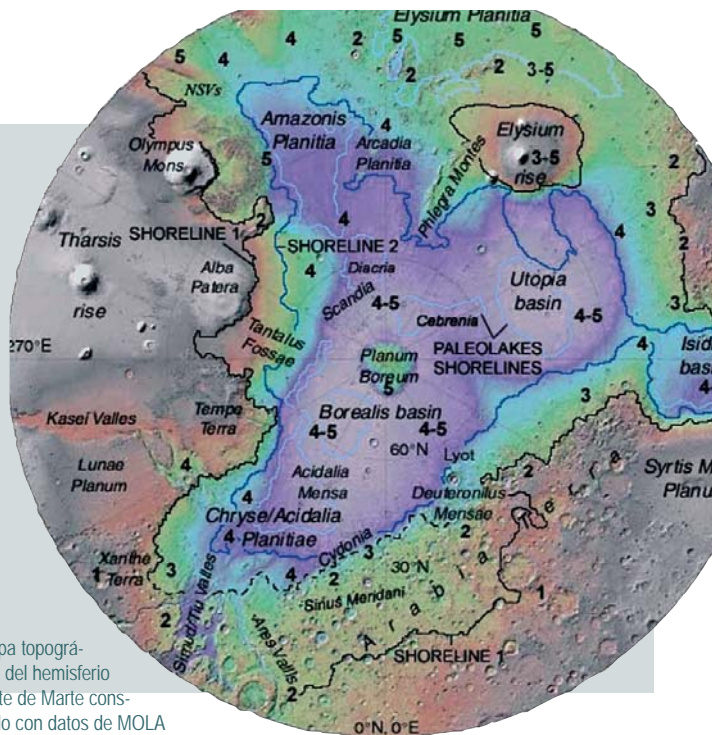
La propuesta es muy interesante, pues añade indicios en la dirección adecuada, junto a otros indicios como son la orientación "hacia el



Mapa que superpone a la topografía de Marte las abundancias de potasio, y en el que se marca el límite entre las tierras bajas del norte (izda) y las tierras altas (dcha). El exceso de potasio en las tierras bajas (0,5% o más) podría indicar la presencia de sedimentos marinos de un océano primitivo. NASA/JPL/Univ. Arizona.

norte" de numerosos canales, etc. Aún así, es una idea controvertida (los mismos autores del trabajo así lo aceptan), tanto por la naturaleza indirecta de las medidas como por las alternativas existentes, y ya han tenido algunas respuestas. Entre estas críticas, J. Brueckner del *Max-Planck Institute* en Mainz, Alemania, y otros colegas advierten para empezar que el enriquecimiento global encontrado por GRS es moderado, del orden de un factor dos. Ellos encuentran, además, que las medidas de los *Mars Exploration Rovers* (MER) y de *Pathfinder* ya habían revelado enriquecimientos

elevados, mucho más elevados, en rocas examinadas en los cráteres Gusev y en las llanuras Meridiani, mientras que el suelo no presentaba tal enriquecimiento. Otros autores afirman que muchas de esas rocas, como la tan de moda jarosita, muy enriquecida en potasio, podrían formarse en lugares ácidos/salinos pero muy confinados, sin necesidad de grandes extensiones acuosas, y un ejemplo muy análogo al caso marciano serían los antiguos lagos (secos hoy día) en la región de Olduvai, en Etiopía. Concluyen con dudas sobre el transporte acuoso de potasio entre ambos hemisferios



Mapa topográfico del hemisferio norte de Marte constituido con datos de MOLA que muestra las estructuras geográficas más importantes. También presenta las distintas líneas de costa propuestas (líneas negras y azul oscura).

y sugieren explorar otras alternativas.

En este contexto, es interesante preguntarse dónde están esos almacenes de agua, algunos de ellos no tan antiguos.

Hielo y glaciares

Y existen evidencias recientes de almacenes grandes de hielo en el subsuelo. En primer lugar, según unos resultados preliminares del último rover de NASA, el *Mars Phoenix*, cuya misión terminó a finales de octubre del pasado 2008, y cuya ubicación en las regiones cercanas al polo norte marciano era idónea para encontrar depósitos de hielo. Y, en segundo lugar, y esto ha sido más sorprendente, el descubrimiento de posibles "glaciares" en latitudes bajas del planeta usando SHARAD, un radar mucho más potente a bordo de la última misión marciana, el *Mars Reconnaissance Orbiter* (MRO), según un trabajo de J. W. Holt y colegas de la Universidad de Austin, Tejas, publicado en *Science* el pasado noviembre. Esos depósitos parecen estar bien escondidos bajo una espesa capa de rocalla y polvo en las laderas de montañas al este de la región Hellas, una gran depresión en el hemisferio sur marciano, a unos 40 grados de latitud. Las primeras estimaciones del volumen de hielo apuntan a un 1 % del hielo de las regiones polares, lo que es una cantidad apreciable. El origen de tales depósitos puede hallarse en posibles cambios orbitales de Marte en

el pasado, siguiendo cambios grandes y caóticos de su eje de rotación, bien simulados hoy día con modelos numéricos de interacción gravitatoria dentro del Sistema Solar (Laskar y col., Icarus, 2004). Más aún, simulaciones con modelos de circulación general incluyendo dichos efectos de inclinación de la órbita sugieren, de hecho, que podrían depositarse grandes cantidades de hielo en el flanco este de la región de Hellas, mediante proce-

esos de evaporación de una hipotética capa polar sur y transporte de vapor de agua por los vientos predominantes en dicha situación (Forget y col., Science, 2006). No sólo estas indicaciones con modelos teóricos apoyan este resultado, sino que han dirigido gran parte de las observaciones con SHARAD. Los autores del trabajo con GRS que comentamos esperan, en el futuro, medidas más concluyentes sobre la existencia de ese antiguo

océano, como podrían ser detecciones directas de depósitos de hielo con radares que sondearan a mayor profundidad, como SHARAD/MRO o MARSIS/Mars Express, junto con datos de la geomorfología de la zona con instrumentos de muy alta resolución espacial como HiRISE, a bordo del MRO. Así que seguiremos atentos a los resultados de estas misiones.

Miguel Ángel López Valverde (IAA)

El magnetismo de los meteoritos

Registros magnéticos en el interior de meteoritos antiguos ofrecen pistas sobre la formación de los planetas del Sistema Solar

► A finales de 2008, la revista *Science* publicó un artículo* sobre la medición de campos magnéticos residuales en meteoritos acondritos. ¿Qué nos indican estas mediciones sobre el origen de nuestro Sistema Solar?

En nuestro Sistema Solar, los minerales más antiguos que se conocen son las Inclusiones de Calcio y Aluminio (CAI en sus siglas inglesas), con una edad de $4567,2 \pm 0,6$ millones de años. Estos minerales son los primeros en condensarse a partir del material de la nebulosa solar. Es por esto que esta edad se considera la de nuestro Sistema Solar.

Por otro lado, las condritas son pequeños esferoides de algunos milímetros de diámetro que se encuentran en los meteoritos condritos ordinarios, los más comunes en nuestra colección de meteoritos. Las condritas serían las gotas de material fundido o parcialmente fundido que fue aglomerado para formar los ladrillos fundamentales de los cuerpos mayores como los asteroides y planetas.

Con respecto a la clasificación de los meteoritos, ya mencionamos la clase de los condritos ordinarios y ahora hay que mencionar la de los acondritos, que por su nombre son aquellos que no contienen condritas. Estos acondritos serían los fragmentos de los cuerpos que sufrie-

ron una alteración térmica más importante, entendiéndose, derretimiento parcial o total del cuerpo padre que lo llevaría a tener una estructura interna como la de la Tierra: núcleo, manto y corteza. Estos objetos llevan el nombre de diferenciados por esta estructura interna. Y es aquí donde comenzamos a detallar algo del título de este artículo que estamos comentando. Los meteoritos angrites (reciben su nombre del lugar donde se encontró el primer meteorito de su clase, Angra dos Reis en Brasil) son acondritos que tienen una edad de cristalización muy avanzada, en los primeros tres millones de años de nuestro Sistema Solar. Todavía no ha sido posible identificar ningún asteroide del que provienen estos meteoritos. Esto sólo se ha logrado en pocos casos, y uno de ellos es el caso de e

Vesta y los meteoritos Eucrites, Howardites y Diogenites (HEDs). Vesta es un asteroide grande de unos 400 km de diámetro que está diferenciado. A diferencia de este tipo de asteroides, la Tierra tiene un núcleo líquido que le permite tener un campo magnético. En el caso de la Tierra, el campo magnético es generado por el propio cuerpo, pero hay planetas como Marte, Mercurio, y probablemente Vesta, que tienen campos magnéticos residuales, o zonas muy limitadas que están aun magnetizadas por un campo externo en el pasado.

En el estudio del artículo que estamos comentando se realizaron mediciones de rastros de campos magnéticos en los meteoritos angrites. ¿Qué implicaría esto? Básicamente, que el cuerpo padre de los angrites, que ya sabemos fue diferenciado ya que los angrites son restos de material fundido, poseía un campo magnético. Ello implica que tenía un núcleo metálico líquido y una rotación importante. Claro, lo primero que hay que descartar es que ese campo magnético que estamos midiendo no haya sido producido por fuentes externas como el detector



EN BREVE



Centaurus A, al desnudo

► El *Atacama Pathfinder Experiment* ha aportado importante información sobre los chorros y lóbulos que emanan del agujero negro central de la galaxia activa Centaurus A.

A una distancia de 13 millones de años luz, Centaurus A es una de las galaxias gigantes más próximas a la Tierra. Alberga una región central muy luminosa, debida a la presencia de un agujero negro supermasivo que emite fuertemente en rayos X pero que por primera vez se ha observado en ondas submilimétricas.

Los nuevos datos se han combinado con los existentes en luz visible y rayos X y se ha obtenido una imagen muy detallada del anillo de polvo que rodea la galaxia y de los chorros que emanan de su centro. Fuente imagen: ESO/WFI (óptico); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (submilimétricas); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (rayos X).

FE DE ERRATAS

En la sección de Actualidad del número 26, página 15, no aparece el crédito correspondiente a las imágenes de Rosetta: ESA ©2008 MPS for OSIRIS Team, MPS/UPD/ LAM/ IAA/ RSSD/ INTA/ UPM/ DASP/ IDA.

de metales de la persona que encontró el meteorito, impactos de otros cuerpos en la superficie del cuerpo padre o el campo magnético de la protoestrella que luego fue el Sol. Estos paleocampos magnéticos son del orden de los 10 T y estuvieron presentes en el cuerpo padre de los angrites. Los tres meteoritos angrites estudiados tienen edades de entre 4.564,4 a 4.557,7 millones de años y, si suponemos que los tres provienen del mismo cuerpo, el campo magnético estuvo presente esos siete millones de años. La paleo-intensidad es del orden del 20% del campo terrestre actual y mucho mayor que el campo magnético galáctico, del viento solar, del

presente en la superficie de Mercurio y del esperado por una estrella tipo solar T-Tauri a distancias mayores que 0,2 UA. Todo esto indica que el campo fue intenso y estuvo presente por varios millones de años.

Origen del Sistema Solar

Todas estas evidencias demuestran que hubo cuerpos del tamaño de cientos de kilómetros de diámetro que tenían campos magnéticos propios. Hasta hace unos años atrás se creía que los planetas se formaron a partir de cuerpos menores homogéneos, sin mucha alteración térmica y sin estructura interna. Con los últimos avances, no sólo en el área de

los meteoritos sino también en el de la mineralogía de los asteroides como Vesta o en la de los discos de material alrededor de otras estrellas, este concepto está cambiando. Todos estos nuevos estudios están ayudando a entender los primeros millones de años de formación de nuestro Sistema Solar. Los cuerpos padres de estos meteoritos acondritos (angrines, HED, etc) se formaron muy rápido en los primeros 1,5 a dos millones de años, tenían campos magnéticos propios y acabaron formando los planetas terrestres también diferenciados.

La edad actual de nuestro sistema solar es de 4500 millones de años y, según los modelos estelares,

sería la mitad de la vida de nuestro Sol. Si comparamos esta edad de nuestro Sistema Solar con la de una persona que tenga cuarenta y cinco años (para hacer las cuentas fáciles) y que tenga una expectativa de vida de noventa años, la formación de la Tierra fue a los cien días (treinta millones de años) después de nacer. El cuerpo padre de los meteoritos angrites se formó en los primeros 3-6 días (1-2 millones de años) de existencia. La infancia de nuestro Sistema Solar todavía tiene mucho para decirnos sobre la personalidad de este sistema de planetas que vemos en la actualidad.

René Duffard (IAA)

ENTRE BASTIDORES

EN ÉPOCA DE CRISIS... ¿PARA QUÉ DIVULGAR CIENCIA?

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ GUERRERO

Estemos o no en recesión, en crecimiento cero o en reajustes macroeconómicos (yo de euros sigo entendiendo poco), de lo que no cabe duda es que nos hallamos inmersos en una crisis económica mundial de antología. Claro está, cada país, cada gobierno tiene que echar números y separar gastos paja de gastos importantes. Ahora bien, ¿Qué se entiende por gastos prescindibles?

A esta pregunta tampoco tengo respuesta, pero sí indicación clara de lo que NO es un gasto a suprimir: la investigación y su difusión. Sin embargo, muy al contrario de lo que la lógica dicta, una de las primeras víctimas presupuestarias de la actual crisis económica ha sido la Cultura Científica: al parecer, la edición 2009 de la famosa Feria de la Ciencia de Madrid, feria con participación de diferentes comunidades y países, ha sido suprimida -y eso que, como se ve en <http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/feria/>, por lo menos en el momento de escribir estas líneas, todavía aparece publicada la convocatoria ordinaria para pedir ayudas para presentar proyectos a la ya cancelada X Feria Madrid es Ciencia. Eso sí, desde la Comunidad de Madrid se propone una alternativa... "virtual" de dicho "magnífico, necesario e internacional evento".

Más de 100 instituciones, entre centros de investigación, universidades, centros de educación, organismos públicos, y alguno que otro privado, nos dábamos la mano en un espacio físico y emocional que crecía con cada edición, y al que acudían más de 150.000 personas ávidas de respuestas a una simple pregunta: ¿por qué? "Madrid es Ciencia", como el *show* ¡debe continuar! y entre todas las instituciones participantes debemos encontrar la vía. Se engaña profundamente quien considere que en época de crisis, una Feria como la de Cultura Científica es un mal mensaje de austeridad presupuestaria...

Pero desgracias en divulgación científica vienen a pares. Otro frente de discordia científico-cultural lo constituye la cancelación -aunque se le quiera dar rodeos eufemísticos- de la actual Red de Unidades de Cultura Científica (UCC) que, con motivo del año de la Ciencia 2007, la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) había constituido con la inversión de varios millones de euros. Hace un año, y con motivo de lo que iba a ser el comienzo de una nueva Era (con una "glaciación" temprana por lo que se ve...) en investigación y difusión, se planteó la constitución de 53 UCCs en todo el territorio nacio-

nal como una Red estable -así se nos informó, al menos, en la reunión constituyente que tuvo lugar en el Ministerio de Educación y Ciencia (como se llamaba todavía en 2007). La idea era, según Eulalia Pérez, exdirectora de FECYT, crear el motor de difusión de noticias científicas, de organización de eventos, talleres, seminarios, para acercar a todos los rincones de España. Más de 50 UCCs -con nuevas incorporaciones en 2008- que se tradujeron en otras tantas personas contratadas para dicho fin. Sin embargo, todas las UCCs recibieron (por lo menos que me conste) un escueto e-mail -que no reproduzco aquí por puro pudor- donde, apenas un par de días antes de terminarse oficialmente el programa, se nos informaba de que, en primer lugar, nuestra labor no había podido ser más brillante, productiva y socialmente eficiente pero, segundo, que por deficiencias presupuestarias se cancelaba la continuidad. Punto y final. Ah, eso sí, que futuras convocatorias abundarán en dicha línea de proyectos. Mientras tanto, tuvimos que decir, digo yo, a esas 53 personas -muchas de las cuales tomaron, ante la promesa de una cierta estabilidad, decisiones laborales drásticas- que esperaran pacientemente en casa a la próxima convocatoria, a ver si resultaban agraciadas con otro inseguro proyecto... hasta nueva orden. Eso sí, les transmitimos, asimismo, el mensaje que, desde la dirección de FECYT, les informaban de que su trabajo a lo largo del pasado año había sido inmejorable, brillante, significativamente había aumentado la visibilidad de la ciencia en la sociedad. Al parecer, en época de crisis, es lo que toca...

Según parece, y por triste que parezca, la ironía de Unamuno cuando dijo aquello de "que inventen ellos" sigue sin ser bien entendida por nuestros Gestores... En fin, como decía mi vecino del 5º... "dinero no habrá, pero para tontás"...

Por supuesto, el contenido de esta columna es estrictamente personal. No pretende ser una crítica, sino un ruego; una súplica para la vuelta al sentido común de nuestros Gestores, y no dejar descarrilar una locomotora que estaba situando a nuestro país en la correcta dirección del progreso científico y su comunicación social.

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ GUERRERO ES PROFESOR TITULAR DE MICROBIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID (UAM), INVESTIGADOR DEL CENTRO DE BIOLOGÍA MOLECULAR (CBM) Y PRESIDENTE DE SU COMISIÓN DE CULTURA CIENTÍFICA. TAMBIÉN DIRIGE LOS PROGRAMAS DE CULTURA CIENTÍFICA DE LA UAM.

Pilares científicos

HACIA UNA DEFINICIÓN CIENTÍFICA DEL TIEMPO

LA HUMANIDAD HA REFLEXIONADO SOBRE LA NATURALEZA DEL TIEMPO DESDE... QUIZÁ DESDE SIEMPRE.

Por lo que sabemos de las pocas sociedades primitivas, a ojos occidentales, que han sobrevivido hasta nuestros días, parece que conceptos como el de un tiempo mítico remoto diferente al de la experiencia cotidiana son viejos compañeros de viaje. Sólo en una época reciente, con la civilización griega, se comenzó a ver el mundo como un ente racional y por tanto racionalmente inteligible; así, con Aristóteles apareció un concepto racional de tiempo como medida del cambio. Por su parte, el Judaísmo nos inculcó un desarrollo lineal, con un comienzo y un final, de la historia universal, probablemente como respuesta a una de nuestras más intensas experiencias, la consciencia de la muerte. El tiempo no sólo evoca cambio, sino corrupción e inexorabilidad. Con todo, hasta el Renacimiento la cultura occidental seguía poseyendo un concepto de

tiempo de cualidades complejas y difícil racionalización (puede decirse que en Oriente esto se ha mantenido hasta nuestros días).

Sin embargo, con el nacimiento de la ciencia moderna apareció un concepto de tiempo de suprema sencillez y perfección. El tiempo universal de Newton era un tiempo Platónico, matemático, ajeno a nuestro mundo, que regía el ritmo de todas las cosas y en todos los sitios a la vez sin verse afectado por nada. La capacidad de control y entendimiento de la naturaleza que este tiempo aportó, y sigue aportando en nuestro quehacer diario, fue enorme pero su simplicidad terminó por ser excesiva. La revolución relativista de inicios del siglo XX devolvió al tiempo un carácter más mundano y subjetivo. Ahora sabemos que no existe un solo tiempo, cada observador tiene su propio tiempo, dependiente de forma precisa, eso sí, de su estado de movimiento en relación a su entorno (nos referimos aquí a las diferentes aglomeraciones de materia a su alrededor) y

del entorno mismo, el cual afecta a su marcha. Todos los procesos, físicos, químicos, biológicos, transcurren con menor cadencia en una nave espacial que se traslada a gran velocidad que en reposo en la Tierra. Así, dos gemelos cuyas vidas difirieran en sus horas de uso de medios de transporte de alta velocidad verían cómo el gemelo sedentario cumplía años con más rapidez que su viajero hermano (con alta velocidad nos referimos a velocidades cercanas a la de la luz: si el gemelo viajero hubiera pasado su vida yendo en trenes, al llegar a la vejez solamente sería alrededor de un minuto más joven que su hermano, algo inapreciable a simple vista). Los experimentos también confirman que la presencia de grandes aglomeraciones de materia, como el Sol o los planetas, ralentiza el transcurrir del tiempo en sus cercanías. Así dos relojes idénticos colocados respectivamente en el primer y último piso de un edificio desincronizan su marcha yendo más lento el más cercano a la superficie terrestre.

Incertidumbres

¿CUÁNDO Y HACIA DÓNDE?

LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD HA HECHO QUE PODAMOS PLANTEARNOS PREGUNTAS PRECISAS SOBRE LA NATURALEZA DEL TIEMPO, MUCHAS DE ELLOS SIN RESPUESTA SATISFACTORIA

¿Tuvo el tiempo un comienzo? Hemos dicho que el tiempo no es una sola línea inerte sino una multitud de líneas que van generándose según se va haciendo camino. ¿Podemos extender hacia el pasado estas líneas todo lo que queramos o acaban cruzándose en un único origen? El Universo a gran escala es muy homogéneo y se está expandiendo en la actualidad en todas las direcciones. Esto sugiere que en un pasado remoto todo el universo estaría concentrado en una región arbitrariamente pequeña, casi un punto, desde donde emanarían todas estas líneas de tiempo. Sin embargo, todo nuestro entendimiento del tiempo relativista descansa en la

existencia de procesos regulares que nos sirvan de reloj y la existencia de estos relojes en las condiciones de ese pasado remoto son más que dudosas. La teoría del Big Bang mantiene que el propio concepto de tiempo nació en la deflagración original del diminuto universo primigenio; en ese huevo inicial el tiempo simplemente no existía. ¿Pero qué es lo que existía? No deja de llamar la atención el parecido entre la descripción del origen del Universo que proporciona la física moderna y la conceptualización mítica y religiosa de un tiempo remoto fundacional o de una eternidad fuera del tiempo.

¿Tiene el tiempo una dirección? Nuestra intuición del tiempo sí que la tiene, el pasado tiene connotaciones bien distintas que el futuro. Por ejemplo, en el mundo occidental el paso del tiempo se asocia al envejecimiento, al agotamiento de un ciclo. Sin embargo la relatividad

por si sola, la teoría del tiempo por excelencia, no incorpora ninguna flecha del tiempo. Una trayectoria construida a partir de otra por inversión del tiempo (o de la velocidad en un momento dado) es tan posible como su precursora. Solamente en la cosmología parece haber una flecha del tiempo por encontrarnos de facto en expansión global y no en contracción. Sin embargo, parece más razonable buscar el origen de la flecha del tiempo en la dinámica caótica que se produce a nivel microscópico. Los sistemas aislados tienden al equilibrio termodinámico, el cual coincide con la configuración más "desordenada", o de más difícil especificación. Estos sistemas caóticos, sin ciclos regulares, quizá nos lleven a una nueva conceptualización del tiempo, basada en el desarrollo de procesos internos al sistema (el concepto de "reloj o tiempo interno" fue propuesto ya por Ilya Prigogine), con una flecha incorporada y una mayor contingencia. Estos relojes internos y el tiempo que especifican quizá nos acerquen aún más al tiempo de nuestros antepasados.

tiempo

noches de ciencia 2

El 2007, en la primera edición de Noches de Ciencia, disfrutamos compartiendo inquietudes sobre la ciencia. En 2008 nos centramos en un concepto que nos trae de cabeza, y que también permite un enfoque multidisciplinar: el tiempo. ¿Quién no ha querido ir hacia atrás en el tiempo? ¿o que el tiempo corra más lento (o más rápido)?

La simple pregunta "qué es el tiempo" genera problemas, ya que hay que distinguir entre el tiempo físico y nuestra percepción de él. Medir el tiempo o sus efectos en los organismos vivos tampoco resulta nada fácil, y hasta una cuestión tan cotidiana como el hecho de que el tiempo no corra hacia atrás plantea problemas.



noche 1: cronobiología y cronomedicina

Junto a Juan Antonio Madrid, Catedrático de Fisiología y Director del Laboratorio de Cronobiología de la Universidad de Murcia, analizamos las bases y el comportamiento de los muchos relojes que controlan nuestra vida, y la del resto de los seres vivos.



noche 2: tiempo físico y tiempo psicológico

Para esta noche de ciencia, física, neurología y psicología se dieron la mano en un dueto de excepción. Y todo para intentar responder una pregunta: ¿por qué el tiempo que concibe nuestro cerebro es tan diferente del que percibe? Contamos con la presencia de Antonio Fernández Rañada (U. Complutense) y de Agnès Gruart (U. Pablo Olavide).



noche 3: medición y viajes en el tiempo

La medida del tiempo se ha convertido en una necesidad que exige extrema precisión. Por ejemplo, si no se corrigieran los aparentemente minúsculos efectos relativistas en la medición temporal los GPS que empleamos acarrearían kilómetros de error en sus medidas. Pero esta necesidad por medir del tiempo nos acompaña desde los albores de la civilización. Quizá esta obsesión por la medida refleja un intento por dominar una dimensión que no podemos controlar. De aquí surge el sueño de tantas obras de ciencia ficción: romper la barrera de nuestra naturaleza y viajar en el tiempo.

Nos acompañaron Fernando Belizón (Real Observatorio de la Armada) y Mario Toboso (Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC).

noche 4: la flecha del tiempo y el envejecimiento

Cerramos estas Noches de Ciencia analizando uno de los conceptos más fascinantes de la Ciencia, la flecha del tiempo, y cómo este concepto entronca con algo tan cotidiano e irreversible como el envejecimiento. Nos acompañaron Jesús Tresguerres (U. Complutense) y Miguel Ángel Sabadell.



Utilización del Interferómetro VLT

La entrada de España en ESO en 2007 facilitó el acceso de la comunidad astrofísica española al VLTI (*Very Large Telescope Interferometer*). Esta reunión, celebrada en el IAA el pasado noviembre, estaba dirigida fundamentalmente a los potenciales usuarios de VLTI dentro de la comunidad astrofísica española, con el objetivo de ayudarles a diseñar proyectos adecuados para VLTI, de manera que puedan obtener tiempo de observación.

El programa se centró en proporcionar respuestas a las cuestiones como: ¿Cuáles son las capacidades actuales y las limitaciones de VLTI? ¿Qué ciencia se ha realizado hasta el momento con VLTI? ¿Qué proyectos científicos están actualmente en realización con VLTI? ¿Qué objetos astrofísicos están contemplados en los programas de tiempo garantizado? ¿Qué objetos pueden ser observados, bajo qué configuración y con qué condiciones? ¿Cómo se puede contribuir, a través de ESO, al desarrollo de VLTI? ¿Cuáles son los problemas técnicos más urgentes? ¿Cuál es el programa de trabajo para el desarrollo futuro de VLTI?, entre muchas otras.

TODAS LAS PRESENTACIONES DE LA REUNIÓN ESTÁN DISPONIBLES EN LA WEB <http://www.iaa.es/congresos/VLTI/program/>
Contacto: Antxon Alberdi y Rainer Schödel, IAA.



CARTAS AL DIRECTOR

El progreso del programa RyC en el IAA

Jesús Maíz Apellániz (IAA) y Rainer Schödel (IAA)

Ya han pasado ocho años desde que el programa Ramón y Cajal (RyC) de incorporación de investigadores al sistema español de ciencia fuera puesto en marcha por el entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología. Por ello los abajo firmantes hemos creído conveniente hacer un estudio de su progreso utilizando la significativa muestra que proporciona el IAA. El estudio se ha hecho mediante el análisis del índice h de los investigadores que han accedido a dicho programa en el IAA en sus siete primeras convocatorias (2001 a 2007). Los datos básicos han sido recogidos de las páginas web del IAA y del Ministerio de Ciencia e Innovación y, en aquellos casos en los que existían dudas, mediante consulta personal a los interesados. Los índices h han sido calculados utilizando el ADS.

Un total de 20 investigadores RyC de las primeras siete convocatorias han pasado por el IAA. De ellos, 4 fueron admitidos en un centro distinto y se incorporaron al IAA más tarde. Uno de los 20 inició su contrato RyC en el IAA pero lo continuó en otro centro. Dieciséis de los 20 investigadores han aprobado ya una oposición de acceso a la plantilla del CSIC. Solamente uno de esos 16 lo ha hecho fuera del IAA.

El índice h [1,2] es un indicador de la producción

Categoría de investigadores	Número	Época de la medición	Índice h total	Índice h_1
Postdoctorales no-RyC	21	Noviembre 2008	$5,43 \pm 3,25$	$2,29 \pm 1,45$
RyC	20	Acceso al programa RyC	$9,10 \pm 3,45$	$5,20 \pm 1,94$
RyC	16	Acceso a plantilla del CSIC	$13,63 \pm 5,68$	$6,94 \pm 2,49$
Plantilla del CSIC	46	Plantilla del CSIC	$18,04 \pm 8,37$	$8,04 \pm 4,59$

científica propuesto inicialmente por Jorge E. Hirsch que ha ganado rápidamente aceptación [3]. Un científico tiene un índice h dado si h de sus artículos tiene como mínimo h citas y el resto de sus artículos tiene h o menos citas. El índice h se calcula normalmente usando todos los artículos, pero en un campo como la astronomía en el que el primer autor suele ser el que ha realizado la mayor proporción del trabajo puede utilizarse también el índice h_1 , en el que se tienen en cuenta únicamente los artículos como primer autor. En este trabajo utilizamos ambos.

Hemos calculado los valores medios y las desviaciones estándar de h y h_1 para los investigadores RyC del IAA en dos puntos de sus carreras científicas: cuando accedieron al programa RyC y cuando consiguieron una plaza (si ya lo han hecho) en la plantilla del CSIC (Tabla). El tiempo transcurrido entre esos dos puntos temporales es de $3,06 \pm 1,53$ años. Como muestras de comparación hemos elegido los investigadores postdoctorales del IAA que no pertenecen al programa Ramón y Cajal y los investigadores de plantilla del IAA. Los datos de las muestras de comparación fueron obtenidos en noviembre de 2008. La conclusión principal de la tabla es que existe una progresión clara entre las cuatro muestras, las cuales están espaciadas aproxima-

madamente equiespaciadas por 4 y 2 unidades para h y h_1 , respectivamente. Por lo tanto, en término medio y tomando el IAA como ejemplo, el programa RyC elige los mejores investigadores postdoctorales, los candidatos elegidos son fructíferos durante su pertenencia al programa y al terminar acceden a una plantilla de calidad media superior.

También analizamos los valores de h y h_1 para varias submuestras de los investigadores RyC en función de [a] si han realizado todos o parte de sus estudios de licenciatura y doctorado o no y de [b] su acceso al programa RyC en distintas convocatorias (las tres primeras o las cuatro últimas). En todos los casos encontramos que las diferencias para los valores de h y h_1 entre submuestras son muy pequeñas (significativamente inferiores a las desviaciones estándar). Por lo tanto, en término medio no existen diferencias de calidad significativas entre los investigadores RyC del IAA en función de si han estudiado en España o en el extranjero o de si accedieron al programa en sus primeros tres o en sus últimos cuatro años.

[1] Hirsch, J. E. 2005, *PNAS* 102 n. 46 16569-16572

[2] <http://en.wikipedia.org/wiki/H-index>

[3] Ball, P. 2005, *Nature* 436, 900

AGENDA

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA

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

26 febrero	Enrico Celeghini (Univ. Florencia)	El gran colisionador de Ginebra, ¿el final de un paradigma?
26 marzo	Agustín Sánchez Lavega (U. País Vasco)	
30 abril	Rainer Schödel (IAA-CSIC)	La estructura de la Vía Láctea, su núcleo y su corazón oscuro
28 mayo	Juan Vicente Pérez	La luz del Sol
25 junio	Miguel Ángel López Valverde (IAA-CSIC)	Venus

REUNIONES Y CONGRESOS

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

IMPACT OF ALMA ON THE SPANISH EXTRAGALACTIC ASTRONOMY. INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA, 11-13 FEBRERO 2009.



RECOMENDADOS

WEB ESPAÑOLA DEL AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA www.astronomia2009.es

The screenshot shows the homepage of the website. At the top, there are three main sections: 'Tema del mes' (Febrero 2009: EL SOL), 'Imagen del día' (La Estación...), and 'Agenda de actividades' (Encuentra tu actividad). Below these is a search bar and a navigation menu. The main content area features a video player for an interview with Emilio J. García, titled 'ENTREVISTA'. Below the video are sections for 'REPORTAJE' and 'ARTÍCULOS'. The sidebar on the left contains a list of navigation links and a 'Novedades' section with the headline 'La medida del Radio de la Tierra'.

En enero de 2009 se puso en funcionamiento la nueva web española del Año Internacional de la Astronomía (AIA) que, además de información y noticias sobre el AIA y sus actividades, cuenta con una completa agenda para que ningún aficionado se pierda nada. La web incluye, además, noticias astronómicas, artículos de divulgación y blogs sobre astronomía. También alberga la sección *El tema del mes*, que incluye artículos, reportajes y una entrevista audiovisual a un experto sobre el tema del mes, que en enero protagonizó la arqueoastronomía y en febrero el Sol.

La web presenta un enlace al proyecto del Instituto de Astrofísica de Canarias "Astroparatodos", que permite a los usuarios personalizar su móvil u ordenador con imágenes astronómicas de forma totalmente gratuita (<http://www.astroparatodos.es/astro1/>). La web está coordinada por Emilio J. García, del Instituto de Astrofísica de Andalucía.

CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

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