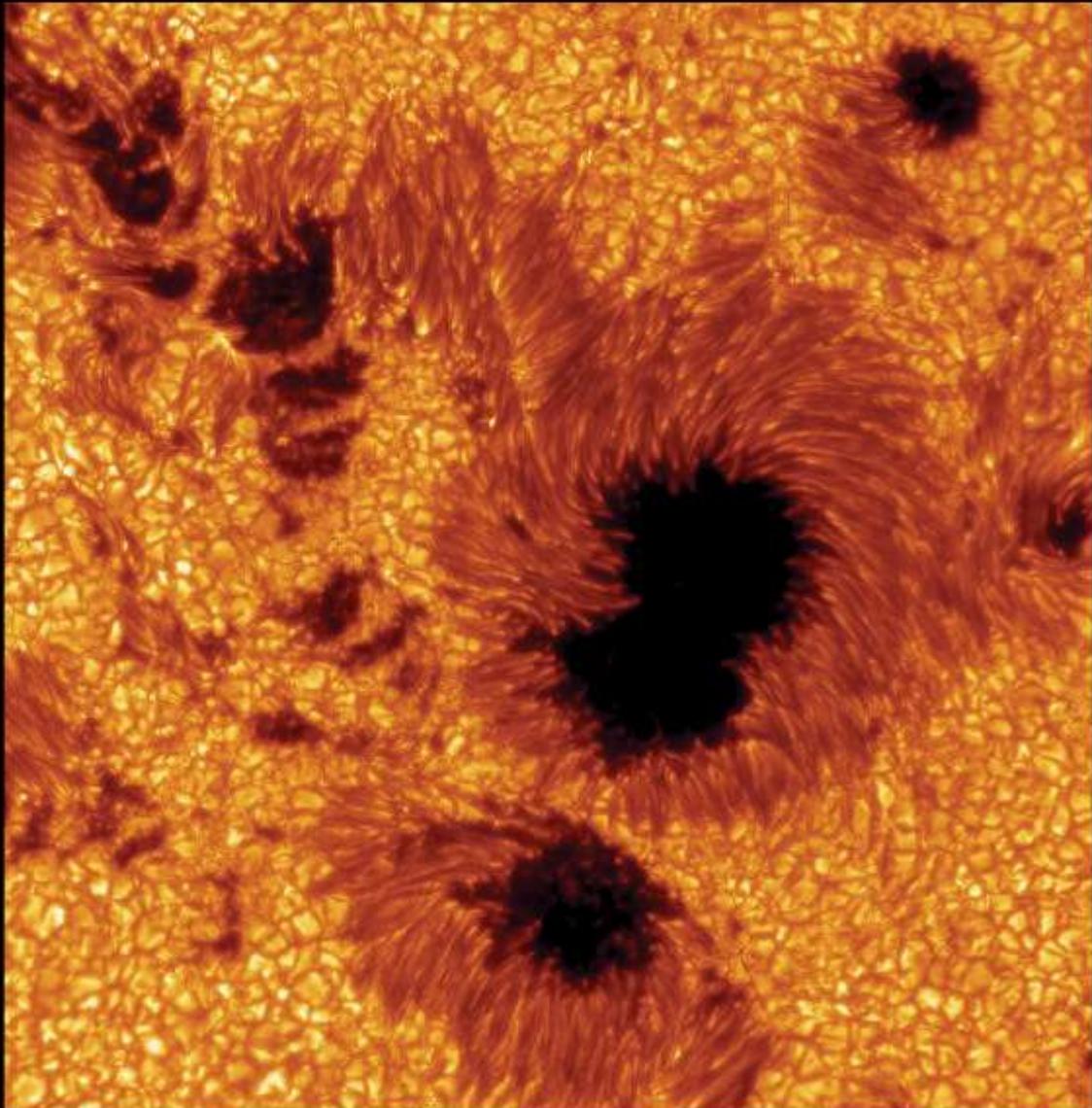




IAC NOTICIAS

Revista del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) N. 2-2002



Imágenes del Sol

Última hora

COMIENZA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL «GTC»



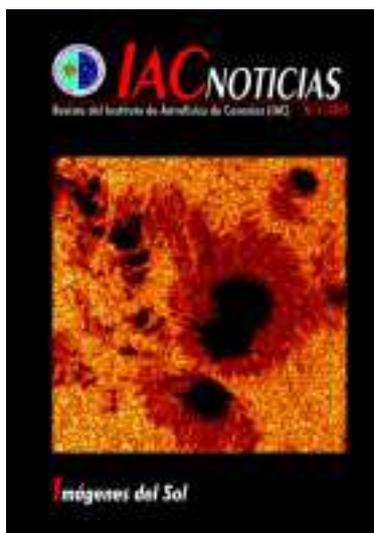
Las piezas que forman el telescopio van llegando, procedentes de Tarragona, al Observatorio del Roque de los Muchachos

Tras la construcción del edificio del Gran Telescopio CANARIAS (GTC), el siguiente paso es instalar en su interior la estructura del telescopio. Construida en acero al carbono, con una altura aproximada de 27 m y una anchura de 28,8 m, esta estructura mecánica se está trasladando al Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma.

La estructura, con un peso de 300 toneladas de masa móvil, deberá soportar los espejos del telescopio, además de otros integrantes e instrumentos. Tiene que ser lo suficientemente rígida para mantenerla dentro de las especificaciones y poder realizar los movimientos correctores de la rotación terrestre con extrema suavidad y precisión, requisitos que la hacen tecnológicamente compleja.

La estructura del GTC se divide en tres grandes bloques: el tubo, la montura y el anillo de acimut, que sirve de pista de rodadura al movimiento de acimut (movimiento horizontal) y de elemento de unión entre la montura y el pilar. Está formado por una viga anular de acero de unos 16 m de diámetro dividida en cuatro piezas. Sobre el anillo se deposita todo el peso del telescopio a través de los cojinetes hidrostáticos de acimut que suavizarán el movimiento y evitarán los rozamientos.

Actualmente se ha iniciado el montaje del anillo de azimut y ya están en el Observatorio los sistemas de aceite de los cojinetes hidrostáticos.



Director del IAC: *Francisco Sánchez*
Jefe del Gabinete de Dirección: *Luis A. Martínez Sáez*
Jefa de Ediciones: *Carmen del Puerto*
Redacción y confección: *Carmen del Puerto y Bibiana Bonmatí*
Colaboraciones: *Annia Domènech, Natalia R. Zelman y Sara Gil*
Asesoramiento científico: *Luis Cuesta*
Asesoramiento técnico: *Carlos Martínez Roger*
Directorio y distribución: *Ana M. Quevedo*
Diseño original: *Gotzon Cañada y Carmen del Puerto*
Edición digital: *M.C. Anguita*
Dirección web: <http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>
Fotografías: *Servicio Multimedia del IAC (SMM), Gabinete de Dirección y otros*
Tratamiento digital de imágenes: *Gotzon Cañada y SMM del IAC*
Edita: *Gabinete de Dirección del IAC*
Preimpresión e Impresión: *Producciones Gráficas*
Depósito Legal: TF-335/87 ISSN: 0213/893X. Núm. 51.

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en esta revista, citando como fuente al autor y al Instituto de Astrofísica de Canarias.

FOTO DE PORTADA: Imagen de la superficie del Sol obtenida con el nuevo Telescopio Solar Sueco, del Observatorio del Roque de los Muchachos.

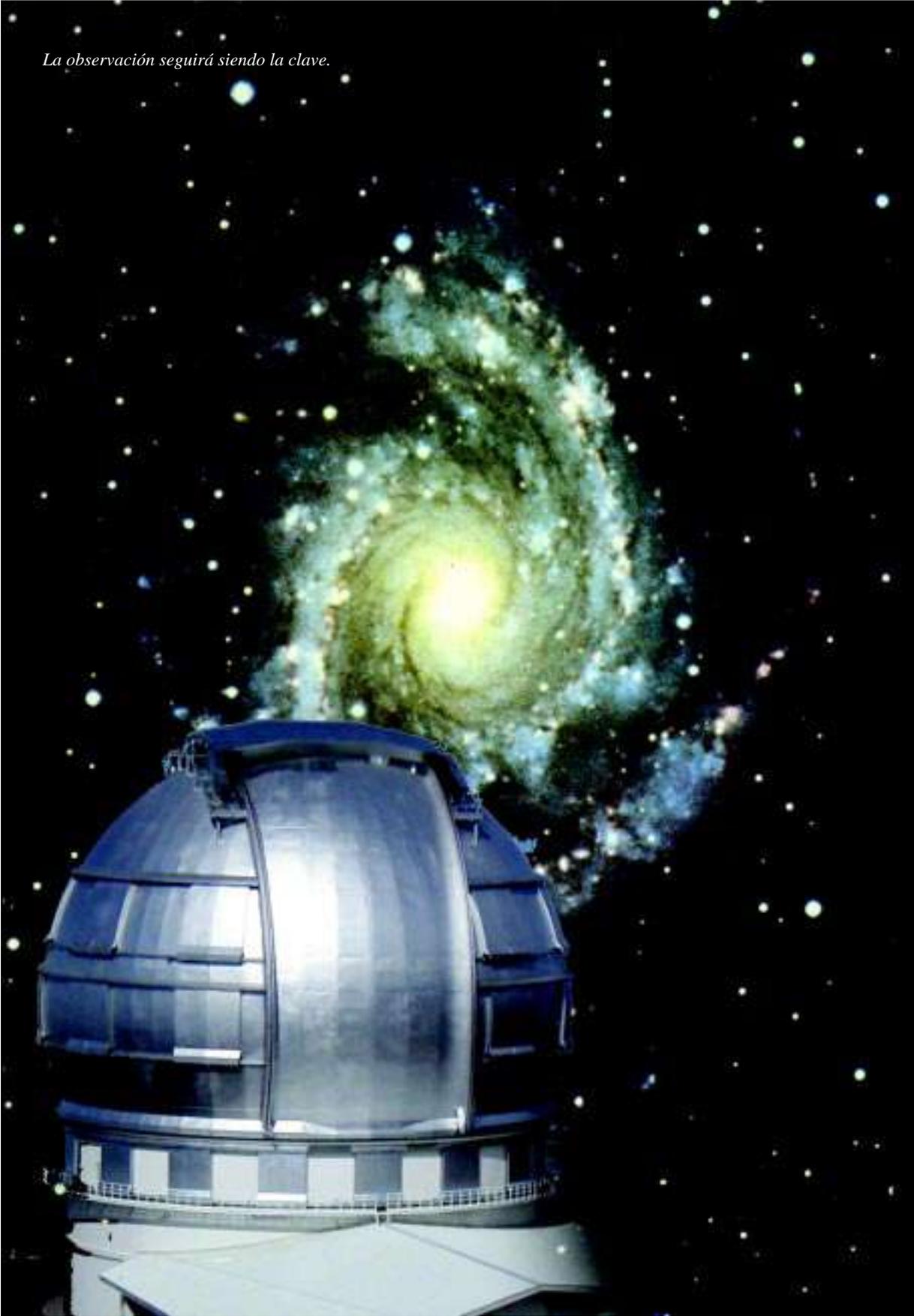
La Astronomía que viene

Los cambios de siglo, y no digamos de milenio, son momentos especiales, tradicionalmente elegidos para las predicciones. Son muchos los que esperan en estas ocasiones que los «augures» adivinen el porvenir, a ser posible con pronósticos espectaculares. Este artículo no tiene tales pretensiones. Contiene, sólomente, una agrupación esquemática de reflexiones para uso de la comunidad astronómica española. Hay que reconocer que aunque no sean posibles las adivinaciones, ni podamos saber de antemano cómo será la Astronomía del siglo XXI, ni qué cosas descubrirá, los astrónomos somos un colectivo con gran propensión a hacer prospectivas y, en ellas, señalar los puntos más prometedores o más determinantes para avanzar en el conocimiento del Universo. Sirva de ejemplo el estudio hecho por la comunidad científica norteamericana titulado: «Astronomy and Astrophysics in the New Millennium». En él han participado más de doscientos investigadores que han invertido más de un año en realizarlo. Ciertamente, las expectativas y retos de la Astronomía en este siglo son impresionantes. Y la comunidad astrofísica española está en condiciones de participar en esta magna aventura dentro del grupo de cabeza. Y es evidente que a quienes sean capaces de acercarse con activos y flexibilidad al futuro, más fácil les resultará instalarse en él.



Francisco Sánchez
(Director del IAC)





Voy a exponer, de forma concreta y resumida, por dónde creo que avanzará la Astronomía y qué es lo que deberíamos hacer en España para participar de manera destacada en tan emocionante aventura. Este texto refleja lo que dije en la pasada reunión de la Sociedad Española de Astronomía, celebrada en Toledo.

El saber astronómico, como bien sabemos, ha experimentado un avance espectacular en el siglo XX y, como este progreso resulta exponencial, cabe esperar que en este nuevo siglo profundicemos en el conocimiento del Universo de manera aún más significativa.

También la investigación astronómica en España ha sufrido en el último cuarto de siglo un salto impresionante, avanzando en tiempo récord desde casi cero al grupo de países que encabezan esta rama de la ciencia. Contribuimos con un 5,51% a la producción mundial en Astronomía (siendo la contribución media de la ciencia española del 2,86%), mientras que en 1988 era tan sólo del 0,84%. Nos hemos colocado en el séptimo país productor de resultados astronómicos. Realidad impensable sin la riqueza de instrumentación astronómica avanzada instalada por otros en nuestro territorio en los últimos treinta años, junto con el esfuerzo y buen hacer de los astrofísicos de nuestro país.

Éste parece que será el «Siglo del Conocimiento», dado que «el factor de producción absolutamente decisivo ha dejado de ser el capital, o el terreno o la mano de obra: ahora es el saber» (P.F. Drucker: «La sociedad poscapitalista»). Y puesto que el hombre de este nuevo siglo sigue necesitando una «cosmovisión» para vivir, los astrónomos seguiremos escudriñando y preguntando al cielo con instrumentos cada vez más potentes en la búsqueda racional de las pequeñas y las grandes preguntas.

La intencionalidad que subyace en la investigación astronómica ha ido variando a lo largo de la historia de la humanidad. Primero fue práctica (supervivencia, agricultura, navegación, etc.), agorera (astrología), mítica y ritual. Después fue científica (mecánica celeste, astrofísica). En estos momentos es, además, evolutiva. Comprender la evolución del Universo en su conjunto y en detalle, incluida «la vida», es el objetivo que la impregna. Lo cual tendrá consecuencias múltiples, como el desarrollo de la astrobiología, la «meteorología solar» y el estu-

dio de los asteroides peligrosos, por señalar algún ejemplo.

Las metas concretas a lograr en este comienzo de siglo están listadas y justificadas en los diferentes estudios prospectivos realizados por diversas comunidades astronómicas, disponibles en la web.

La observación es la «piedra de toque» de todas las teorías y modelos, como bien sabemos. Por otra parte, todo avance significativo en la instrumentación conlleva nuevos descubrimientos. Por ello, la observación astronómica seguirá siendo la clave de la Astronomía. Esta necesidad de observar (aun lo que «no se ve») cada vez mejor y más profundamente pone en reto permanente a la tecnología. Por ello, la astronomía demanda y produce tecnología avanzada.

En el campo instrumental el futuro se viene encima:

- Observar en todo el espectro electromagnético (por lo que hay que salir al espacio).
- Instalar TELESCOPIOS GIGANTES:
 - en los mejores sitios de la Tierra (Canarias es uno de ellos).
 - a bordo de satélites y sondas.
 - en la Luna y otros cuerpos del Sistema Solar.
- Medir la radiación corpuscular primaria (rayos cósmicos, neutrinos, etc.).
- Detectar ondas gravitatorias.
- Conseguir muestras del espacio exterior.
- Desarrollar instrumentos nuevos, para las nuevas ventanas de observación que aparezcan.

Consecuencia de todo ello es la necesidad, cada vez mayor, de cooperar. Los grandes proyectos tendrán que ser multinacionales y se harán entre los países que quieran estar en cabeza, para obtener así los mejores retornos tecnológicos.

No se debe olvidar que es la «utilidad» tecnológica de la Astronomía y el interés popular por ella lo que mueve a los políticos y mecenas. En el primer mundo resulta ya políticamente conveniente hablar bien de la ciencia, aunque se legisle pensando en la tecnología y en la innova-

ción. Cuanto más cultos sean los pueblos, más se verán obligados quienes nos gobiernan a convertir sus palabras en hechos. Lo cual nos lleva a la necesidad de dedicar esfuerzo y tiempo a divulgar. Si queremos recibir medios, tendremos que mostrar resultados atractivos.

Todos tenemos la obligación de divulgar, no sólo porque debemos mostrar de forma llana y directa cómo es nuestro Universo a la sociedad que nos financia, sino también para contrarrestar la peligrosísima invasión de la cultura por la pseudociencia.

El panorama que reflejan los acuerdos de las cumbres de la UE en relación a la I+D, simplificando mucho, se puede resumir así:

- Constatación del desarrollo exponencial del conocimiento y la tecnología.
- Liderazgo de Estados Unidos.
- Fracaso de una política científica común en la Unión Europea, que se quiere solucionar con:
 - El «espacio europeo de investigación».
 - La «geometría variable».
- Hay que ser competitivos: la innovación (que no la ciencia) es el objetivo.

Lo que está haciendo que se vaya hacia una Europa a tres velocidades en I+D+i:

- Primera. - Los países fuertes en I+D+i. Capaces de liderar áreas estratégicas.
- Segunda. - Los países intermediarios. Capaces de hacer alguna innovación tecnológica. Puntualmente fuertes en algo.
- Tercera. - Los países más débiles. Comparsas.

Tendríamos entre todos que ser capaces de hacer entender a nuestros políticos que España puede situarse en el grupo de primera en I+D gracias a la Astronomía, por lo que esta rama de la ciencia debería ser una prioridad estratégica básica de la política científica.

En la Cumbre de Barcelona de la UE del año pasado se puso como meta política llegar en el 2010 en la I+D+i al 3% del PIB. En estos momentos sólo hay tres países de la Unión por debajo del 1%: España (0,97), Portugal (0,76) y Grecia (0,67). Si además consideramos como está planteado el Sexto Programa Marco, hay que pensar que aquí habrá abundante dinero extra (que no el básico) para quienes sepan pedirlo y lo gasten bien.

La astronomía española ha cubierto una etapa difícil e importante, habiendo conseguido:

- Estar entre los siete primeros.
- Liderar la construcción de un telescopio de clase 10 m.
- Participar en importantes proyectos internacionales en tierra y espacio.
- Tener un sitio excelente en Canarias, candidato a albergar un telescopio clase 50-100 m.
- Suscitar respeto y reconocimiento internacional.
- Ser área prioritaria en el Plan Nacional de I+D.
- Popularidad social en aumento.

Este éxito nos pone en la picota, entrando en competencia con otras ramas de la ciencia de gran tradición y empuje en España. ¡Tendremos que tener mucho cuidado con los enfrentamientos internos soterrados y las maledicencias, que nos debilitan y proyectan una imagen dañina de jaula de grillos y desorden!

Resulta absolutamente necesario y urgente:

- Duplicar el número de plazas.
- Terminar y explotar bien, después, el Gran Telescopio CANARIAS.
- Entrar en ESO.
- Seguir estando en los grandes proyectos internacionales (en tierra y en el espacio).
- Lograr que en Canarias se instale uno de los súper gigantes telescopios del inmediato futuro (con ventajas evidentes en cooperación internacional, tiempo de observación complementario, promoción de la industria, etc.).



La gran instrumentación exige cooperación internacional.

¿Valoramos realmente lo que supone, para todos, tener este recurso natural de carácter astronómico? ¿Si algún otro país con sensibilidad científica lo tuviese lo estaría explotando a tope!

Como reflexión final, quisiera señalar que la clave, como siempre, está en las personas: sólo con buena gente se consiguen grandes cosas. Tenemos muy buenos astrofísicos españoles jóvenes trabajando por el mundo. Es urgentísimo dotar y cubrir nuevas plazas. Lo argumenta la SEA y también lo ha dicho la Comisión Nacional de Astronomía, que lleva años pidiendo a la Administración que se dupliquen el número de plazas.

Es verdaderamente fundamental atraer y retener a los mejores y más creativos. Los grupos y los centros tienen que abrirse (en especial, los tribunales) y, entre todos, erradicar la endogamia.

No podemos quedarnos en el pasado, atrincherados en nuestros logros y seguridades. ¡No nos podemos permitir perdernos en líneas de investigación obsoletas, ni viejas técnicas, ni antiguos instrumentos que en su día fueron avanzados! El campo de acción de nuestra comunidad astronómica debe estar en el presente, pero con la vista en el futuro. Podemos, sin duda, ser

«La observación astronómica seguirá siendo la clave de la Astronomía. Esta necesidad de observar (aun lo que «no se ve») cada vez mejor y más profundamente pone en reto permanente a la tecnología. Por ello, la astronomía demanda y produce tecnología avanzada.»



más competitivos y liderar algunos campos de la astronomía.

El futuro de la astronomía española depende, sobre todo, de nosotros mismos: de nuestra calidad científica y humana y de la «cultura» que impregne nuestra comunidad astronómica.

Aun siendo el país de la «cucaña», de hundir a quien destaque, también lo somos de los «castellers», donde la solidaridad hace triunfar a todos, pese a ser uno sólo el que se vea en lo más alto. ¿Seremos capaces de afrontar ¡todos a una! los emocionantes retos de este nuevo siglo?

Campaña de prospección solar

Muy pocos lugares en la Tierra reúnen el conjunto de condiciones requeridas por la Astrofísica. Las cumbres de las islas de Tenerife y La Palma poseen sobradamente dichas condiciones, como la calidad de su cielo, por lo que se han convertido en un polo de atracción para los más avanzados telescopios. Por esta razón, el Observatorio del Roque de los Muchachos se presenta actualmente como uno de los seis posibles candidatos para albergar el Telescopio Solar de Tecnología Avanzada (ATST). Éste es un telescopio sin precedentes en la observación del Sol que, con una apertura de 4 m, se convertirá en el mayor telescopio solar del mundo y que, entre otras innovaciones, integrará instrumentación postfoco de última generación, como la óptica adaptativa. En la decisión final sobre la ubicación del ATST se tendrá en cuenta la relación entre las condiciones de observación solar, la geografía, la topografía y la meteorología del lugar, para lo cual se están realizando campañas de prospección en los distintos lugares candidatos. En este artículo se describen los instrumentos y las técnicas que, como en los demás sitios propuestos, se están utilizando en el observatorio del IAC en la isla de La Palma.



Manuel Collados
(ULL/IAC)



Noel D. Torres Taño
(IAC)



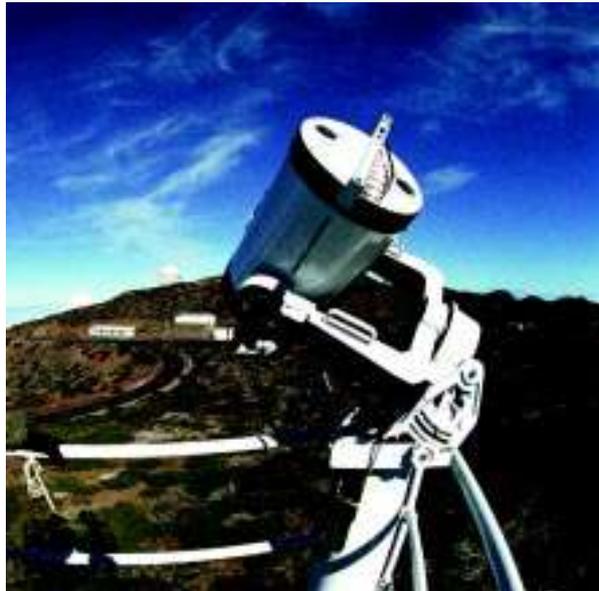


Torre, de 6 metros de altura, donde se encuentran los instrumentos SDIMM y SHABAR (a la derecha) y la estación meteorológica (a la izquierda). Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

En Astrofísica, hace tiempo que se utilizan los monitores de «seeing» basados en medidas de movimiento diferencial sobre imágenes (DIMM). Esta técnica se basa en tomar, sobre el mismo detector y con el mismo telescopio, dos imágenes distintas de una misma estrella utilizando dos aperturas diferentes. Debido a la turbulencia atmosférica, ambas imágenes se moverán de distinta manera en el detector. La medida del movimiento de una con respecto a la otra da información sobre el «seeing», parámetro definitorio de la calidad de imagen en una observación.

El monitor de «seeing» solar (SDIMM) utiliza el mismo principio, pero con el Sol, para medir el «seeing» con el que tendrían lugar observaciones solares. Dado que nuestro Sol no se nos aparece como un objeto puntual, sino como un disco, las observaciones se realizan midiendo el movimiento relativo, esta vez unidimensionalmente, de dos imágenes de rendija del limbo solar.

El SDIMM es parte de un experimento del NSO (*National Solar Observatory*) de Estados Unidos para medir la calidad del cielo en el Observatorio del Roque de los Muchachos, con vistas a la instalación del futuro telescopio solar de 4 m de diámetro ATST (*Advanced Technology Solar Telescope*). El mismo experimento se lleva a cabo, simultáneamente, en otros cinco lugares del globo: Sacramento Peak (Nuevo Méjico, EE.UU.); Big Bear (California, EE.UU.); Haleakala (Islas Hawai, EE.UU.); Panguitch Lake (Utah, EE.UU.); y San Pedro Mártir (Baja California, Méjico), con el objeto de decidir en cuál de ellos se ubicará el telescopio.



El telescopio en que se montan SDIMM y SHABAR, en la parte alta de la torre. Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

El experimento, además del SDIMM, consta de los instrumentos SHABAR (SHAdow BAND Ranger), SBM (Sky Brightness Monitor, monitor de brillo del cielo), DM (Dust Monitor, monitor de polvo) y una estación meteorológica. SHABAR consta de seis fotodiodos medidores del centelleo solar, situados sobre una barra recta a varias distancias entre sí, y ubicados sobre el telescopio de SDIMM. Dichos fotodiodos miden la intensidad de la iluminación solar y la importancia del centelleo en dicha iluminación. El centelleo consiste en pequeños cambios de brillo, muy rápidos, en la iluminación que nos llega del Sol, semejantes al titilar de las estrellas y con la misma causa: la turbulencia atmosférica. De este modo, los detectores actúan como una medida adicional del «seeing» solar. Además, al haber diferentes distancias entre ellos, que varían entre uno y poco más de 40 cm, se puede triangular, dadas las diferentes medidas del centelleo de cada fotodiodo, para averiguar a qué altura en la atmósfera se encuentra la masa principal de turbulencias. Este tipo de técnica, basada en el centello estelar, es usado también para estudiar la turbulencia atmosférica durante la noche.

SBM, que aún no ha sido instalado, es un monitor del brillo de cielo, que funcionará como un coronógrafo, orientado al Sol pero teniendo éste tapado por una máscara, para medir así cuánto brilla el cielo de día, otro factor importante en la calidad de las observaciones solares. Los resultados de este instrumento serán de gran

«EL SDIMM es parte de un experimento del NSO (*National Solar Observatory*) de Estados Unidos para medir la calidad del cielo en el Observatorio del Roque de los Muchachos, con vistas a la instalación del futuro telescopio solar de 4 m de diámetro ATST (*Advanced Technology Solar Telescope*).»



De izquierda a derecha, KVA (Telescopio estelar sueco), SST (Telescopio Solar Sueco), torre de SDIMM, con el DOT (Telescopio Abierto Holandés) y NOT (Telescopio Óptico Nórdico). Foto: Noel Torres Taño (IAC).

utilidad para determinar si el observatorio permite observar la débil corona solar y con qué frecuencia.

DM, por su parte, es un monitor de polvo que tampoco ha sido instalado aún y que permitirá medir la densidad de partículas con tamaño menor que 0,3 micras presentes en el ambiente. Finalmente, la estación meteorológica toma medidas de temperatura en lo alto de la torre y en el suelo, velocidad y dirección del viento, velocidad de las ráfagas de viento, presión y humedad.

SDIMM, SHABAR, la estación meteorológica y,



próximamente, DM, se encuentran sobre una torre metálica de 6 m de alto, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, cerca del emplazamiento de la Torre Solar Sueca (SST). En el edificio de la SST se encuentra, asimismo, el centro de control de dichos instrumentos. SBM, por su parte, se instalará junto al mismo edificio, separado del resto de instrumentos del experimento. Las observaciones con SDIMM, SHABAR y la estación meteorológica comenzaron el 29 de septiembre, y se prevé que duren un año.

Torre solar sueca (SST), telescopio al vacío de 1m de diámetro, en cuyo sótano se encuentra la sala de control de SDIMM. Foto: Noel Torres Taño (IAC).

Leónidas 2002

Cada año, la Tierra atraviesa un lugar del espacio por donde el cometa Tempel-Tuttle ha pasado anteriormente dejando su rastro. La consecuencia es la lluvia de estrellas conocida como «Leónidas». Si, además, la zona que atraviesa la órbita terrestre tiene gran densidad de material desprendido por el cometa, la *lluvia* se convierte en *tormenta*. Desde 1999, se han podido observar tormentas cada año, pero las del 2002 han sido las últimas. Esta excepcional «coincidencia» no se volverá a dar hasta dentro de, al menos, cien años. La campaña de 2002 es la continuación de las realizadas en Tenerife en 1999 y en Australia en el 2001. El objetivo principal en esta ocasión era determinar el momento y el nivel de máxima actividad. Otra de las metas era medir la débil polarización lineal de la radiación emitida por los meteoritos, que permitirá determinar su composición química, la que formó nuestro Sistema Solar. Las condiciones observacionales de aquel día no prometían mucho, debido a la presencia de luna llena. Además, las circunstancias meteorológicas obligaron a apuntar hacia el horizonte en vez de hacia el cenit. Con todo, se pudieron realizar con éxito las mediciones, ya que en esta dirección el número de meteoros observados fue mucho mayor.

Lola Ruiz Herrera
(SOMYCE)
Luis Bellot Rubio
(KIS, Friburgo,
Alemania)
Miquel Serra-Ricart
(IAC)



Las últimas tormentas de Leónidas que podremos contemplar en nuestra vida ocurrieron el 19 de noviembre de 2002. Estas tormentas fueron excepcionales por varios motivos. Para empezar, el momento en el que se produjeron: cinco años después del paso del cometa Tempel-Tuttle por el perihelio. Nunca antes se había observado una tormenta de Leónidas con tantos años de retraso. Otro motivo importante era el hecho de que la Tierra, en solo 6 horas y media, iba a atravesar dos filamentos de materia generados por el cometa Tempel-Tuttle. Los modelos teóricos predecían encuentros muy cercanos, es decir, dos tormentas de grandes proporciones. La primera de ellas, debida al filamento de materia creado por el Tempel-Tuttle en el año 1767, ocurriría sobre Europa, mientras que la segunda (debida al filamento de 1866) sería visible desde Norteamérica. El interés por el segundo pico de actividad era alto porque el filamento de 1866 ya había sido observado durante las Leónidas de 2001.

Las Leónidas de 2002 cerraron un ciclo que empezó en 1998 con el paso del Tempel-Tuttle por perihelio. Aquel año no se produjo tormenta, pero el enjambre sorprendió a todos los observadores con una espectacular lluvia de bólidos. La nube de partículas masivas que la Tierra atravesó en 1998 fue producida por resonancias gravitatorias con Júpiter. En 1999 se observó la primera tormenta de Leónidas, con niveles de hasta 4.500 meteoros por hora. La actividad fue modesta en el año 2000. En el 2001 se pudieron observar dos tormentas, una desde Norteamérica y otra desde Asia y Australia. Estas tres tormentas de Leónidas habían permitido mejorar notablemente los modelos numéricos de la lluvia, con lo cual las predicciones para el 2002 se consideraban muy fiables. Los instantes de máxima aproximación de la Tierra a los filamentos de materia se determinaron con un error de aproximadamente 10 minutos. La actividad máxima, por el contrario, era mucho más incierta. Los modelos más optimistas predecían actividades de unos 10.000 meteoros por hora, mientras que los más conservadores hablaban de 1.000 ó 2.000 meteoros por hora.

Las tormentas de 2002 proporcionaban la última gran oportunidad para refinar los modelos numéricos del enjambre de las Leónidas. Por este

motivo, el grupo de meteoros del IAC preparó una campaña similar a las realizadas anteriormente desde Tenerife (en 1999) y Australia (en 2001). El objetivo principal de dicha campaña era determinar de manera precisa el momento de máxima actividad, así como el nivel de actividad alcanzado. La posición privilegiada de Tenerife, entre Europa y Norteamérica, nos permitía hacer el seguimiento de la actividad en un rango de longitudes geográficas donde existen muy pocos observadores. De hecho, las observaciones desde el Observatorio del Teide son las últimas realizadas desde Europa antes de la salida del Sol.



Leónidas sobre la OGS, en el Observatorio del Teide. Foto: Miquel Serra-Ricart.

Dos meses antes de las tormentas, el IAC fue invitado a participar en la *2002 Leonid Multi-Aircraft Campaign*. Esta misión, organizada por la NASA, pretendía estudiar la actividad de las Leónidas desde dos aviones separados unos 200 km. Se había escogido una ruta transatlántica para poder observar los dos picos de actividad. Los aviones despegarían de la base de Torrejón de Ardoz (Madrid) y aterrizarían en

Nebraska (Estados Unidos). El apoyo logístico y económico del Ejército del Aire español fue decisivo para que la NASA subvencionara el vuelo del segundo avión. Como contrapartida, la NASA ofreció a España la posibilidad de instalar dos instrumentos a bordo, sin coste alguno. Tras una serie de negociaciones de urgencia, el Dr. Peter Jenniskens, investigador principal de la misión, aprobó el experimento propuesto por el IAC.

En un tiempo récord, el Servicio de Delineación y los Talleres de Mecánica y Electrónica definieron, diseñaron y construyeron, siguiendo las directrices del grupo de meteoros del IAC, un instrumento novedoso para medir la polarización de la luz que emiten los meteoros al interactuar con la atmósfera terrestre. Este instrumento está integrado por tres cámaras digitales de video (DV-Cam) acopladas a intensificadores de imagen y objetivos de 85 mm de distancia focal. Delante de cada objetivo se colocó un polarizador lineal para realizar el análisis de polarización. Las tres cámaras se mantuvieron alineadas para registrar el mismo campo de visión. Fijando los ejes de transmisión de los polarizadores es posible, a partir de las tres imágenes de un mismo meteoro que proporciona

el sistema, estimar el grado de polarización lineal de la luz recibida. El grado y el eje de polarización lineal permiten obtener información sobre el tamaño y composición química de las partículas en las que se desintegran los meteoroides al entrar en la atmósfera terrestre. La corta duración y la baja luminosidad de los meteoros hacen especialmente difícil estas medidas, por lo que se construyó un sistema muy sensible capaz de detectar meteoros más débiles que magnitud +6.

En el último momento, problemas logísticos impidieron instalar el experimento en uno de los aviones de la *Leonid Multi-Aircraft Campaign*, por lo cual decidimos realizar las medidas de polarización desde el Observatorio del Teide. Irónicamente, este cambio de planes nos permitió obtener un conjunto de datos de extraordinaria calidad.

Observaciones

Desde el principio sabíamos que la observación de las Leónidas en 2002 se

vería afectada por la presencia de luna llena. Por este motivo era imprescindible buscar cielos limpios para minimizar su influencia. Las previsiones meteorológicas no eran muy halagüeñas en el Observatorio del Teide la noche del 18 al 19 de noviembre, pero ello no impidió que mucha gente subiera para intentar observar la lluvia. Alrededor de las 12 de la noche empezamos las medidas de polarización, tal y como estaba previsto, así como el seguimiento de la actividad mediante el cuarto intensificador de imagen del experimento TIMES (*Teide Imaging Meteor System*), equipado esta vez con un objetivo gran angular de 28 mm. Con el radiante todavía muy bajo, el número de bólidos era claramente inferior al observado el año anterior desde Tennant Creek y Devil's Marble (Australia).

Alrededor de las dos horas de tiempo local, un frente de nubes altas cubrió parcialmente todo el cielo en cuestión de minutos. Quedaban sólo dos horas para la primera tormenta. Las nubes eran tan densas que no parecía probable encontrar lugares despejados fuera del Observatorio. Por este motivo decidimos apuntar las cámaras hacia el único lugar donde no había nubes: el horizonte. El campo de visión de las cámaras equipadas con los objetivos de 85 mm era de 12 grados de diámetro, exactamente el tamaño de una banda despejada que quedó en el cielo hacia el horizonte sureste. Dicha banda se mantu-

vo sin nubes hasta las 5 de la madrugada, lo cual nos permitió observar la tormenta de Leónidas en condiciones excepcionales.

Resultados

El experimento de polarización se dio por finalizado cuando las nubes cubrieron todo el cielo. A pesar de la baja actividad, fue posible registrar varias Leónidas brillantes a través de los polarizadores. Estos datos están siendo reducidos y analizados en busca de señales de polarización débiles.

A partir de las 3 de la madrugada, las tres cámaras del experimento de polarización fueron desalineadas para que observaran campos diferentes. Durante el periodo de máxima activi-

dad, las cámaras apuntaron a sólo 6 grados por encima del horizonte. El volumen atmosférico que se observa a esta altura es

enorme en comparación con el volumen que registra la misma cámara apuntando al cenit. Aunque la extinción también es muchísimo más grande, el resultado neto es un incremento de las tasas de detección. Hasta ahora sólo ha sido posible analizar las imágenes de dos de las tres cámaras. Entre las 03:12 y las 04:56 horas de tiempo universal registraron 1.307 y 748 meteoros, respectivamente. En el momento del máximo, ambas cámaras observaron alrededor de un meteoro por segundo. Para hacerse una idea de la eficiencia del sistema, mencionaremos que las cámaras utilizadas en Australia registraron sólo 105 meteoros durante la hora y media que duró la tormenta de 2001, a pesar de que el nivel de actividad fue muy parecido al de 2002.

Las excepcionales condiciones del cielo del Observatorio del Teide, junto a la alta calidad de las cámaras digitales, hicieron posible registrar más meteoros que instrumentos similares a bordo de los aviones de la *Leonid Multi-Aircraft Campaign*. En concreto, la Agencia Espacial Europea (ESA) registró sólo 1.197 meteoros en tres horas de observación con un intensificador de imagen similar a los nuestros.

Los datos obtenidos desde el Observatorio del Teide nos han permitido confirmar un descubrimiento fascinante: la existencia de oscila-

ciones de corto periodo en la curva de actividad de las Leónidas (véase figura 1). Las mismas fluctuaciones aparecen en los datos conseguidos por la ESA desde el aire (línea violeta en la figura 1), por lo que son estadísticamente significativas. En 1999 se descubrió que el filamento generado por el cometa Tempel-Tuttle en 1899 muestra fluctuaciones de densidad a escalas del orden de 10.000-30.000 km. Nuestras observaciones revelan fluctuaciones muy parecidas en un filamento de materia mucho más viejo, el de 1767. Al analizar la curva de actividad de la figura 1 por medio de una transformada de Fourier se obtiene un máximo de potencia en 7 minutos. El periodo de las oscilaciones encontradas en el filamento de 1899 es de entre 6 y 9 minutos. El acuerdo, como puede comprobarse, es excelente. Actualmente estamos desarrollando un modelo para explicar el origen de dichas fluctuaciones en colaboración con el Dr. Detlef Koschny, de la ESA.

Según las observaciones visuales recibidas por la *International Meteor Organization*, la actividad de las Leónidas alcanzó niveles máximos de 2.500 meteoros/hora durante la primera tormenta de 2002. El pico ocurrió a las 04:10 horas de Tiempo Universal. Nuestras observaciones indican que el máximo tuvo lugar alrededor de las 4h01m, es decir, 9 minutos antes. Todavía no sabemos el origen de esta diferencia, aunque es posible que se deba a la diferente latitud geográfica del Observatorio del Teide. En cualquier caso, nuestras observaciones favorecen el modelo de Lyytinen y van Flandern, que predecía el máximo a las 04:02 horas con una actividad máxima de 4.500 meteoros por hora.

Lluvia polarizada

Todas las ondas electromagnéticas, incluyendo la luz, se caracterizan completamente por su intensidad y su polarización. El estado de polarización indica si la onda tiene algún modo preferido de vibración en el plano perpendicular a la dirección de propagación. En condiciones normales, la luz natural no está polarizada, es decir, no hay ningún plano de vibración preferente. Sin embargo, algunos procesos físicos son capaces de modificar la polarización de la luz. Por ejemplo, la luz del Sol es dispersada por las moléculas de la atmósfera terrestre. Este proceso, llamado «dispersión Rayleigh», colorea el cielo de azul y polariza parcialmente la luz. Otro proceso que genera polarización es la dispersión por pequeñas partículas de polvo («dispersión Mie»). Es precisamente este fenómeno el que se pretende observar en las Leónidas.

Al entrar en la atmósfera terrestre, los meteoros emiten luz que puede ser dispersada por los residuos del propio meteorito, lo que produciría cierta polarización. Midiendo el grado de polarización y el plano de vibración de la luz de las Leónidas se puede obtener información sobre el tamaño y la composición química de las partículas que liberan los meteoros al desintegrarse en la atmósfera de la Tierra.

La detección de polarización lineal en las Leónidas permitiría confirmar por primera vez que las estrellas fugaces están formadas por minúsculas partículas de polvo. Dichas partículas son restos de la formación del Sistema Solar y, por tanto, de nuestra Tierra.



Figura 1. Curva de actividad de las Leónidas 2002.

Arqueoastronomía en Bretaña: «En tierra de megalitos»

Determinar la importancia de la Astronomía como parte integrante de la cultura y de la civilización a lo largo de la Historia desde el Paleolítico a la actualidad es el objetivo del proyecto «Arqueoastronomía» del IAC. El principal interés se centra en los pueblos del antiguo ámbito mediterráneo, desde el Atlántico al Oriente Medio, con una dedicación especial a España y a su entorno geográfico inmediato, aunque también se han realizado trabajos puntuales en el ámbito mesoamericano y en las islas del Pacífico. En este contexto se sitúan las investigaciones sobre el llamado «fenómeno megalítico» en la Bretaña francesa. Estas construcciones son de gran interés arqueoastronómico desde que, en el siglo pasado, un ingeniero escocés jubilado llamado Alexander Thom estudiara los monumentos megalíticos en las Islas Británicas y el norte de Francia aplicando sus conocimientos de ingeniería. Thom sostuvo que los círculos de piedra eran la representación permanente sobre el suelo de los puntos desde los cuales se podía hacer una observación exacta de los solsticios o de las posiciones extremas lunares. Conociendo esas posiciones se podía incluso predecir los eclipses de Sol y de Luna. En este artículo se presentan los resultados preliminares sobre el potencial arqueoastronómico de la campaña bretona, tras los estudios realizados en la región en mayo de 2002.



Juan Antonio Belmonte
(IAC)

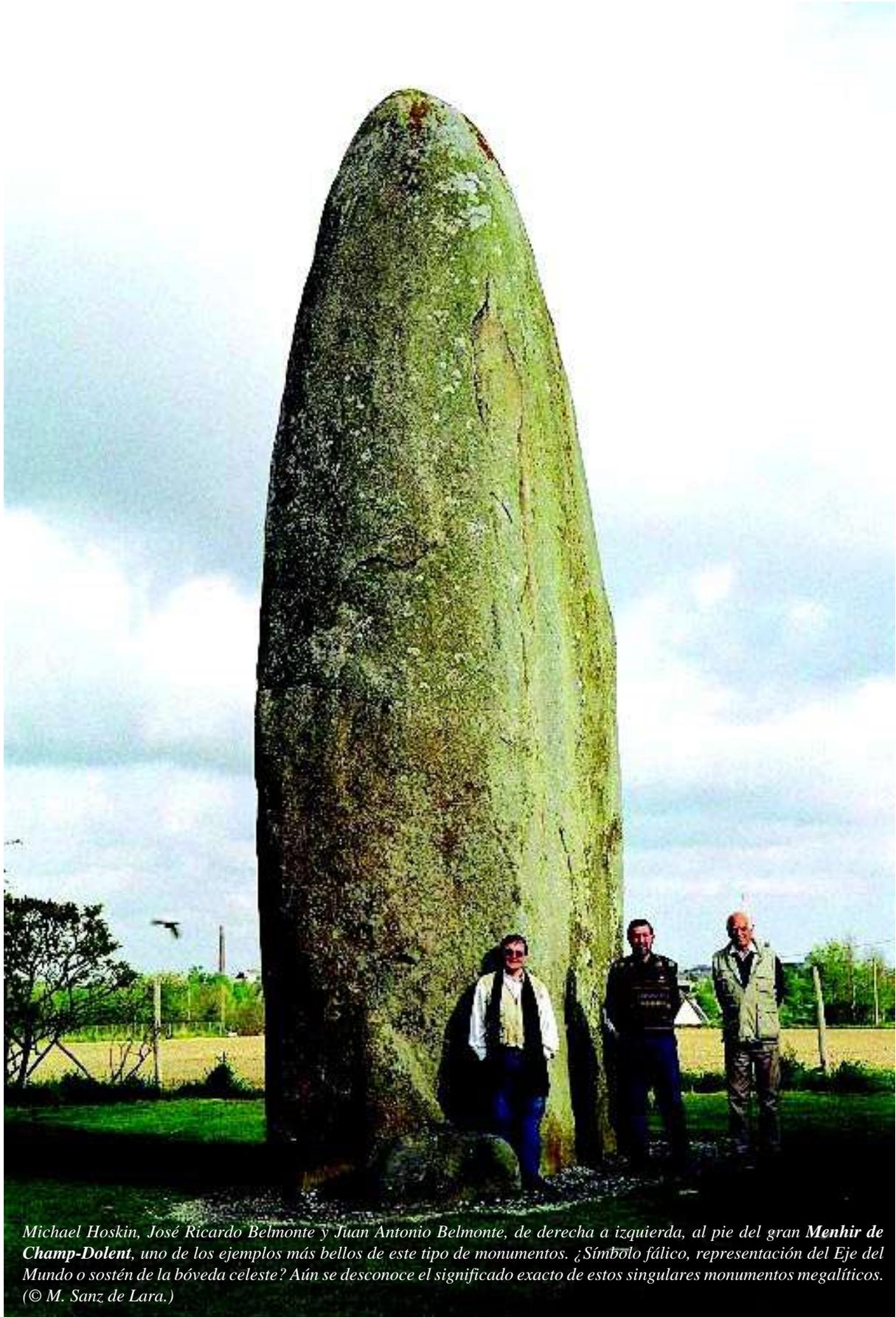


Michael Hoskin
(U. Cambridge)



José Ricardo Belmonte
(IES Gregorio Marañón, Madrid)





*Michael Hoskin, José Ricardo Belmonte y Juan Antonio Belmonte, de derecha a izquierda, al pie del gran **Menhir de Champ-Dolent**, uno de los ejemplos más bellos de este tipo de monumentos. ¿Símbolo fálico, representación del Eje del Mundo o sostén de la bóveda celeste? Aún se desconoce el significado exacto de estos singulares monumentos megalíticos. (© M. Sanz de Lara.)*

Con la llegada de la neolitización a finales del VI o principios del V milenio a.C. se produjo, en las costas atlánticas de Europa, el nacimiento del «fenómeno megalítico» en tres focos diferentes y aún no sabemos si relacionados entre sí de una forma u otra: la isla de Irlanda, la Bretaña francesa y el sudoeste de la Península Ibérica. El que ha proporcionado fechas más altas es el foco irlandés (finales del VI milenio a.C.), seguido de cerca por los focos bretón (principios del V) y alentejano (mediados del V).

Este fenómeno tuvo una importancia excepcional en Bretaña donde en el plazo de unos 2000 años se iban a construir más y mejores monumentos megalíticos que en ningún otro lugar del mundo. Millares de menhires, centenares de dólmenes de todas las tipologías, decenas de alineamientos y un número nada desdeñable de círculos de piedra o crómlechs se levantaron por la campiña bretona. Entre ellos, sin desmerecer algunos monumentos irlandeses, como Newgrange, o ibéricos, como Os Almendres o Menga, entre ellos, se encuentran los menhires más altos erigidos jamás, alguno de los dólmenes más complicados y espectaculares y los alineamientos más complejos.

Como siempre que se habla del fenómeno megalítico, es inevitable que se discuta su faceta astronómica. Hasta ahora han sido numerosos, aunque no tantos como cabría esperar para una región tan rica en monumentos, los estudios que han tratado de poner de manifiesto las conexiones astronómicas de los megalitos de Bretaña.

Por todo ello, en mayo de 2002 se llevó a cabo una visita a la región con el fin de estudiar su potencial arqueoastronómico, confirmar sobre el

terreno resultados anteriores o postular nuevos planteamientos. En este artículo vamos a tratar de resumir aquellos puntos más interesantes o significativos de la campaña y de mostrar alguno de los monumentos más singulares.

El recorrido

Nuestro recorrido comienza en el departamento de Morbihan, donde en las cercanías de las villas de Carnac y Locmariaquer se concentra un

número inimaginable de megalitos. Entre los más importantes, figuran los famosos alineamientos de Carnac, donde miles de menhires fueron colocados en hileras paralelas de varios centenares de metros por razones que aún ignoramos. Los más famosos son los de Le Menec, Kermario y Kerlescan cuya finalidad astronómica, postulada por el ingeniero británico Alexander Thom, dista mucho de haber sido demostrada. También en las cer-

cánias de Carnac podemos encontrar el cuadrilátero de Crucuno e infinidad de dólmenes entre los que cabría destacar el trío de Mane Kerioned, por su extraña orientación, o el de Kerkado, por su extrema antigüedad.

En Locmariaquer se hallan los restos del mayor menhir jamás erigido por el hombre. Con sus 20 metros, compite en altura con los obeliscos egipcios -2500 años más jóvenes-, y por su volumen no tiene rival. Se trata de Er Grah o el Gran Menhir Caído. En realidad, este menhir, cuyo uso astronómico ha sido largamente discutido, se encontraba rodeado de otros menhires de menor porte entre los que habría destacado uno por la calidad y belleza de su decoración. Este último, una vez derribado a los pocos siglos de su erección y fragmentado en tres trozos, fue reciclado



Mapa de Bretaña, especificando los lugares mencionados en el texto y mostrados en las imágenes: Carnac (1), Locmariaquer (2), Gavrinis (3), Lesconil (4), Barnenez (5), Champ-Dolent (6), Tressé (7), Esse (8), Sant-Just (9), Dissignac (10) y Liscuis (11).

«En el plazo de 2000 años se levantaron en Bretaña millares de menhires, centenares de dólmenes de todas las tipologías, decenas de alineamientos y un número nada desdeñable de círculos de piedra o crómlechs.»



Los alineamientos de Kerlescan, uno de los tres grandes grupos de menhires en las cercanías de Carnac. Supuestamente están orientados hacia el punto de salida del Sol en los equinoccios. Se fechan en el Neolítico, en pleno apogeo del fenómeno megalítico (4000-3000 a.C.)

como losa de cobertura de dos de los dólmenes más bellos del mundo, la Table des Merchands y el del túmulo de Gavrinis. Este último, erigido en 3500 a.C. en lo que hoy es una isla del Golfo de Morbihan, es conocido, con todo derecho, como la «catedral» del arte megalítico.

Nuestro viaje sigue entonces por la costa bretona de Armorica, en el norte de la península. Allí encontramos el túmulo de Barnenez, uno de los edificios más antiguos erigidos por el hombre (mediados de V milenio a.C.). En su interior se levantan un total de 11 dólmenes de diversas tipologías cuya orientación podría esconder una justificación astronómica. Este tipo de túmulos, con estructuras megalíticas en su interior, orientadas principalmente al cuadrante sudoriental del horizonte, fue bastante común en Bretaña,

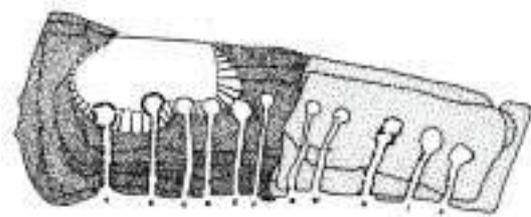
encontrándose ejemplos hasta en el extremo meridional de la región, en Dissignac, cerca de Saint Nazarie. Otro monumento imponente de la costa norte es el menhir de Champ-Dolent.

A finales del IV milenio a.C., los dólmenes de corredor se fueron alargando y los corredores haciéndose cada vez más anchos, de forma que en un momento determinado corredor y cámara fueron indistinguibles. Este nuevo tipo de dolmen, conocido como «galería cubierta», se extendió por toda Bretaña, al contrario que los tipos más antiguos que se habían restringido principalmente a la costa. Por tanto, en esta época, las tierras del interior de la península debieron de ser colonizadas por los constructores de megalitos.

«El túmulo de Barnenez es uno de los edificios más antiguos erigidos por el hombre (mediados del V milenio a.C.). En su interior se levantan un total de 11 dólmenes de diversas tipologías cuya orientación podría esconder una justificación astronómica. Este tipo de túmulos, con estructuras megalíticas en su interior, orientadas principalmente al cuadrante sudoriental del horizonte, fue bastante común en Bretaña.»

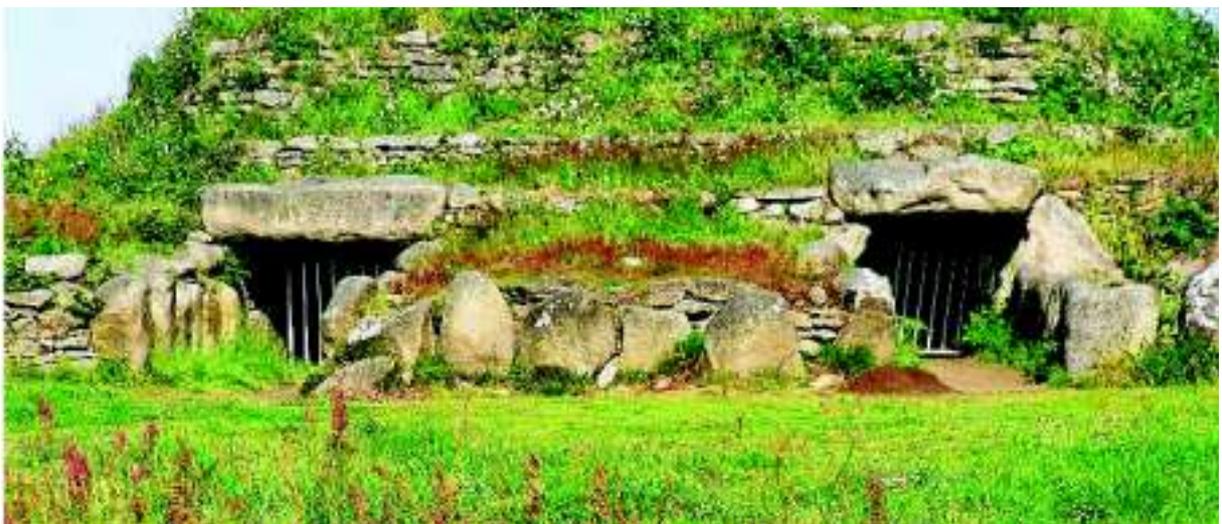


El túmulo de Barnenez, una de las construcciones arquitectónicas más viejas de la humanidad cuyo sector más antiguo fue erigido en torno al 4500 a.C. Es, por tanto, al menos 1500 años más antiguo que las primeras pirámides de Egipto.



Plano del túmulo de Barnenez, con los dos sectores que lo constituyen, siendo el de la derecha varios siglos más antiguo. Se aprecian los once dólmenes que lo integran, orientados astronómicamente con toda probabilidad. El sector sudoccidental (izquierda arriba) fue usado como cantera hasta que se descubrieron los dólmenes en su interior.

Hay galerías cubiertas de tipología muy diversa, desde las más simples, como las de Liscuis, en el centro de la región, o las de Saint-Just, hasta las más elaboradas y grandiosas, como los dólmenes angevinos, de los que la Roca de las Hadas, en las cercanías de Esse, constituye un ejemplo singular. Un tipo peculiar de ellas son las llamadas galerías cubiertas en «arc boutte», como la de Lesconil, en Finisterre, un ejemplo destacado. Desde el punto de vista arqueoastronómico, las galerías cubiertas son un auténtico puzzle para los investigadores pues sus accesos no se encuentran siempre en el sitio que uno espera y, además, en muchas ocasiones, junto a la losa de ca-



Primer plano de los dos dólmenes que encierra el túmulo de Dissignac. Orientados el sudeste, siguen la norma de la mayoría de los monumentos megalíticos de Bretaña.



El cuadrilátero de Crucuno, al noroeste de Carnac, uno de los crómlech más peculiares de Bretaña por su planta rectangular. Según el ingeniero británico Alexander Thom, la planta está organizada de forma que las dos diagonales del cuadrilátero actúan como marcadores solsticiales y sus lados norte y sur como alineamientos equinocciales. Nuestros propios resultados confirman esta hipótesis lo que plantea interrogantes sobre los conocimientos y usos astronómicos de los constructores de megalitos de la región.



El cairn de Gavrinis, fechado en torno al 3500 a.C. Su aspecto exterior en nada sugiere el esplendor de la decoración de su interior, que le ha valido el título de «catedral» del arte megalítico.



becera se construía una especie de edículo, que podría ser interpretado como una capilla, lo cual plantea dudas sobre la orientación principal asociada al culto funerario.

Para complicar aún más la situación, algunas galerías cubiertas estaban acodadas, de forma que el eje de la construcción giraba bruscamente un cierto ángulo a medio recorrido. Para conocer el ejemplo más hermoso debemos volver a la costa sur de Bretaña, a Locmariaquer, donde se levanta el «dolmen» de Pierre Plattes, con una



Base y dos de los cuatro fragmentos de granito que formaban Er Grah, el Gran Menhir Caído, en Locmariaquer. Cuando estaba en pie, hace ahora 6000 años, este menhir era, con 20 metros, la estructura más alta erigida por el hombre sobre la superficie del planeta y, según Alexander Thom, podría haber actuado como marcador de las estaciones lunares, hipótesis que hoy en día se cuestiona. En realidad, Er Grah formaba parte de un alineamiento -visible en la imagen- cuyo uso exacto se desconoce, aunque no se puede descartar una finalidad astronómica. A la derecha es visible el «cairn» (túmulo de piedras) que cubre el dolmen de la Table des Merchands.



Calco de una de las losas del interior, mostrando los diseños típicos de las insculturas de Gavrinis, donde abundan los espiraliformes, los meandriiformes, los círculos concéntricos y las hachas dobles; todos ellos elementos típicos de los grabados rupestres de la fachada atlántica europea y africana.

Plano de Gavrinis (a la izquierda). 26 de los 29 ortostatos que forman la cámara están decorados. Este formidable monumento estaría quizás orientado al orto de Venus en su posición más meridional posible, aunque una orientación lunisolar tampoco puede descartarse a priori. La losa de cobertura de la cámara es uno de los fragmentos de un gran menhir, vecino de Er Grah, que fue derribado y fragmentado ya en el Neolítico.

galería de casi 20 metros de largo que a medio camino da un giro de 60°. Ante semejante estructura, las dudas son mucho más numerosas que las certezas.

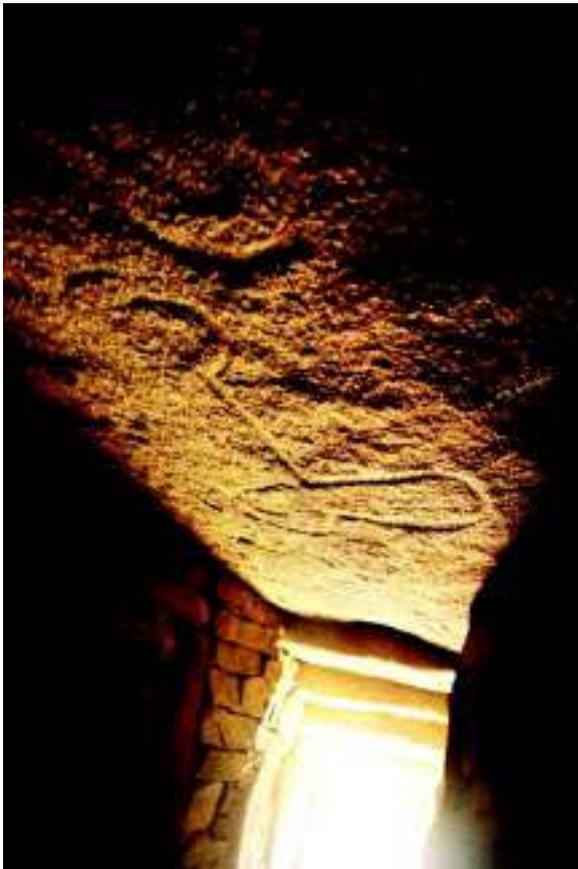
Los megalitos de Bretaña se están estudiando y analizando en detalle. Esperemos que en un futuro no muy lejano podamos desvelar algunas de las claves sobre el papel que la astronomía, en su vertiente cultural, jugó en el diseño y en la orientación de estos imponentes, pero mudos, testigos de nuestro pasado.



Reconstrucción de un gran menhir, algo menor que Er Grah, que se debió erigir en las cercanías de éste a finales del V milenio a.C. Siglos después fue derribado y fragmentado en tres trozos que fueron usados como losas de cobertura en los dólmenes de Gavrinis y la Table des Merchands y en un túmulo funerario vecino al Gran Menhir. Este descubrimiento ha sido uno de los grandes hitos de la arqueología bretona del siglo XX. Se ignora si este menhir formaba parte del alineamiento, que vimos con anterioridad, cuyo elemento principal era Er Grah.



Dos de los tres dólmenes del **conjunto de Mane Kerioned**, al noroeste de Carnac. Ejemplo típico de estos monumentos, su orientación, perpendicular uno de otro, supone un auténtico rompecabezas para la interpretación de la costumbres orientativas en la región. (© M. Sanz de Lara.)



Interior de la Table des Merchands, en Locmariaquer, uno de los dólmenes más interesantes de Bretaña. Orientado casi en paralelo con Gavrinis, y construido casi en la misma época, su losa de cobertura es el fragmento mayor del gran menhir mostrado en la figura anterior (en la imagen se reconoce el hacha.)



La galería cubierta de Treál, cerca de Sant-Just, es un magnífico ejemplo de este tipo de monumentos megalíticos que empezaron a construirse a finales del IV milenio a.C. como una evolución de los dólmenes de corredor, y se extendieron por toda la península. Sus entradas, localizadas normalmente en el ángulo sudoriental y situadas a veces perpendicularmente al eje principal de la galería, como en el caso de Treál, son objeto de debate a la hora de establecer la orientación principal del monumento. (© M. Sanz de Lara.)

Algunas galerías cubiertas como **la Galería de Tressé** (a la derecha) tienen en el extremo opuesto al de la entrada una especie de edículo adosado al que se podía acceder desde el exterior incluso cuando el túmulo cubriera todo el monumento. Estas «capillas», algunas decoradas como la de la imagen, plantean la posibilidad de que la orientación principal no fuese la de la puerta de acceso al interior del dolmen. (© M. Sanz de Lara.)





El dolmen de Lesconil, en Cornuailles, es un ejemplo estándar de un tipo muy raro de galerías cubiertas en las que no se usaban losas de cobertura, sino que los ortostatos laterales se apoyaban uno sobre los otros formando una especie de bóveda, dando lugar a lo que en la jerga arqueológica se llama un «arc boutte». (© M. Sanz de Lara.)



Orientada de forma típica hacia el sudeste, **la galería de Lesconil** muestra la distribución estándar de muchos de estos monumentos, con su entrada en el extremo sudoriental (derecha), la capilla adosada en el extremo contrario y el túmulo de tierra que encerraba todo el conjunto, del que se conservan algunos ortostatos de contención.



El «dolmen» de **Pierre Plattes**, en las cercanías de Locmariaquer, una de las galerías cubiertas más bellas de Bretaña. Varios de sus ortostatos están decorados con imágenes grabadas de un ídolo polioculado o de podomorfos. El monumento se completa con un gran menhir de más de dos metros de altura cuya finalidad se desconoce. A la derecha, plano de Pierre Plattes donde se muestra su endiablada distribución interior, con la galería formando un ángulo de 60° entre sus dos sectores principales y una cámara secundaria en el codo con una orientación totalmente diferente. Estos diseños, que no son infrecuentes en el sur de Bretaña, constituyen un auténtico puzzle para cualquier arqueoastrónomo que desee trabajar en la región.



Portal de La Roca de las Hadas, cerca de Esse, en el extremo oriental de Bretaña. Las figuras de la imagen dan una idea de las proporciones descomunales de este monumento, el más grande, y prototipo además, de los dólmenes angevinos, típicos del bajo valle del Loira, erigidos entre el IV y el III milenio a.C. (© M. Sanz de Lara.)



Plano de La Roca de las Hadas, mostrando la distribución de estos monumentos, con un gran portal de acceso, una entrada tras él y la división de la cámara principal en varios compartimentos. Habitualmente, se puede leer que este imponente dolmen está orientado a la salida del sol en el solsticio de invierno. Sin embargo, el estrecho rango de horizonte visible desde la cámara y su acimut, casi idéntico al de Gavrinis, postula como mucho más probable un alineamiento venéreo o lunar.



Liscuis II, una de las tres galerías cubiertas que se encuentran en un altozano en las cercanías de Laniscat y que muestran orientaciones totalmente diferentes (SE, SW y NE) difíciles de explicar en un contexto astronómico sencillo. (© M. Sanz de Lara.)



EL ASTEROIDE 2002 NY40

Los asteroides no parecen dispuestos a abandonar los titulares. Uno de ellos, el 2002 NY40, estuvo unos días de visita por las cercanías de nuestro planeta. El 18 de agosto pasaba a una distancia de 450.000 km: ¡menos del doble de la distancia a la Luna! Aunque haya estado tan cerca de la Tierra, este asteroide no constituía ningún peligro; es más, representaba una ocasión inmejorable para que los astrónomos avanzaran en el estudio de tales objetos.

Los encuentros tan cercanos con cuerpos de este tipo sólo ocurren cada 50 años aproximadamente, por lo que no se podía desaprovechar la oportunidad. En los Observatorios del Teide y del Roque de Los Muchachos, del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), se adaptaron varios telesco-

pios para realizar un seguimiento del asteroide, con el fin de conseguir más información sobre él: tamaño, composición, período de rotación y forma. El objetivo no era fácil: la elevada velocidad del asteroide (18 km/s) implicaba dificultades técnicas para la toma de imágenes.

El objeto 2002 NY40, descubierto en 2002, forma parte de un pequeño grupo conocido como «Asteroides Cercanos a la Tierra». Con cierta frecuencia, estos objetos se acercan o cruzan la órbita terrestre, como se cree que hizo el asteroide que acabó con los dinosaurios hace 65 millones de años.

Aunque la probabilidad de que estos asteroides colisionen con nuestro planeta es muy baja, un suceso de este tipo no se puede

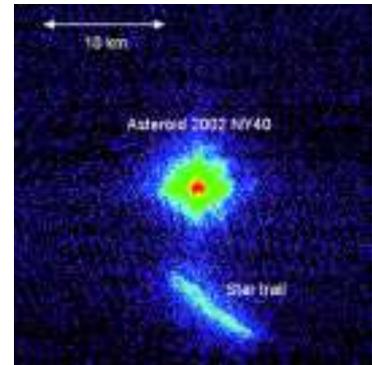
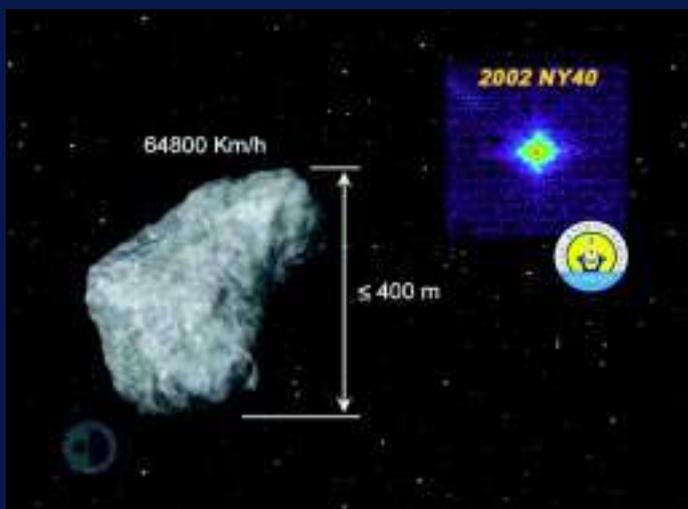


Imagen en la banda H (1,63 micras) del asteroide 2002 NY40 tomada la noche del 17 de agosto de 2002. © The ING NAOMI team.

ESTE ASTEROIDE HA SIDO OBSERVADO CON TELESCOPIOS DE CANARIAS. SEGÚN ESTAS OBSERVACIONES, EL ASTEROIDE MIDE UNOS 400 M DE LONGITUD COMO MÁXIMO.

SÓLO UNA VEZ CADA 50 AÑOS SE PRODUCEN ENCUENTROS TAN CERCANOS CON ESTOS OBJETOS.

ESTE OBJETO HA SIDO OBSERVADO CON ÓPTICA ADAPTATIVA, SIENDO LA PRIMERA VEZ QUE SE TOMAN IMÁGENES DE UN ASTEROIDE CERCANO A LA TIERRA CON ESTA NOVEDOSA TÉCNICA.



Composición: Gabriel Pérez (SMM/IAC)



2002 NY40:
El asteroide que pasó de largo.
Composición:
Gabriel Pérez (SMM/IAC)

descartar completamente; de hecho, en la Tierra existen huellas de impactos. Éste es uno de los motivos por los que en el IAC se lleva a cabo desde 1998 el «Proyecto de búsqueda y caracterización física de NEOs (*Near Earth Objects* u *Objetos Cercanos a la Tierra*)». Una vez localizados los asteroides, los investigadores realizan un seguimiento que les permite calcular su órbita y predecir sus futuras apariciones.

Observatorio del Teide

Para la Observación del asteroide 2002 NY40, en el Observatorio del Teide (Tenerife) se utilizó el telescopio de la OGS (*Optical Ground Station*) –de 1m de diámetro- para observar al asteroide durante más de 20 horas, repartidas a lo largo de los tres días de máximo acercamiento. En la madrugada del 17 al 18 de agosto, el asteroide alcanzaba el punto de mayor proximidad a nuestro planeta y al telescopio de la OGS se unieron dos telescopios en su seguimiento. Cada uno de ellos perseguía un fin distinto: en la OGS se tomaron imágenes que servirán para determinar el periodo de rotación del asteroide; el «Telescopio Carlos Sánchez» -de 1,5 m de diámetro- observó al asteroide y realizó fotometría infrarroja, que ha revelado información sobre su superficie y composición. Por último, con el nuevo telescopio «Stare» –de 30 cm- se

estudiaron las variaciones de luminosidad.

Observatorio del Roque de Los Muchachos

En el Observatorio del Roque de Los Muchachos (La Palma) se utilizó el Telescopio «William Herschel» –de 4,2 m de diámetro-, perteneciente al Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING). En la noche del 17 de agosto, este telescopio tomaba imágenes infrarrojas del asteroide usando un sistema de Óptica Adaptiva (NAOMI). Esta técnica permite, mediante el uso de óptica deformable, corregir gran parte de los defectos introducidos por la atmósfera terrestre en las imágenes. La diferencia que introduce es comparable a la que existe entre mirar un objeto situado en el fondo de una piscina con agua o sin agua.

Se trataba de la primera ocasión en que un Asteroide Cercano a la Tierra se observaba con este sistema, que con buenas condiciones permite tomar imágenes tan precisas como las que se obtienen con el Telescopio Espacial «Hubble». El telescopio pudo obtener imágenes de una calidad muy alta -con una resolución de 0,11 segundos de arco- que han permitido establecer la longitud máxima del asteroide en 400 m.

Más información:

<http://www.ing.iac.es/PR/press/ing32002.html>

<http://www.iac.es/general/NEO/index2.html>



MÁS CERCA DEL SOL

Las imágenes más precisas del Sol obtenidas hasta el momento se presentaron en noviembre en la revista *Nature*. En ellas se observan nuevos detalles de las manchas solares, que ayudarán a despejar muchos de los interrogantes que aún existen sobre la actividad solar. Los resultados desvelan un núcleo oscuro en las estructuras filamentosas que rodean las manchas, desconocido hasta ahora. Por el momento los científicos ignoran cuál es su naturaleza.

El descubrimiento fue realizado con el Telescopio Solar Sueco, de 1 metro de diámetro, operado por el Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias Sueca. Este instrumento está instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), que constituye uno de los mejores emplazamientos del mundo para la observación solar.

Este telescopio ha conseguido observar estructuras de

tan sólo 70 km de tamaño en la superficie del Sol, con un detalle 1.200 veces superior al que puede obtener nuestra vista. Los resultados lo confirman como el telescopio solar de mayor resolución del mundo y hacen prever que estamos ante una revolución en astrofísica solar.

El misterio de las manchas solares

Las manchas solares son regiones oscuras del Sol, a temperaturas más frías que las de su entorno. Este fenómeno se debe a fuertes campos magnéticos que bloquean en estas zonas el paso del gas caliente que proviene de su interior. Sin embargo, tras décadas de estudio, aún se desconoce cómo se forman estas manchas o las causas de que sean estables durante semanas.

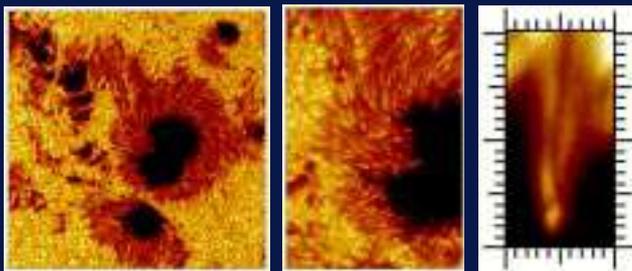
Tampoco se sabe por qué alcanzan un máximo de intensidad cada once años, lo que se denomina «ciclo solar». Hasta ahora se sabía que las manchas tenían una región central muy fría y oscura, conoci-



Imagen del disco solar obtenida con el Telescopio Solar Sueco.

OBTENIDAS IMÁGENES DE LAS ESTRUCTURAS DEL SOL MÁS PEQUEÑAS VISTAS HASTA EL MOMENTO, QUE AYUDARÁN A RESOLVER EL MISTERIO DE LAS MANCHAS SOLARES.

LA REVISTA *NATURE* PUBLICÓ EN NOVIEMBRE ESTOS RESULTADOS, CONSEGUIDOS CON EL NUEVO TELESCOPIO SOLAR SUECO, DE 1 METRO DE DIÁMETRO E INSTALADO EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS.



Imágenes de manchas solares obtenidas con el Telescopio Solar Sueco.



KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

Telescopio Solar Sueco, de 1m de diámetro, de la Real Academia de Ciencias sueca e instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

Más información e imágenes:
<http://www.solarphysics.kva.se/>

da como «umbra», rodeada de otra más brillante en constante movimiento, la «penumbra». Sin embargo, los telescopios solares no habían conseguido observar con detalle la penumbra debido a que no tenían la resolución suficiente. El nuevo Telescopio Solar Sueco sí que ha conseguido imágenes en las que se ve claramente la estructura que posee, consistente en una serie de filamentos muy alargados y finos con un núcleo oscuro en su interior.

Estas imágenes podrían ayudar a resolver el enigma que hay detrás de la existencia de las manchas solares y a esclarecer la relación entre la penumbra y la estabilidad de estas manchas.

La importancia de lo pequeño

Durante años, el sueño largamente anhelado de los astrofísicos solares ha sido obtener imágenes de las estructuras más pequeñas del Sol. El telescopio Solar Sueco ha sido el primero en conseguirlo, pudiendo "fotografiar" estructuras de un tamaño de tan sólo 70 km (ó 0,1 segundos de arco). Se cree que en esta escala es en la que se producen los procesos físicos fundamentales de los que dependen los cambios de la actividad solar.

Los nuevos conocimientos que se obtengan tendrán una gran importancia práctica, puesto que los cambios en el Sol influyen en el funcionamiento de las telecomunicaciones y satélites. Además, se piensa que también podrían repercutir en el clima terrestre. Por otro lado, el Sol es el único lugar don-

de se pueden poner a prueba ciertas teorías físicas, debido a que las condiciones extremas que se dan en él son imposibles de reproducir en un laboratorio de la Tierra.

El Telescopio Solar Sueco

El nuevo Telescopio Solar Sueco fue inaugurado en marzo de 2002. Ha sido diseñado y construido para convertirse en el telescopio solar con mayor resolución del mundo. Este objetivo sólo era posible consiguiendo minimizar la aberración que la atmósfera terrestre introduce en las imágenes de todos los objetos estelares. Para ello cuenta con un sofisticado sistema conocido como "óptica adaptativa" y una técnica de "restauración" de imágenes.

La óptica adaptativa es una técnica que evita la aberración de las imágenes compensando la turbulencia atmosférica. Para ello, el telescopio cuenta con un espejo "adaptativo", ligero y de pequeño tamaño, que se deforma más de 1.000 veces por segundo. Por otro lado, la "restauración" de las imágenes se hace eliminando errores de ellas, una vez se han obtenido con un dispositivo electrónico.

Además, este telescopio está situado en el que se considera el mejor emplazamiento para el estudio del Sol, el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), donde el "seeing" (las condiciones de visibilidad) son óptimas. Por último cuenta con una lente de un gran diámetro (de 1 m), lo que le convierte en el mayor telescopio solar europeo y el segundo en el mundo.



ORIGEN DE LOS AGUJEROS NEGROS

Durante décadas, los científicos habían especulado sobre el origen de los agujeros negros, pero sólo recientemente se ha podido resolver esta cuestión. Primero lo consiguió un equipo de investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), en 1999. Tres años después, sus resultados han sido confirmados por un estudio independiente realizado a partir de observaciones con el telescopio espacial Hubble. Además, ambos trabajos han utilizado métodos diferentes, con lo que se ha obtenido información adicional y complementaria sobre los agujeros negros. Para ello se ha observado un agujero negro, GRO J1655-40, junto a una estrella que le acompaña y con la que forma un sistema binario. Ambos se encuentran en nuestras

cercanías, a tan "sólo" unos 8.000 años luz.

De "supernova" a agujero negro

Según este descubrimiento, algunos agujeros negros "nacen" en el último instante de la vida de una estrella. Esto ocurre en el caso de las estrellas muy masivas, que acaban sus días en una grandiosa explosión, conocida como "supernova". En ella arrojan al espacio interestelar gran parte de su masa, mientras su "cadáver" se contrae por la acción de la gravedad. Si este núcleo es lo suficientemente masivo, la gravedad hará que colapse sobre sí mismo hasta convertirlo en un objeto extremadamente denso y compacto: un agujero negro.



Simulación de la explosión como hipernova de la estrella principal en un sistema binario. Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

**CONFIRMADO
EXPERIMENTALMENTE
QUE ALGUNOS
AGUJEROS NEGROS SE
PRODUCEN EN
GIGANTESCAS
EXPLOSIONES DE
ESTRELLAS MUY
MASIVAS.**

EL DESCUBRIMIENTO, REALIZADO POR INVESTIGADORES DEL IAC EN 1999, HA SIDO CONFIRMADO AHORA POR UN ESTUDIO INDEPENDIENTE REALIZADO CON EL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE Y PUBLICADO EN NOVIEMBRE POR LA REVISTA *ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS*.



*Impresión artística que muestra un agujero negro y su compañera.
© ESA/NASA y Félix Mirabel.*



Simulación de un agujero negro en un sistema binario. Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

Primera evidencia

El descubrimiento lo realizaron investigadores del IAC, usando el telescopio Keck (situado en Hawái). Dada la "invisibilidad" de los agujeros negros, los astrofísicos observaron a la estrella compañera, buscando en su superficie restos de la explosión. Y los encontraron: el magnesio, el silicio y el azufre son elementos que sólo se producen en estrellas supermasivas, que únicamente pueden contaminar con ellos una estrella compañera cuando mueren en explosiones como supernovas. Por ello, un exceso en la cantidad de estos elementos revelaba el origen del agujero negro. Los resultados de este proyecto fueron publicados en la revista *Nature*.

Confirmación con el Hubble

Tres años después ha llegado la confirmación de estos resultados. Con el telescopio espacial Hubble, se han seguido los movimientos del sistema formado por el agujero negro y la estrella, con imágenes tomadas en 1995 y en el 2001. De este modo se ha determinado que el agujero negro está viajando por el plano de nuestra galaxia a una velocidad de unos 400.000 km/h, cuatro veces más rápido que las estrellas de su alrededor. La explicación de la velocidad y trayectoria de este sistema sólo parece posible si este sistema recibió un "empujón" provocado por una gran explosión. El estudio, publicado en noviembre en la revista *Astronomy & Astrophysics*,

en su versión electrónica, ha sido realizado por investigadores de un equipo internacional, liderado por Félix Mirabel, de la Comisión Francesa de Energía Atómica y del Instituto de Física Espacial y de Astronomía de Argentina.

Un sistema binario

En su viaje por nuestra galaxia, GRO J1655-40 está siempre acompañado de una pequeña estrella, que "actuó como testigo del fenómeno y afortunadamente quedó ligada gravitatoriamente al agujero negro", comenta Garik Israelian, uno de los investigadores del IAC que realizaron el descubrimiento en 1999. Gracias a ella, se ha podido determinar el origen de su compañero.

Esta estrella actualmente orbita en torno al agujero negro, como lo hiciera antes alrededor de la estrella masiva que lo originó. Sin embargo, probablemente acabe sus días "engullida" por él, ya que el agujero negro le va "robando" poco a poco parte de su masa.

Artículos:

"Evidence of a Supernova Origin for the Black Hole in GRO J1655-40", *Nature* (08/09/1999). Autores: Garik ISRAELIAN, Rafael REBOLO, Gibor BASRI, Jorge CASARES, Eduardo L. MARTÍN.

"The runaway black hole GRO J1655-40", *Astronomy and Astrophysics* (19/11/2002). Autores: Félix MIRABEL, R. MIGNANI, I. RODRIGUES, J.A. COMBI, L. F. RODRÍGUEZ, F. GUGLIELMETTI.

Más información:
<http://sci.esa.int/hubble/news/index.cfm?oid=30955>
<http://oposite.stsci.edu/pubinfo/PR/2002/30/index.html>



UN «SATURNO» A CASI 600 AÑOS LUZ

Desde la antigüedad, la Humanidad se ha preguntado si existían otros mundos. Hace unos años se confirmó que era así, pero aún no se ha conseguido descubrir ningún planeta como el nuestro. Sin embargo, el desarrollo de nuevos instrumentos nos acercan cada vez un poco más a esta meta. SARG es uno de estos instrumentos (conocidos como “espectrógrafos”), que ha sido construido para el Telescopio Nacional Galileo (TNG), en el Observatorio del Roque de Los Muchachos (La Palma) del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Se trata de uno de los espectrógrafos más precisos del mundo, con el que los investigadores italianos ya han detectado su primer “candidato” a planeta extrasolar.

Primer descubrimiento

El equipo de investigadores italianos del SARG, liderado por Raffaele Gratton, ha anunciado que ya han localizado su primer candidato a planeta extrasolar. El objeto, a unos 580 años, luz de distancia, gira en torno a una estrella conocida como HD219542B, al igual que nosotros lo hacemos alrededor del Sol. Probablemente sea similar a los planetas exteriores del Sistema Solar, con un núcleo sólido envuelto por una profunda atmósfera gaseosa. Este planeta tiene una masa similar a la de Saturno,

aunque “orbita a una distancia intermedia entre la que separa Mercurio y Venus del Sol”, explica Rosario Cosentino, uno de los descubridores.

Según Francesco Marzari, un especialista en formación planetaria, la importancia de este descubrimiento radica en que “se trata de un planeta comparativamente pequeño respecto a los observados hasta ahora”. Además, los astrofísicos del TNG creen que se trata sólo del primero de una larga lista de los que presumiblemente se podrán encontrar con SARG. Para confirmar más allá de toda duda que se trata de un planeta extrasolar harán falta más observaciones que se podrán realizar el año que viene, cuando la estrella sea observable de nuevo. A pesar de ello, Cosentino afirma que “con los datos que tenemos la probabilidad es del 99%”.

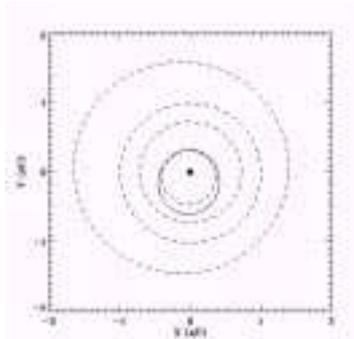
El proyecto SARG

Este descubrimiento está enmarcado en el proyecto italiano SARG de búsqueda de planetas extrasolares, que comenzó hace dos años. En este tiempo, los astrónomos italianos han observado con el TNG más de 100 estrellas, tratando de localizar esta clase de objetos. Para detectarlos, utilizan a SARG para analizar la luz de las estrellas, lo que les permite



UN NUEVO INSTRUMENTO ITALIANO, SARG, INSTALADO EN EL TELESCOPIO NACIONAL “GALILEO”, EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS, ESTÁ ENTRE LOS MEJORES DEL MUNDO PARA LA BÚSQUEDA DE PLANETAS PEQUEÑOS Y LEJANOS.

LOS INVESTIGADORES YA HAN HECHO SU PRIMER DESCUBRIMIENTO CON ESTE INSTRUMENTO: UN CANDIDATO A PLANETA EXTRASOLAR DE LA MASA DE SATURNO.

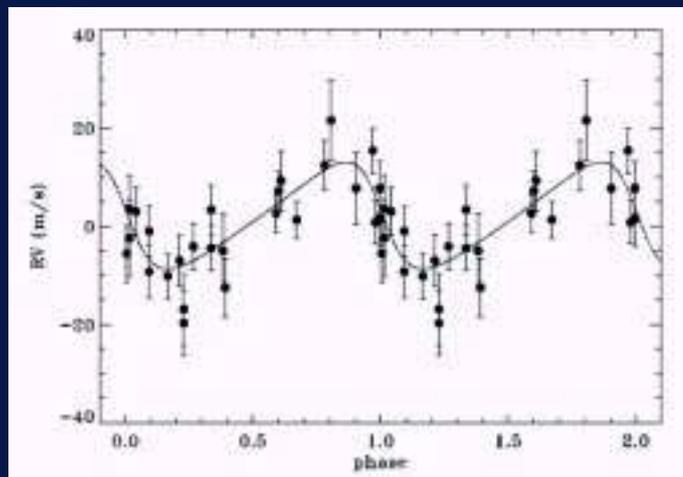


Órbita del planeta comparada con la de los planetas internos del Sistema Solar. El período estimado es de 111 días.

obtener información sobre su composición química y velocidad. Conocer la composición les ayuda a seleccionar las “candidatas” a tener planetas, puesto que se cree que los “ingredientes” de una estrella que forma parte de un sistema planetario son distintos a los de una estrella solitaria. La velocidad es la información que puede confirmar la existencia del planeta, ya que éste provoca pequeños cambios en el movimiento de la estrella. Por ejemplo, Saturno causa cambios de 2.7 m/s en la velocidad radial del Sol. Para realizar las medidas de estas diferencias tan pequeñas en objetos muy lejanos se necesita que el espectrógrafo con

el que se mide la luz sea muy preciso. SARG, construido por los Observatorios Astronómicos de Padua, Catania, Palermo y Trieste, es uno de los instrumentos de este tipo más precisos del mundo.

El hallazgo de planetas extrasolares nos ayuda a comprender mejor nuestro propio Sistema Solar, ya que aporta nuevos datos sobre cómo se puede producir la formación de planetas. Hasta ahora, en muchas ocasiones se han encontrado características de los objetos descubiertos que han llevado a los científicos a modificar los modelos teóricos que explican la formación de planetas.

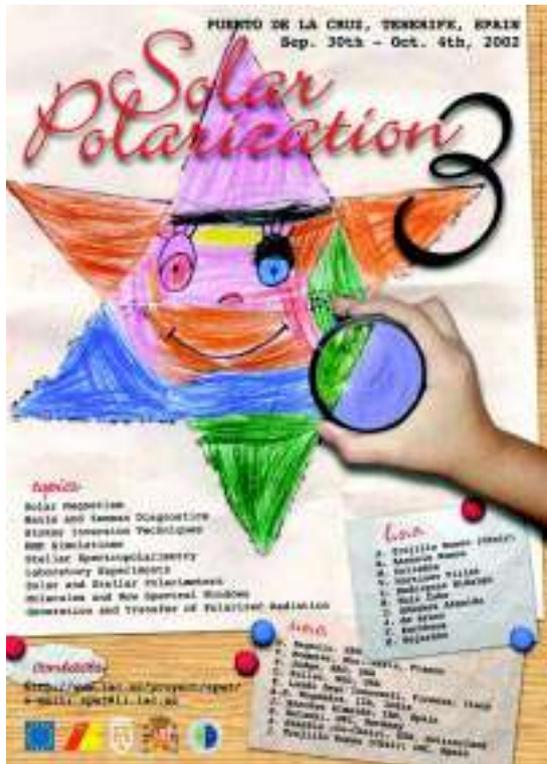


Curva de la velocidad radial de HD219542B.

Más información:
<http://www.tmg.iac.es>



Participantes en el Third International Workshop on «Solar Polarization». Foto: Luis Cuesta (IAC).



III Congreso internacional sobre "Polarización solar"

Diseño: Gabriel Pérez (SMM/IAC) y Jorge Sánchez Almeida (IAC).

Centro de Congresos del Puerto de la Cruz (Tenerife). 30/09/02 - 04/10/02

El III Congreso Internacional sobre Polarización Solar, organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), se celebró en el Centro de Congresos del Puerto de la Cruz, del 30 de septiembre al 4 de octubre de 2002. En este congreso se trataron los últimos avances en el campo del magnetismo solar y estelar, que han sido numerosos desde que se realizó la anterior edición en Bangalore (India), en 1998. Los participantes visitaron el Observatorio del Teide, donde pudieron ver en "acción" el polarímetro infrarrojo construido en el IAC y los telescopios solares VTT y THÉMIS.

MAGNETISMO SOLAR Y ESTRELLAS MAGNÉTICAS

Los campos magnéticos se consideran de gran relevancia en Astrofísica, pero es sobre todo en nuestra estrella más cercana, el Sol, donde pueden estudiarse en detalle sus variopintos efectos. Son los responsables de toda la variabilidad y actividad que observamos en el Sol, la cual influye sobre la heliosfera y sobre el "clima" espacial en el entorno inmediato a la Tierra. Poder predecir este clima resulta cada vez más necesario, ya que los eventos explosivos que tienen lugar en la atmósfera solar pueden afectar a las comunicaciones y poner en peligro costosas misiones espaciales. Además, entender mejor el Sol nos permite intuir cómo pueden ser los efectos de la actividad magnética en otras estrellas, que se encuentran demasiado alejadas de nosotros como para que podamos estudiarlas con tanto detalle. De este modo, el Sol nos proporciona un laboratorio de Física único en el cosmos, según los investigadores del IAC Javier Trujillo Bueno y Jorge Sánchez Almeida, editores del libro que se publicará con las versiones escritas de las ponencias del congreso.



Imagen de la corona solar tomada por el satélite TRACE.

El Sol es un sistema astrofísico mucho más complejo y enigmático de lo que aparenta a simple vista. En su atmósfera ocurren todo tipo de espectaculares fenómenos, como tormentas magnéticas, gigantescas erupciones de masa coronal o una danza cíclica de manchas solares. Se sabe que estos procesos son debidos a los campos magnéticos que genera el Sol, pero aún quedan muchas cuestiones abiertas sobre los mecanismos concretos que los producen. Para resolver estos interrogantes existe un área de la Astrofísica conocida como "Espectropolarimetría". Esta disciplina estudia los campos magnéticos del Sol y de otros objetos astrofísicos a través de una propiedad de la luz llamada "polarización".

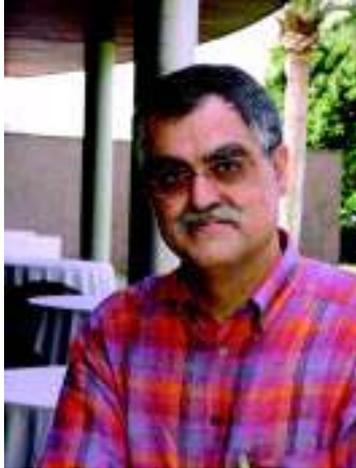
Para estudiar los campos magnéticos, los astrofísicos buscan su 'firma' en la luz polarizada que nos llega de los diversos objetos del Universo (el Sol, otras estrellas, galaxias, torbellinos de materia magnetizada en torno a agujeros negros, el fondo cósmico de microondas, etc.). Una onda de luz polarizada vibra preferentemente a lo largo de una dirección en un plano, como el que define una hoja de papel, mientras que una de luz no polarizada vibra en muchas direcciones de forma caótica. Por ejemplo, si hacemos pasar luz linealmente polarizada en dirección horizontal por un filtro con rendijas verticales, veremos cómo la luz desaparece. Con unos instrumentos llamados "polarímetros" se puede medir el grado de polarización de la luz para cada longitud de onda y deducir la dirección e intensidad del campo magnético después de comparar con los resultados de costosas simulaciones numéricas basadas en la teoría sobre la generación y transporte de luz polarizada.

En este III Congreso de Polarización Solar se trataron temas como el desarrollo de nuevas técnicas para la investigación de los campos magnéticos, el magnetismo en la fotosfera, cromosfera y en la corona, la aplicación de la espectropolarimetría en los grandes telescopios actuales construidos para la observación nocturna, etc. También se mostraron las primeras observaciones polarimétricas realizadas con el telescopio VLT, del *European Southern Observatory* (ESO), y "las increíbles imágenes obtenidas con el nuevo telescopio solar sueco, instalado en el Observatorio del Roque de Los Muchachos (La Palma), que tienen una resolución espacial jamás antes alcanzada", explica Trujillo Bueno. Asimismo, se presentaron los planes de las agencias espaciales europeas y estado-unidenses para futuros telescopios solares en el espacio y se discutió sobre el "Telescopio Solar de Tecnología Avanzada" (ATST), un proyecto estado-unidense de un nuevo telescopio solar de 4 metros de diámetro que podría ser instalado en Canarias, ya que el Observatorio del Roque de los Muchachos es uno de los candidatos (junto con otros en EE.UU. y México) para su instalación dentro de 10 años.

ENTIDADES PATROCINADORAS:
IAC, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno de Canarias, Cabildo Insular de Tenerife, Universidad de La Laguna, Iberia, Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, DISA Corporación Petrolífera y Fundación LoroParque

Más información:
<http://www.iac.es/proyecto/spw3/>

Documentación y entrevistas realizadas por Sara Gil y Carmen del Puerto. Fotos: Luis Cuesta (IAC).



JAVIER TRUJILLO BUENO
Científico Titular del CSIC,
investigador del IAC y
organizador del Congreso

El tercer congreso internacional sobre polarización solar celebrado en Tenerife en octubre de 2002 ha marcado un hito en la historia de esta serie de congresos, pues ha logrado atraer el interés de muchos y reconocidos científicos de diversas especialidades, lo que seguro dará lugar a nuevos avances y descubrimientos en física solar y estelar. El magnetismo solar y la espectropolarimetría son dos líneas de investigación íntimamente relacionadas que están teniendo actualmente un impacto creciente en otros campos de la astrofísica, como lo demuestra el contenido del libro titulado *Astrophysical Spectropolarimetry*, resultado de la duodécima escuela de invierno sobre astrofísica organizada por el IAC en el año 2000. Por este motivo, una de las sesiones del congreso fue dedicada exclusivamente al campo de la espectropolarimetría estelar, donde se presentaron proyectos instrumentales, como un ingenioso polarímetro para el Telescopio Nazionale Galileo, del Observatorio del Roque de los Muchachos, y novedosas observaciones

polarimétricas realizadas con el Very Large Telescope (VLT), de la ESO en Chile.

Investigar el magnetismo solar es la clave para lograr descifrar el complejo comportamiento de la heliosfera, en la cual se encuentra embebido nuestro planeta. La polarización de la luz nos proporciona la fuente más fiable de información para investigar empíricamente la intensidad y geometría de los campos magnéticos en multitud de sistemas astrofísicos, incluido el Sol. Esto requiere el desarrollo de sofisticados polarímetros, para telescopios terrestres y espaciales, capaces de detectar y cuantificar con precisión las débiles señales de polarización que varios mecanismos físicos introducen en las líneas espectrales. Los más importantes son el efecto Zeeman, los procesos de dispersión y el efecto Hanle. Gracias a los efectos de estos mecanismos es posible, en principio, obtener información sobre los campos magnéticos estelares en un rango de intensidades que va desde sólo una milésima de gauss hasta muchos miles de gauss. Para tal fin, es crucial lograr interpretar correctamente las observaciones espectropolarimétricas, lo que requiere, en muchos casos, tener que realizar costosas simulaciones numéricas del proceso de generación y transporte de luz polarizada en plasmas magnetizados. Esta física es necesaria para poder aspirar a entender el origen y los mecanismos del magnetismo en astrofísica. En el caso concreto del Sol es, además, crucial porque el clima terrestre y el del espacio que rodea a la Tierra está modulado y se ve en ocasiones seriamente afectado por la propia actividad magnética del Sol.

Desde el origen de esta serie de congresos, que se remonta al año 1995 en San Petersburgo, han

tenido lugar una serie de avances espectaculares en espectropolarimetría observacional y teórica, así como en el campo de las simulaciones numéricas de los mecanismos físicos que inducen y modifican las señales de polarización en las atmósferas estelares. Estos logros, unidos a los conseguidos recientemente en el campo teórico de la magnetohidrodinámica y en el mundo instrumental y tecnológico, nos han llevado a organizar este tercer congreso internacional sobre polarización solar con la convicción de que la medida e interpretación física rigurosa de la polarización de la luz es la clave para conseguir nuevos y revolucionarios avances en Astrofísica. La edición del libro correspondiente está siendo preparada por Jorge Sánchez Almeida y Javier Trujillo Bueno, para su publicación este año 2003 en *The Astronomical Society of the Pacific Conference Series*.

Deseamos mencionar también que este congreso ha sido posible gracias a la ayuda de las siguientes entidades patrocinadoras: IAC, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno de Canarias, Cabildo Insular de Tenerife, Universidad de La Laguna, Iberia, Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, DISA, y Fundación Loro Parque. Asimismo, la profesionalidad de las personas de todas las áreas del IAC involucradas fue insuperable. Deseamos, por tanto, transmitir nuestro agradecimiento al Área de Investigación con su extraordinario "JET team" (Judith, Eva y Tania), y a los compañeros/as de los Servicios Informáticos Comunes, del Servicio Multimedia, del Gabinete de Dirección, del Observatorio del Teide, de Mantenimiento, de la Administración del IAC y de la OTRL, ya que todos trabajaron con dedicación y entusiasmo para que las cosas terminaran saliendo bien.



JAN OLOF STENFLO
Instituto de Astronomía ETH
(Suiza)

Usted y sus colaboradores han desarrollado novedosos polarímetros para observar el espectro linealmente polarizado del Sol con una sensibilidad sin precedentes. ¿Cuáles son las diferencias entre este segundo espectro solar y el de Fraunhofer que se conocía hasta entonces?

“El segundo espectro estelar se origina debido a procesos de dispersión de la luz en el Sol. Este fenómeno es similar al que se produce en el cielo azul, que está polarizado debido a la dispersión de la luz. La luz del Sol puede polarizarse por diferentes razones: por la presencia de un campo magnético que da lugar al efecto Zeeman, y por procesos de dispersión, incluso si no hay campos magnéticos. Lo que actualmente se conoce como segundo espectro solar es el espectro linealmente polarizado, que se debe enteramente a procesos de dispersión.”

••• ¿Cuáles son las anomalías, sorpresas y enigmas a los que se refería en su ponencia?
“Hay muchos casos. Siempre que miras al Sol o a otro objeto

astronómico con nuevos instrumentos puedes ver cosas que no veías hasta entonces. Te encuentras con que a ese nivel de sensibilidad se abre un nuevo mundo, con estructuras que no conocías y cuya existencia no habías predicho. Después tienes que tratar de identificar cuales son estas estructuras y muchas de ellas no las puedes entender inmediatamente. Es más, algunas no tendrían que estar ahí, hay algunas anomalías a las que tratas de aplicar la mecánica cuántica y te encuentras con un «oh, no, esto parece que va en contra de las reglas de la mecánica cuántica». Por ejemplo, hay un caso que ha sido discutido durante años, el de las líneas del sodio, la D1 y la D2, que se encuentran en la parte amarilla del espectro. Hay muchas propuestas que probablemente van bien encaminadas, pero éste es uno de los misterios. Otro misterio es por qué las líneas moleculares del espectro solar están polarizadas con una amplitud que no parece cambiar con el ciclo de la actividad magnética del Sol. Éste es uno de los enigmas que parece haberse aclarado en este congreso.”

••• ¿Cuál es el interés del segundo espectro solar para el magnetismo solar y estelar?

“Para estudiar y entender el magnetismo necesitas observar la polarización, pues no hay otro modo fiable de obtener información sobre los campos magnéticos. Toda la información que nos llega del Sol proviene de su luz, codificada en la polarización, así que tenemos que decodificarla. En el pasado, nadie conocía algunos tipos de mecanismos, como el efecto Zeeman, que se puede usar para estudiar el campo magnético de las estrellas. Además, ahora también tenemos otros efectos que generan polarización en las líneas espectrales y que también implican la existencia de un campo magnético y se usan cada vez más. Este Congreso trata de poner orden en todo ello y mejorar las técnicas que utilizan estos fenómenos para estudiar el magnetismo.”

••• ¿Por qué es interesante investigar sobre magnetismo solar y espectropolarimetría?

“Toda la actividad del Sol es causada por los campos magnéticos, tanto las manchas solares como las erupciones de masa coronal, las bandas de actividad de once años, etc. Esta actividad es semejante a la que se produce en otras estrellas, a diferentes escalas. Todo ello es debido a la presencia de campos magnéticos que interactúan con el plasma. Así pues, el campo magnético es el ingrediente básico, el agente que causa toda la actividad. Sin campo magnético, el Sol sería una estrella muy aburrida.”

••• ¿Deberíamos de esperar un impacto significativo del campo de la polarización solar en otros campos de la Astrofísica?

“En el caso del Sol tenemos un objeto astrofísico fantástico, que está muy cercano a nosotros. Debido a esta proximidad podemos ver detalles que son imposibles de observar en las otras estrellas. Tenemos relativamente poca información sobre estos astros, puesto que están muy lejos de la Tierra. En el caso del Sol contamos con un laboratorio de física, donde podemos aprender sobre la física que se debe aplicar a las estrellas. Ése es uno de los objetivos principales.”

***“El campo magnético es el ingrediente básico,
el agente que causa toda la actividad.
Sin campo magnético,
el Sol sería una estrella muy aburrida”***



ALAN TITLE
Lockheed Martin Solar &
Astrophysics Lab.
(Estados Unidos)

Para estudiar las propiedades de los campos magnéticos solares ¿qué es mejor: los telescopios terrestres o los espaciales?

“Ésa es una pregunta difícil de responder. Creo que lo que hemos aprendido en la última década es que para entender el campo magnético solar tenemos que usar toda la información que podamos conseguir. El campo magnético se crea en el interior del Sol, y emerge hacia las capas externas, para finalmente ser detectado en la Tierra, por lo que no podemos estudiarlo sólo en un punto. Podemos decir que ha sido una revolución en Física Solar el disponer de todo un conjunto de instrumentos que nos permiten medir tanto el campo magnético en el interior (a través de la Heliosismología), como en la superficie y en la atmósfera externa. Sin todas estas piezas no

podríamos hacer todo el trabajo, por lo que no son mejores ni los telescopios espaciales ni los terrestres, los necesitamos a ambos para conectar toda la información.”

••• En su opinión, ¿cuál es el futuro del Observatorio del Roque de Los Muchachos como emplazamiento para instalaciones telescópicas solares?
“Bien, soy una persona muy imparcial en esto. Creo que el Observatorio de la Palma es con diferencia el mejor que hay en el mundo. Por ejemplo, los resultados que se han conseguido recientemente al disponer de un telescopio de 1 metro son sencillamente asombrosos, y han cambiado completamente nuestro entendimiento de cómo la energía llega a la atmósfera externa no sólo en el Sol, sino también en las otras estrellas. Mi esperanza es que el ATST (*Advanced Technology Solar Telescope*) sea instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Si fuera así, tendríamos por delante décadas de investigación puntera en este Observatorio, porque es el mejor emplazamiento del mundo.”

••• Usted ha dedicado una gran parte de su carrera a mejorar la resolución angular de las observaciones solares. ¿Por qué es esto tan importante?

“Lo que hemos averiguado es que el campo magnético surge en todas las escalas convectivas, de modo que en un sistema estelar la convección y el campo magnético están misteriosamente relacionados, y lo que es interesante es por qué esto es tan importante. La razón es que la atmósfera de las estrellas, de los sistemas estelares y de las galaxias, presentan un extraño fenómeno: las partes más externas de la atmósfera están mucho más calientes que las más internas. En el caso del Sol lo llamamos ‘el problema del calentamiento de la corona’, aunque en realidad se trata de un aumento de temperaturas en toda la atmósfera externa. Para entender cuál es el mecanismo físico que hay detrás de este fenómeno es muy importante realizar observaciones. Actualmente está bastante generalizado suponer que este efecto está relacionado con los campos magnéticos. Lo que estamos empezando a entender ahora es que el campo magnético que emerge en escalas muy pequeñas está relacionado con el de las grandes escalas, creándose lo que se conoce como una «cascada invertida». Hay casos en la Tierra donde esto también ocurre. Por ejemplo, en las corrientes en el océano, donde el viento dominante sopla en contra del continente, la forma de éste hace que las turbulencias de pequeña escala del viento generen un flujo organizado a gran escala. Algo parecido es lo que ocurre en el Sol, y sólo en la actualidad estamos comenzando a entender este tipo de procesos. Comprender cuánta energía está implicada en las escalas pequeñas es crítico para entender cuánta energía hay en las grandes.”

••• ¿Cuál es la estructura más pequeña que somos capaces de ver actualmente en el Sol y cuáles son las más pequeñas que será posible ver?
“Con el nuevo telescopio estamos viendo ahora estructuras del orden de una décima de arco, es decir, aproximadamente unos 70 km. Con el telescopio Gregor, que será instalado en 2 ó 3 años en Tenerife, probablemente llegaremos a los 40 ó 50 km.”

“Mi esperanza es que el ATST sea instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. Si fuera así, tendríamos por delante décadas de investigación puntera en este Observatorio, porque es el mejor emplazamiento del mundo.”



SHADIA RIFAI HABBAL
Universidad de Gales
(Reino Unido)

El viento solar, ¿qué es? “El viento solar es el flujo de partículas que escapa del Sol y está presente en todo el espacio interplanetario. En su mayoría se trata de electrones, protones y trazas de todos los elementos presentes en la naturaleza.”

••• ¿Qué importancia tiene el viento solar para nosotros?
“El viento solar influye en la forma de la capa magnética que envuelve a la Tierra, ya que nuestro planeta tiene su propio campo magnético. Esta envoltura se ve afectada por la velocidad del viento solar, que es variable, y de los violentos fenómenos que ocurren en el Sol. Además, también entran en la atmósfera de la Tierra electrones procedentes del viento solar que son responsables de fenómenos como el de las auroras boreales.”

••• ¿Cuál es el origen del viento solar?
“Durante mucho tiempo se ha creído que el viento solar se originaba en las regiones polares del Sol, pero ahora tenemos evidencias de que se produce en toda su superficie y no sólo en ciertas regiones.”

••• ¿Por qué es la polarización de la luz importante para el estudio del Sol?
“Algunas medidas de la polarización nos informan sobre la densidad de electrones, es decir, el número de partículas que tenemos. Otras medidas nos indican también la dirección de los campos magnéticos. En ocasiones también sirven para calcular la intensidad de estos campos.”

••• ¿Por qué no podemos medir directamente el campo magnético de la corona?
“No hay medidas directas del campo magnético de la corona debido a sus altas temperaturas. Por ejemplo, en la superficie solar sí que tienes medidas ya que las temperaturas son bajas, pero según vas hacia la corona van aumentando más y más. Las líneas del espectro son muy anchas, de modo que el efecto Zeeman es muy pequeño y no puedes realmente ver nada.”

••• Usted es editora de una importante revista técnica, *JGR-Space Physics*. ¿Cómo contribuyen estas publicaciones al desarrollo científico?
“Estas revistas son el medio a través del cual la comunidad científica intercambia ideas. Esta revista en concreto está especializada en Física espacial, comprendiendo tanto Física solar como la del espacio interplanetario, o la atmósfera terrestre, por lo que podemos decir que abarca todo el Sistema Solar. Este es el foro a través del cual se comunican las ideas, se debaten y se pueden cuestionar.”

••• ¿Quién puede publicar en esta revista?, ¿podría estar equivocado algo que se publicara en ella?
“Cualquiera puede publicar en esta revista, especialmente la gente que investiga en este campo. Cada artículo pasa la revisión de dos árbitros y, algunas veces, hay que enviárselo a un tercero si hay fuertes discrepancias entre los dos primeros, o si el autor del artículo no está de acuerdo con ellos. También el editor puede tomar esa decisión.”

••• ¿Son algunas revistas mejores que otras?
“Creo que lo que determina la importancia de una revista es el número de la gente que la lee, y cuántas personas citan a los artículos que vienen en una revista específica. Esta revista en particular es muy importante en este campo, ya que aunque está *Astrophysical Journal*, que es también muy, muy importante, ésta se dedica más bien al campo de la investigación astrofísica.”

••• Usted, junto con Richard Woo, afirmaba en un artículo reciente que «siempre hemos mirado al Sol para entender el viento solar, y no sospechábamos que descubrimientos sobre el Sol se pudieran hacer justo al revés, a partir del estudio del viento solar». ¿Nos podría hablar sobre esos descubrimientos?
“Se ha creído durante mucho tiempo que el modo de averiguar de dónde provenía el viento solar era mandar una nave espacial al medio interplanetario para medir la intensidad de la emisión de energía extra del Sol. Teniendo en cuenta lo que tardaba el viento solar en llegar desde el Sol a la nave, podían rastrear el origen del viento solar alto, obteniendo que el viento provenía de los agujeros de la corona, regiones donde la intensidad extra era más baja, al igual que la temperatura y la densidad. De este modo, durante mucho tiempo se asoció el origen del viento solar con los agujeros en la corona. Lo que hacemos nosotros es estudiar las medidas que se toman a una distancia considerable del Sol y esto nos permite deducir tanto de dónde viene el viento solar como el origen de los ‘estallidos’ magnéticos del Sol que escapan al espacio interplanetario. Esto no lo podríamos deducir mirando de cerca al Sol, porque no puedes distinguir lo que se está alejando de él y lo que se queda, pero si te alejas lo suficiente, sí que puedes estar seguro de que lo que estás midiendo ha dejado el Sol.”



CHRISTOPH KELLER
National Solar Observatory
(Estados Unidos)

Nos podría explicar qué es el «Telescopio Solar de Tecnología Avanzada»?

“El ATST es el telescopio solar que estamos diseñando actualmente en Estados Unidos con colaboración internacional y será con mucho el telescopio solar más grande del mundo. Ofrecerá por lo tanto la mejor resolución espacial y significará un paso adelante en la Física Solar. Ahora mismo hemos comenzado a diseñarlo, en torno al 2005 empezarán a construirlo y estará operativo hacia el final de la década.”

••• ¿Por qué es importante tener un telescopio de este tipo?

“Hay bastantes razones. Una de ellas es la difracción del límite de la apertura, que determina la máxima resolución espacial alcanzable. Cuanto mayor sea el diámetro del espejo del telescopio, más pequeños serán los detalles que podremos observar en el Sol. Esto es importante, porque hay escalas físicas en el Sol que nos gustaría estudiar, pero que no podemos hacerlo con los telescopios actuales. Sin embargo, sí que será posible con el ATST ya que puede alcanzar una resolución espacial mucho mayor. Otro factor destacable es que los instrumentos más sensibles necesitan mucha luz. Aunque el Sol parezca tan brillante, cuando

haces los cálculos te das cuenta de que se trata en realidad de una estrella bastante débil. De ahí la necesidad de contar con una apertura más grande para poder recoger más luz. Pienso que éstas son probablemente las dos razones por las que este telescopio es tan importante.”

••• ¿Cree que este telescopio va a revolucionar la Física solar?

“Sí, sin ninguna duda. Seremos capaces de ver cosas del orden de tres veces más pequeñas de las que podemos observar actualmente, de modo que este telescopio abre una nueva ventana para mirar al Sol. Podremos ver cosas que ni siquiera podemos imaginar.”

••• ¿Qué parámetros van a ser tenidos en cuenta para elegir el emplazamiento del telescopio?

“No estoy implicado en la evaluación de los emplazamientos, así que puede que cometa algún error. Por un lado están los factores meteorológicos: la velocidad del viento, la temperatura y demás, que son muy fáciles de medir. El principal parámetro que medimos es el ‘seeing’: cuánta distorsión introduce la atmósfera en las imágenes. Hay dos modos de medir este parámetro: uno es con un instrumento que tiene en cuenta a la atmósfera como un todo y el otro mide cómo varía la distorsión de la atmósfera en función de la altura. Esto último es importante ya que aunque nos gustaría construir un telescopio a 20 metros de altura sobre el suelo, esto resultaría muy caro, de modo que hemos de considerar la variación con la altura. También tenemos en cuenta el brillo del cielo, ya que el ATST se va a utilizar para observar la corona solar.”

••• ¿Cuáles son los candidatos?

“Ahora mismo hay seis candidatos: Haleakala (Hawaii), Panguitch Lake (Utah, EE.UU.), Sacramento Peak (Nuevo México, EE.UU.), San Pedro Mártir (Baja California, Mexico), Big Bear Lake (California, EE.UU.) y, por último, el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma, España).”

••• ¿Qué probabilidades tiene este último observatorio?

“Bueno, en estos momentos todos los lugares tienen exactamente las mismas oportunidades. No podría decantarme a favor de ninguno, ya que algunos son mejores en verano, otros en invierno, y aún no hemos tomado datos durante el tiempo suficiente.”

••• ¿Cuál será la relación entre este telescopio y los telescopios espaciales?

“La función de los satélites espaciales y de los telescopios terrestres es complementaria. Básicamente los telescopios espaciales observan en frecuencias que no se pueden ver desde la superficie, como el ultravioleta. Lo que hacemos desde la superficie es detectar la radiación visible. El ATST tiene una apertura de 4 m, que es muchísimo mayor que la que tiene cualquier telescopio espacial para observar el Sol. Los experimentos espaciales aportan el poder estudiar el Sol en otras frecuencias, mientras que desde la Tierra podremos observar las pequeñas estructuras y detalles.”

••• ¿Cuándo será la primera luz del telescopio?

“Ésa es siempre una pregunta difícil de contestar. Siendo optimistas, en el 2008. Siendo pesimistas, nunca. Posiblemente, en alguna fecha intermedia.”

••• ¿Hay problemas económicos?

“Actualmente tenemos todo el dinero que necesitamos para diseñar el telescopio y algunos de los instrumentos. Lo que pase de aquí a unos años todavía está en propuestas de construcción, ya que hasta que no acabemos con el diseño no sabremos el coste de construirlo.”



SAMI SOLANKI
Instituto Max-Planck de
Aeronomía (Alemania)

De los proyectos de la ESA, ¿cuáles son actualmente los más importantes en Física solar?

“El principal proyecto de la ESA en Física Solar es SOHO, el Observatorio Solar y Heliosférico. Se trata de una misión para estudiar la corona solar que fue lanzada a mediados de la pasada década. SOHO continúa su misión con mucho éxito, aportando información muy buena. Además, el IAC ha desarrollado algunos de los instrumentos y es un centro muy activo, al igual que nuestro instituto. Creo que ha llegado el momento de seguir avanzando, pues hemos aprendido muchas cosas desde entonces y formulado nuevas preguntas.

El próximo gran proyecto de la ESA en el espacio es el “Solar Orbiter”, una nave espacial que dejará la órbita terrestre para internarse en la solar, a una distancia de menos de 0.2 Unidades Astronómicas (una Unidad Astronómica, UA, es la distancia que separa a la Tierra del Sol). De este modo, podremos ver diferentes cosas al mismo tiempo. Además, al acercarnos tanto, conseguimos una resolución

muy alta. Esto también se puede conseguir desde la Tierra, pero sólo para el rango del visible.

Hay también otros proyectos, como el “Sunrise”, en el que colabora tanto el IAC como nuestro instituto, que consiste en colocar un telescopio de 1 m a bordo de un globo, de modo que consigamos una gran resolución en el ultravioleta. Pero para observar el ultravioleta, tienes que irte realmente al espacio, no lo puedes conseguir desde la Tierra. O bien desarrollas un gran telescopio espacial, o bien te acercas mucho al Sol. Esto último es lo que hace el Solar Orbiter, aproximándose mucho, de modo que tienes una gran resolución incluso con instrumentos pequeños. Otro punto importante es que el Solar Orbiter será capaz de seguir al Sol desde cualquier dirección. Hasta ahora, todas las observaciones que se habían conseguido con satélites espaciales habían sido hechas desde la línea Sol-Tierra, de modo que podíamos ver el Sol únicamente desde una dirección. Pero para muchas cosas, como predecir el clima espacial, sería mejor ver también la parte posterior del Sol. Cuando hay grandes erupciones solares, las telecomunicaciones se interrumpen, los satélites dejan de funcionar, etc., por lo que sería muy útil poder predecirlas. Para ello si ves la cara posterior y observas cuando va a llegar una región activa, una mancha solar o lo que sea, puedes decir «ah, bueno, esto llegará en 10 días aproximadamente, así que a estar preparados para problemas, desconectar vuestros satélites...».

El Solar Orbiter nos ayudará, por primera vez, a conseguir cosas de este tipo. La razón es que su órbita estará a 0.2 UA, distancia a la que la velocidad es la misma que la de la rotación del Sol. De este modo puedes seguir el mismo rasgo solar durante semanas, al contrario que en la Tierra, donde siempre que observas una región activa o una mancha solar nunca puedes conocer su evolución, porque todo se ve de forma muy diferente cerca del limbo solar. Como el Solar Orbiter seguirá la misma estructura magnética se podrá determinar por primera vez cual es su evolución. Aún más, esta nave estará tan cerca del Sol que podrá estudiar el viento solar, como ya hicieron anteriores satélites como el Helios I y el Helios II. El último punto, que creo que también tiene gran importancia, es que por primera vez contaremos con instrumentos capaces de tomar imágenes desde fuera del plano de la eclíptica, incluso en los polos. Esto que se quería conseguir desde hace mucho tiempo, es un viejo sueño de los científicos. Hay un satélite, el Ulises, que tiene una órbita polar, pero está ‘ciego’. Tiene instrumentos para medir el viento solar y los rayos cósmicos, pero no puede mirar directamente hacia los polos. Así que nadie sabe cómo son estas regiones del Sol, siempre los hemos visto de lado.

La importancia de observar los polos solares se debe a distintos motivos: a determinar cómo se origina el viento solar rápido, la estructura del ‘dinamo’ solar, etc. Ésta es, por lo tanto, una misión que considero muy emocionante y que se lanzará entre el 2009 y el 2012.”

••• ¿Cree que Europa debería participar en el proyecto del ATST, o debería de desarrollar su propio telescopio?

“Esto más que ciencia es meterse en política. Mi opinión personal es que Europa sí que debería participar en este proyecto, ya que es muy interesante. Creo que con este telescopio se podrá hacer un gran trabajo. Hemos visto en los resultados del nuevo telescopio en La Palma que cuando tienes un gran telescopio con la tecnología moderna apropiada, en un emplazamiento fantástico, puedes ir más allá de lo que pensabas era posible. ¿Por qué debería Europa unirse al ATST y no embarcarse en el desarrollo de su propio telescopio? No creo que haya ningún motivo científico para que

haga una cosa o la otra. Considero que los científicos y los diseñadores de instrumentos europeos son muy buenos y conseguirían un telescopio excelente. Sin embargo, creo que por motivos económicos sería toda una ventaja formar parte del ATST y hay un gran interés por parte de los

americanos para que sea así. Creo que es mejor tener parte del tiempo del mejor telescopio del mundo que todo el tiempo del segundo mejor.”



JEAN-FRANÇOIS DONATI
Observatoire Midi-Pyrenees
(Francia)

Cómo sabemos que las estrellas tienen manchas al igual que el Sol?

“Hay varias formas de saber que hay manchas como las del Sol. Nosotros lo sospechamos porque el Sol tiene manchas, y por lo tanto, esperaríamos que otras estrellas también las tuvieran. Ésa es, digamos, la razón filosófica. Pero, además, también hay razones observacionales. El número de fotones que nos llegan del Sol (la cantidad de la luz) es prácticamente constante. Sin embargo, la cantidad de luz que recibimos de algunas estrellas es variable: algunas veces disminuye y la estrella parece más débil y otras aumenta. Esto podría ser debido a que las manchas llegan hasta la parte visible de la atmósfera de la estrella y después se van, vuelven, etc; por lo tanto, hay algo en la superficie de la estrella que periódicamente es visible, justo lo que esperaríamos de las manchas solares. También se podría deber a otras causas, pero si comparas

todas las evidencias que se obtienen de distintas formas, tienes que concluir que la única posibilidad es ésta. De modo que actualmente estamos bastante seguros de que otras estrellas tienen manchas. Eso sí, no podemos verlas directamente, como en el caso del Sol, ya que el resto de estrellas están demasiado lejos como para que las podamos distinguir. En los próximos 10 ó 20 años, tal vez con interferometría sí que se puedan ver, y quizá podamos confirmar estas predicciones.”

••• ¿Por qué es la polarización de la luz tan importante para deducir las propiedades de las estrellas?

“Especialmente, porque te da la oportunidad de estudiar los campos magnéticos. Por ejemplo, las manchas solares son interesantes porque revelan el hecho de que el campo magnético emerge de la estrella. De modo que si miras a las manchas solares estás descubriendo que el Sol presenta un ciclo de variabilidad de 11 ó 22 años, dependiendo de si consideras el ciclo de actividad de las manchas o el del campo magnético. Este ciclo revela que el campo magnético del Sol está variando, cambia de polaridad. Creemos que los procesos que hacen que este campo cambie de signo están relacionados con la rápida rotación del Sol y la convección.”

••• ¿Cómo podemos estar seguros de que la experiencia adquirida en el contexto solar puede extrapolarse a las estrellas?

“Ésa es una pregunta muy buena, ya que no la podemos contestar de momento. Por ejemplo, siempre se ha querido encontrar en las estrellas aquello que podíamos entender. Cuando se descubrió en algunas estrellas la existencia de una gran mancha en los polos, la primera reacción fue un «revisen los datos, porque tienen que estar mal». Algo parecido fue lo que le pasó a Galileo cuando descubrió las manchas en el Sol, nadie le creía ya que se pensaba que el Sol tenía que ser perfecto. Las actitudes no han cambiado tanto desde aquellos tiempos. Cuando nos encontramos algo que no esperamos, tendemos a pensar que está mal. Es realmente difícil saber cómo puedes extrapolar resultados, pero el único modo es intentarlo, asegurándote de que lo estás haciendo del mejor modo posible. Cuando estás seguro de que no hay otro modo de explicar los datos, entonces lo mejor es conseguir desarrollar un modelo que explique tanto las observaciones del Sol como las de otras estrellas.

No tenemos ni idea de lo que vamos a descubrir, y eso es lo que hace que este campo sea interesante. La naturaleza no es como esperas que sea.”

••• ¿Por qué se suele ignorar la polarización de la luz cuando se observa la luz estelar o galáctica?

“Creo que no se suele tener en cuenta la polarización porque es en cierto modo un efecto de segundo orden. Cuando observas la luz de cualquier objeto sólo hay una pequeña parte que está polarizada. Por ejemplo, en los perfiles de las líneas espectrales del Sol sólo te encuentras con un 5% (una parte en 20) que está polarizada. Si miras otras estrellas este porcentaje de luz polarizada es aún mucho menor, de tal vez un uno por mil o por diez mil. Al ser tan pequeño es muy difícil de medir, por lo que la gente se suele desanimar al pensar en construir un instrumento capaz de ello; al mismo tiempo el que trabaje tan poca gente en este campo hace que sea interesante, puesto que descubras lo que descubras, seguro que es algo nuevo.”



ADRIAAN A. VAN
BALLEGOOIJEN
Harvard-Smithsonian
Astrophysical Observatory
(Estados Unidos)

Cuál es la geometría del campo magnético de la atmósfera solar y la del campo magnético que confina el plasma de las protuberancias solares?

“La geometría magnética de la atmósfera solar es muy compleja. Hay muchas pequeñas estructuras magnéticas que están distribuidas a lo largo de la superficie del Sol: en algunas regiones, el campo magnético sale del Sol y en otras entra. A grandes alturas sobre la superficie del Sol, el campo magnético es más homogéneo y consiste en multitud de arcos que se curvan sobre la superficie. Esto es, a grandes rasgos, la geometría del campo magnético del Sol.”

••• ¿Qué alteraciones de esa geometría dan lugar a las expulsiones de masa de la corona? “Esta es una pregunta difícil, ya que no sabemos lo que ocurre realmente. Uno de los objetivos de intentar medir el campo magnético es averiguar exactamente cual es la geometría

magnética. Se cree que tiene que ver con campos magnéticos distorsionados, en forma helicoidal, en los que hay almacenada energía extra. Las eyecciones de masa de la corona se producirían por una súbita liberación de esta energía que darían lugar a que el campo magnético se extendiera, llevando con él parte de la masa de la corona. Podemos decir que las eyecciones de masa de la corona son repentinas explosiones de la estructura magnética, pero aún no entendemos los detalles.”

••• ¿Y qué causa ese exceso de energía?

“Existen distintas explicaciones sobre ello, pero generalmente se cree que es debido a los movimientos de las estructuras magnéticas, como las manchas solares, que causan una distorsión del campo magnético de la corona, acumulándose energía durante un periodo de varios días o incluso semanas. Otra de las posibles causas es que campos magnéticos deformados del interior del Sol emerjan a la superficie. Cuál de los dos procesos es más importante no se sabe con exactitud, hay pruebas de que ambos fenómenos ocurren.”

••• ¿Cómo puede ser que sólo un campo magnético de 10 gauss tenga una influencia tan «dramática»?

“10 gauss no suena a mucho, pero hemos de tener presente con qué lo comparamos. Por un lado tenemos lo que se conoce como presión magnética y, por el otro, la presión del gas en la corona. En la mayoría de las regiones de la corona del Sol, no muy lejos de la superficie, la presión magnética supera a la presión del gas. Así que cualquier cambio en la presión magnética puede tener un efecto descomunal en el gas. Otro factor a tener en cuenta son los enormes volúmenes, varias veces el de la Tierra, que están implicados en estas expulsiones de masa de la corona.”



Protuberancia activa observada por el telescopio espacial SOHO (SOHO es un proyecto internacional de colaboración entre la ESA y la NASA).

A TRAVÉS DEL PRISMA

Premiada la física de lo invisible

La Astrofísica está de enhorabuena. En el año 2002, tres descubridores de los secretos del Cosmos han sido galardonados con el Premio Nobel de Física que concede la Academia Sueca de Ciencias. Además, este año los premiados trabajan en una astrofísica «nueva».

A lo largo de la Historia, la Astronomía primero y después la Astrofísica basaron sus descubrimientos en la luz visible, analizando y extrayendo de ella la información que llevaba codificada entre sus propiedades (intensidad, frecuencia, polarización). Así se han conseguido los mayores avances en Astrofísica y se ha logrado un mayor conocimiento sobre el Sol, los planetas del Sistema Solar, las galaxias y los cuásares más lejanos.

Sin embargo, el perfeccionamiento de nuevas técnicas en el siglo XX amplió las posibilidades observacionales de la Astrofísica. Primero se incorporó la Radioastronomía y después la observación en el infrarrojo, que abrieron nuevas fronteras. Posteriormente, con la llegada de los satélites de observación, se extendió al ultravioleta, a los rayos X e, incluso, a los rayos gamma.

Neutrinos cósmicos



Masatoshi Koshiba
Universidad de Tokio,
Japón

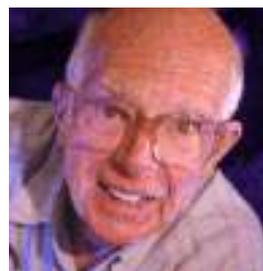
Pero no todo lo que nos llega del Universo es luz. También recibimos diversas partículas elementales que traen consigo valiosa información y que los astrofísicos han tenido que aprender a extraer.

Entre ellas existen partículas casi fantasmas, llamadas neutrinos. Los astrofísicos pioneros en descubrirlos procedentes del Sol y de otros lugares del Universo han sido dos de los premiados este año 2002, RAYMOND DAVIS JR y MASATOSHI KOSHIBA.

Postulados en 1930 por Pauli, los neutrinos son generados en las reacciones de fusión que se producen en el Sol y el resto de estrellas. Sin embargo, al no tener carga eléctrica y poseer una masa ínfima, su interacción con la materia es tan débil, que constantemente atraviesan la Tierra miles de millones de neutrinos y no nos damos cuenta. Pero esta idea no desanimó a Raymond Davis, quien a principios de la década de 1950 construyó su primer «telescopio» experimental de neutrinos basado en un tanque de 3.900 l de material captador. Los resultados de este experimento fueron sólo límites superiores, pero no desalentaron a Davis. En 1967, su gran telescopio de neutrinos estaba listo. Consistía en un tanque de 615 toneladas de líquido detector enterrado en una vieja mina de oro a 1.500 m de profundidad. Aunque las primeras medidas sólo proporcionaron unos 3 neutrinos al mes de los 20 esperados, se comprobó que las técnicas de análisis del material en el tanque y su renovación eran fundamentales para aumentar la eficiencia. Así, durante los casi 30 años que se mantuvo activo el experimento (hasta 1994), se detectaron unos 2.000 neutrinos procedentes del Sol. Con todo, los neutrinos medidos siempre

fueron menos de los esperados. Esto se conoció como «el problema de los neutrinos solares».

La solución llegó con nuevos cálculos teóricos y mejores experimentos. Alrededor de 1980 se puso en marcha el experimento Kamiokande, diseñado por Masatoshi Koshiba. Consistía en un tanque lleno con 2.140 toneladas de agua enterrado en una mina. Con él, Koshiba intentaba resolver el problema de los neutrinos solares y para ello utilizó una técnica diferente. Por entonces ya se pensaba que los neutrinos no estaban exentos de masa, con lo que los tres tipos de neutrinos que se conocían (electrónico, muónico y tauónico) no eran más que diferentes combinaciones de estados posibles; los neutrinos podían oscilar libremente entre uno y otro estado, cambiando de un tipo de neutrino a otro. Los neutrinos electrónicos generados en el Sol podrían oscilar a otro tipo de neutrino y así se explicaría el resultado del experimento de Davis, sólo sensible a los neutrinos electrónicos. Por el contrario, el experimento de Koshiba estaba basado en la detección de los neutrinos por la dispersión elástica de éstos con electrones, creando luz de Cherenkov, y no dependía del tipo de neutrino. El experimento se mejoró en 1986 con Kamiokande II y se consiguió confirmar los resultados de Davis y apoyar la idea de la oscilación de los neutrinos.



Raymond Davis
Universidad de Pensilvania, EE.UU.

Otro de los logros de este experimento fue la detección de un súbito aumento en el número de neutrinos en 1987, cuando explotó la supernova 1987A. Era la primera vez que se detectaban neutrinos cósmicos fuera del Sol.

Finalmente, en 1996 Koshiba y sus colaboradores pusieron en marcha el Super-Kamiokande, un experimento con 50.000 toneladas de agua con 10.000 fotomultiplicadores para detectar neutrinos. En 1998, proporcionó la primera indicación de la oscilación de los neutrinos e información muy detallada de los neutrinos solares.

Por consiguiente, tanto Davis como Koshiba, por la detección de los primeros neutrinos solares, el primero, y la detección de neutrinos extrasolares y la confirmación de la oscilación de los neutrinos, el segundo, han sido acreedores del Premio Nobel, que han compartido con el astrónomo RICCARDO GIACCONI.

Astronomía de Rayos X



Riccardo Giacconi
Associated Universities
Inc., EE.UU.

La atmósfera terrestre es un escudo que protege la biosfera y evita que sea achicharrada por la gran cantidad de radiación extremadamente energética que llega, sobre todo del Sol. Sin embargo, para los astrofísicos, la atmósfera es un obstáculo. No sólo porque no es completamente transparente y crea turbulencias, como en el caso de la luz visible, sino porque no deja pasar luz de ciertas frecuencias, como la mayoría de la radiación infrarroja así como los rayos ultravioleta, X y gamma. Hasta la llegada de los observatorios en el espacio, fuera de la atmósfera terrestre, la Astrofísica estaba ciega a esas radiaciones y ¡lo que nos perdíamos!

Los rayos X fueron descubiertos por Wilhelm Röntgen en 1855, quien por tal motivo obtuvo el Premio Nobel en 1901. Pero no fue el único concedido por estudios sobre esta radiación hasta el de este año. Estudios sobre difracción, dispersión y espectroscopía de átomos con los rayos X merecieron también este premio en años posteriores. Fue necesario un gran desarrollo en el estudio sobre los rayos X antes de que la Astronomía de rayos X pudiera desarrollarse.

La Astronomía de rayos X se encontró con dos graves obstáculos. En primer lugar, la atmósfera. Es necesario alcanzar alturas de al menos 80 km para observar los rayos X poco energéticos, el rango de frecuencias donde se espera la mayor intensidad de origen cósmico. Por otro lado, los rayos X prácticamente no sufren refracción, por lo que es casi imposible obtener información direccional de su procedencia.

Varios intentos de detectar rayos X del Sol se habían llevado a cabo, con diverso éxito, hasta que en 1960 el grupo de Riccardo Giacconi propuso la

construcción de un telescopio de rayos X inspirado en trabajos anteriores sobre microscopios de rayos X.

Así, en 1962, descubrieron la primera fuente extrasolar de rayos X, Scorpius X-1. Pronto aparecieron nuevas fuentes y, al identificarlas, se comprobó que eran potentes emisores en rayos X, mucho más que en el visible y muchísimo más que el Sol.

El número de fuentes detectadas fue aumentando y comenzaron a asociarse los púlsares con emisores de rayos X.

El salto significativo en la detección de rayos X llegó con el satélite UHURU, lanzado en 1970. Con este observatorio se realizó el primer rastreo del cielo en rayos X. Cada semana que estuvo en activo, UHURU produjo más datos que los que se habían obtenido de los experimentos anteriores. Seguramente, lo más sorprendente fue encontrar un número significativamente grande de sistemas binarios de rayos X con compañeros compactos, de los que los más estudiados fueron Centaurus X-1 y Cygnus X-1.

La Astronomía ha
esperimentado un gran
avance debido a las
observaciones en rayos X y
a pioneros en su detección
y observación como
Giacconi y su grupo.

Con UHURU, la Astronomía de rayos X despegó definitivamente, pero no quedó ahí la cosa. En 1978 fue lanzado el Observatorio de Rayos X Einstein. Con él, se conseguía realmente un observatorio completo, pues contaba con cámaras y espectrógrafos dotados de alta resolución espectral y espacial. Así, la sensibilidad de las observaciones era 1.000 veces mayor que con UHURU y se pudieron observar fuentes un millón de veces más débiles que Scorpius X-1.

A TRAVÉS DEL PRISMA

Finalmente, el Observatorio de Rayos X Chandra, también ideado por Giacconi, fue lanzado en 1999 y actualmente está revolucionando la Astronomía de rayos X gracias a la gran definición alcanzada.

La Astronomía ha experimentado un gran avance debido a las observaciones en rayos X y a pioneros en su detección y observación como Giacconi y su grupo. Los rayos X se han revelado como excelentes identificadores de regiones donde el plasma se encuentra a cientos de millones de grados, generalmente asociadas con estrellas supermasivas, remanentes de supernovas y agujeros negros, es decir, seguramente donde se dan los procesos más energéticos existentes en el Universo.

En Riccardo Giacconi se da, además, la circunstancia de ser un excelente gestor de la ciencia. Cuando asumió la responsabilidad del Telescopio Espacial Hubble, lo salvó para la ciencia, consiguiendo que se le incorporaran los elementos ópticos complementarios que le han permitido observar con tanta nitidez. También, durante su dirección del *European Southern Observatory* (ESO) consiguió el acuerdo con el gobierno chileno

que ha permitido instalar los cuatro telescopios de 8 m en Paranal. Lamentablemente, no sucedió lo mismo con el gobierno español en relación con la entrada de España en el ESO, pese a que en las negociaciones se llegó a conseguir que esta institución participara con un 50% en el gran telescopio que el IAC estaba promoviendo.

LUIS CUESTA
Asesor científico del Gabinete
de Dirección del IAC

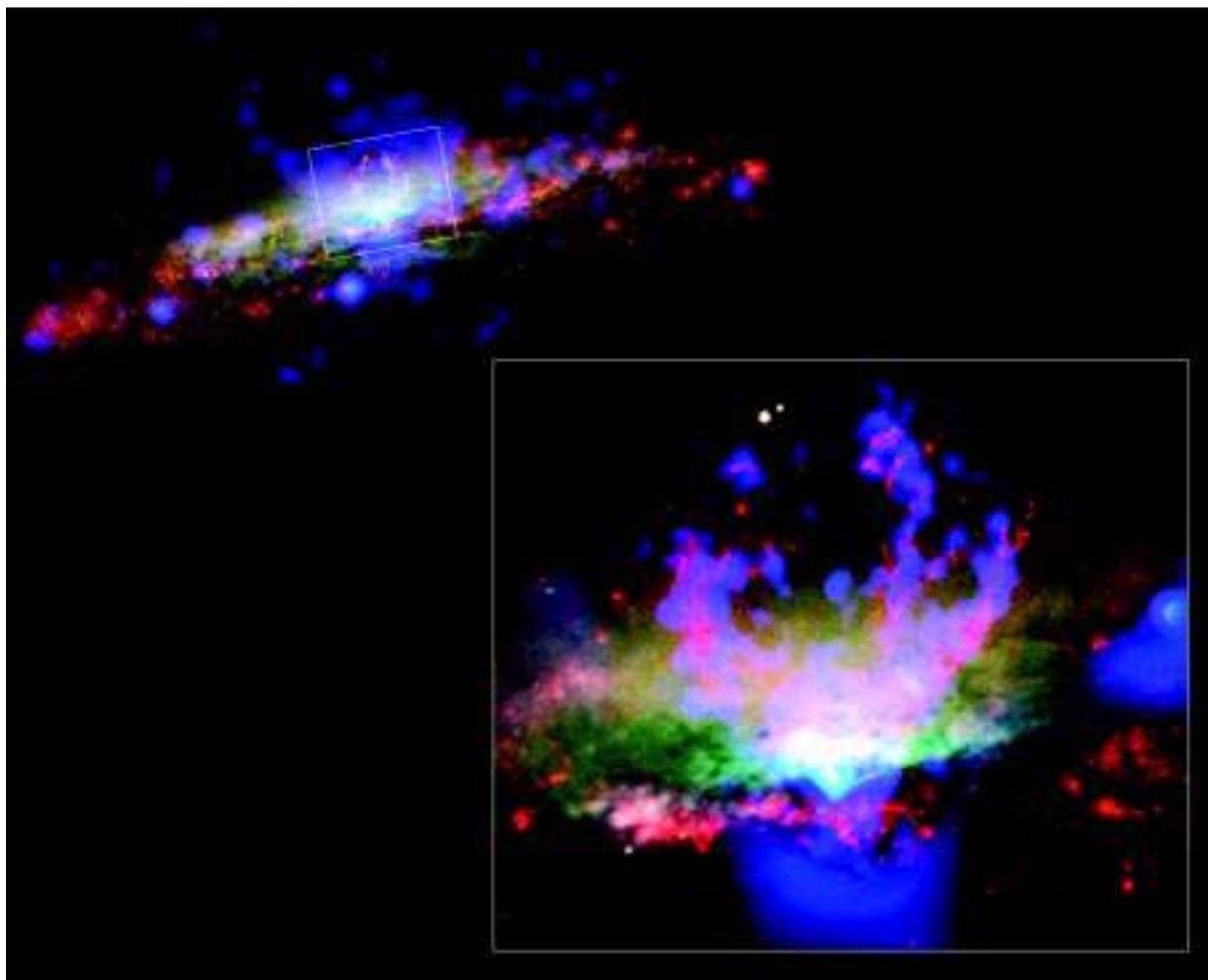
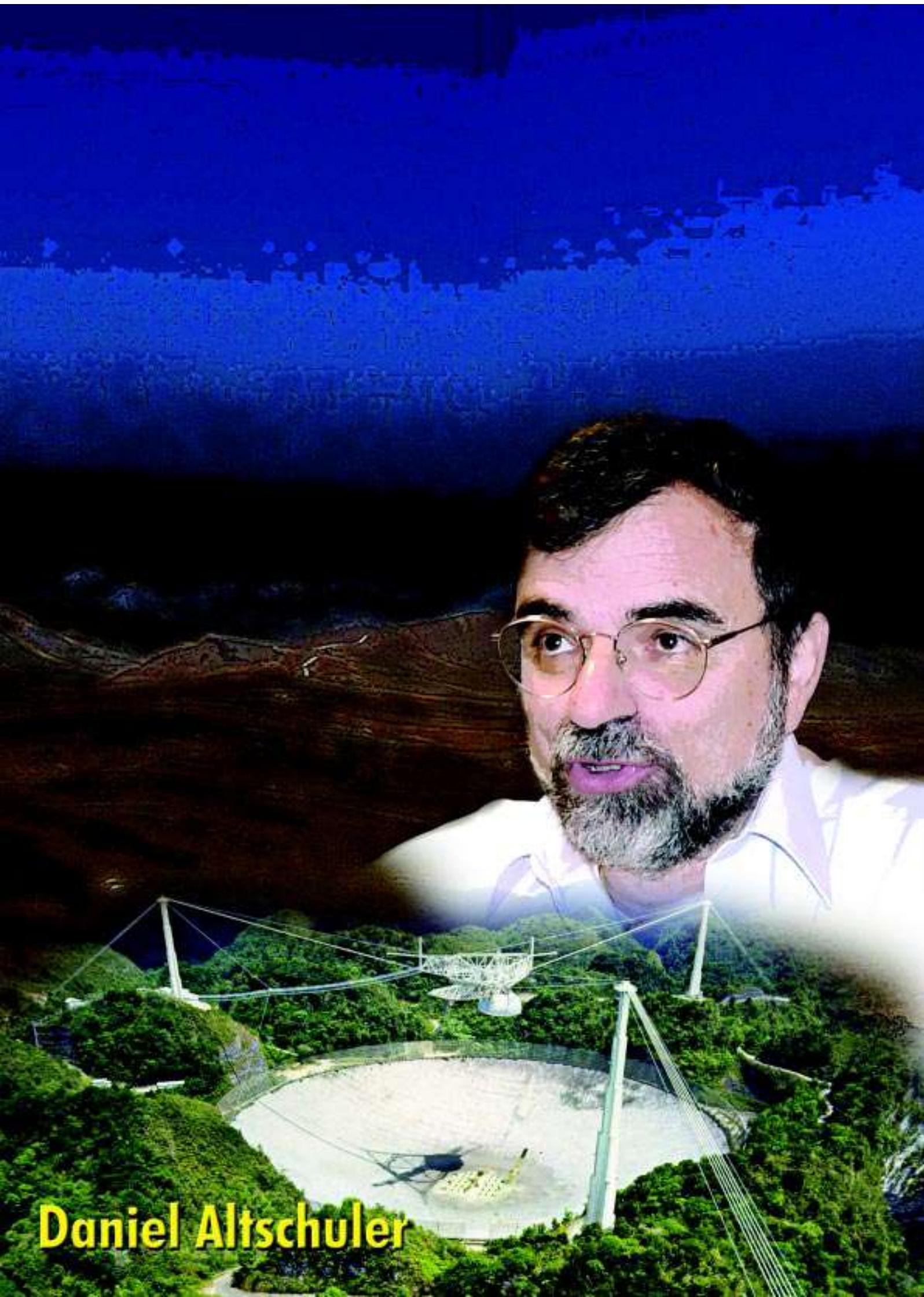


Imagen de la galaxia espiral NGC 3079. Se ha combinado una imagen de rayos X obtenida por el Chandra X-Ray Observatory (azul) con otra imagen óptica obtenida por el Telescopio Espacial Hubble. © NASA (G. Cecil)



Daniel Altschuler

DANIEL ALTSCHULER



Director del Observatorio de Arecibo (Puerto Rico)

Daniel Altschuler es, desde 1991, director del Observatorio de Arecibo, donde compagina esta actividad con la de investigador y comprometido divulgador científico. Invitado por el IAC, el Dr. Altschuler dio una charla el pasado 11 de octubre sobre la historia y funcionamiento del radiotelescopio de Arecibo, el mayor del mundo. Con él se han logrado avances tan importantes como la confirmación de las ondas gravitatorias, el descubrimiento de un sistema planetario en torno a un púlsar o la existencia de hielo en Mercurio. En una segunda charla, titulada «Hijos de las Estrellas», en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, este investigador uruguayo transmitió tanto su pasión por la Astronomía, como su preocupación por el deterioro del medioambiente, la superpoblación o la ignorancia generalizada sobre ciencia. Temas que también trata en el libro del mismo título, publicado recientemente, que considera es su «granito de arena» para la concienciación de la sociedad ante estos problemas. Además de su libro, sus conferencias en todos los rincones del planeta y la creación de un Centro de Visitantes en su Observatorio, visitado por unas 100.000 personas cada año, son otros ejemplos del compromiso de Altschuler con la divulgación.

DIVULGACIÓN Y el mayor radiotelescopio del mundo

DIVULGACIÓN

ENTREVISTA CON DANIEL ALTSCHULER

Y el mayor radiotelescopio del mundo



¿Qué tipo de investigación se puede realizar en Astronomía con un radiotelescopio como el del Observatorio de Arecibo?

«Las áreas de investigación más importantes en Arecibo son el estudio de púlsares y de la línea de 21 cm del hidrógeno neutro. Eso ocupa un alto porcentaje del trabajo de Radioastronomía en el observatorio. También son de interés los objetos masivos que emiten muy poca luz, como las galaxias en las que no se han formado muchas estrellas. La búsqueda de estas galaxias, que se llaman «*low surface brightness galaxies*», es muy difícil en el óptico, pero con el radiotelescopio se hace factible estudiarlas y, si disponemos de suficiente tiempo, encontrarlas. De hecho, uno de los proyectos que estamos llevando a cabo es la construcción de un sistema en el cual varios haces simultáneos pueden estudiar el cielo, con el que se desea hacer un catálogo para encontrar estos objetos de baja luminosidad y alta masa de hidrógeno. Además, con este nuevo proyecto, lo que no podías hacer en el pasado, porque te llevaba un año, ahora sí es factible, consiguiéndolo en uno o dos meses. Por ejemplo, hacer un rastreo del cielo en una cierta región para buscar nuevos púlsares. De este modo se pueden encontrar 1.000 ó 1.500. Otra área muy importante es el uso del radiotelescopio como transmisor, como radar. En esta forma se usa activamente; se emite un haz bastante poderoso, de 1 megawatio de radiación, y se refleja en objetos menores del Sistema Solar. El eco nos trae información acerca de parámetros orbitales y propiedades de la superficie.»

¿En qué consiste la línea del hidrógeno de 21 cm? ¿Cuál es su importancia?

“La línea de 21 cm es una característica de los átomos de hidrógeno en su estado natural más bajo (en términos de frío). En estado neutro, el hidrógeno emite una radiación en una longitud de onda muy específica, por eso se llama de 21 cm. Es importante porque una gran cantidad de la masa del Universo es hidrógeno neutro. Por ejemplo, el medio interestelar de las galaxias, especialmente de las espirales, tiene abundancia de hidrógeno. Con el telescopio, podemos detectar ese átomo. Lo que importa es que debido a la rotación de la galaxia y a la recesión por la expansión del Universo, esa línea espectral que se emite a 21 cm a veces se recibe a una frecuencia diferente a causa del «efecto Doppler». Por lo tanto, la medida de la frecuencia recibida comparada con la emitida nos dice la velocidad a la que se aleja de nosotros la galaxia. Además, el ancho de la línea nos dice la velocidad de rotación de la galaxia, que está relacionada con la masa de gas. De este modo, con la línea de 21 cm, en un par de minutos de observación de una galaxia podemos determinar su masa, su velocidad de rotación y distancia, asumiendo la ley de expansión de Hubble.”

¿Cuál fue el primer descubrimiento que se hizo con este radiotelescopio?

“El primer gran descubrimiento en Arecibo tuvo lugar nada más terminada su construcción, en 1964. Fue la determinación del periodo de rotación de Mercurio, que no era el que decían los libros de texto, de 88 días, sino de 56 días. Fue una contribución a que mejoraran las medidas de los parámetros del Sistema Solar.”

¿Cuáles han sido los logros científicos más importantes que se han conseguido?

“En esta pregunta uno siempre peca de olvidar a aquéllos que trabajaron muy duro pero no llegaron a la prensa. Obviamente, la gran mayoría de los trabajos de investigación que se hacen en Astronomía son otro granito de arena aportado en una cierta dirección y al poco tiempo pasan al olvido, pero lamentablemente así es la ciencia. Sólo un mínimo porcentaje de lo que se hace es un descubrimiento importante. Si hay que señalar algún descubrimiento en Arecibo es uno relacionado con los púlsares. El Premio Nobel de Física de 1993 se otorgó a Russell Hulse y a Joseph Taylor, por trabajos que hicieron exclusivamente en el Observatorio de Arecibo. Se trataba de



Radiotelescopio de más de 300 m de diámetro, del Observatorio de Arecibo (Puerto Rico). Implicado en el proyecto SETI (la búsqueda de señales de vida inteligente extraterrestre) y escenario de las películas Contact y GoldenEye

observaciones de un sistema binario de dos púlsares. En este sistema, un púlsar gira en torno al otro en una órbita muy pequeña (300.000 km de separación), con un periodo de casi 8 horas de revolución de uno alrededor del otro. Esto llevó a la confirmación de que el sistema está emitiendo ondas gravitatorias, como predice la teoría gravitacional de Einstein y como se había tratado de detectar. También el Nobel de este año (2002) ha sido para la Astrofísica, con lo que se demuestra que ésta sigue contribuyendo a la Física fundamental. Además, podríamos señalar que en 1992 se descubrió el primer sistema planetario extrasolar. Es un sistema de cuatro planetas, pero que giran en torno a un púlsar y no en torno a un sol; por lo tanto, no es un sistema planetario típico. Sin embargo, se trata de la primera evidencia de objetos menores alrededor de lo que era una estrella. Ése fue un descubrimiento muy importante, que llevó a reestudiar una gran cantidad de procesos astrofísicos que se producen en una explosión supernova. Además, brinda la oportunidad de estudiar la dinámica de este sistema con una precisión exquisita. La gran precisión con la que podemos medir esos pulsos nos permiten estudiar pequeñas diferencias de microsegundos, y eso se traduce en pocos kilómetros de movimiento de estos púlsares. Que podamos medir eso ya es extraordinario de por sí. También se han descubierto los púlsares de milisegundos, es decir, los que giran cientos de veces por segundo. En el área del sistema planetario cabe destacar el descubrimiento de agua en los polos de Mercurio, en el fondo de los cráteres a los que no llega la luz del Sol. La reflectividad del radar indica que hay hielo en un lugar tan insólito como es éste. Otro descubrimiento es el de los asteroides binarios, que tienen una pequeña luna en torno a ellos. Ahora ya hay como una decena, y son objetos interesantes en el sentido de que hay que explicar cómo se forman y cómo se mantiene ese sistema binario en un ambiente donde las fuerzas de marea no permitirían que durase mucho tiempo.”

¿Cómo se puede complementar un gran telescopio óptico e infrarrojo, como el Gran Telescopio CANARIAS (GTC), con un gran radiotelescopio, como el de Arecibo?

“Por ejemplo, en el caso galaxias de baja luminosidad, difíciles de encontrar, siempre es interesante ver si ha habido algún proceso de formación de estrellas. Un seguimiento así se tiene que hacer con un telescopio que tenga gran sensibilidad. Otro de los usos del GTC sería darle seguimiento a lo que se vaya descubriendo en los próximos años cuando comencemos en Arecibo con estos rastreos del cielo. La idea es encontrar galaxias en formación, galaxias en las que se han formado estrellas, que serían muy interesantes para ser seguidas por un telescopio óptico.”

¿Qué importancia tienen los telescopios de grandes diámetros, como es el caso de estos dos, en la Astronomía?

“Los grandes diámetros son muy importantes en Astronomía. La historia de la ciencia nos muestra que cada vez que mejoramos un orden de magnitud la capacidad de un instrumento, se descubren nuevas cosas que simplemente no estaban al alcance de nuestros instrumentos anteriores. Es de esperar que cualquier instrumento que aumente significativamente alguna de las capacidades de observación expanda el espacio de parámetros donde podemos trabajar, permitiéndonos buscar nuevos fenómenos o estudiar más a fondo algunos que ya son conocidos. Para la próxima generación ya se está hablando de telescopios gigantes de muchos metros, como el «Overwhelming Large Telescope», en Chile. También en Radioastronomía se está hablando de una batería de radiotelescopios de 1 km²; se llama «The Square Kilometer Array». Es muy difícil de construir, de conseguir los fondos, pero sería el próximo paso en Radioastronomía. Los optimistas dicen que lo veremos en 10 ó 15 años; los pesimistas no sabemos cuándo.”

¿Existe la posibilidad de combinar radiotelescopios terrestres con radiotelescopios en el espacio?

“En Arecibo hemos colaborado con la misión HALCA. Es un satélite japonés con un radiotelescopio de 8 m, muy pequeño. Por lo tanto, juntando la señal con el gigante, se gana muchísimo, y hemos conseguido muy buenos resultados. De todos modos, se trata más bien de un trabajo experimental para ver la viabilidad de futuros proyectos.”

“Los grandes diámetros son muy importantes en Astronomía. La historia de la ciencia nos muestra que cada vez que mejoramos un orden de magnitud la capacidad de un instrumento, se descubren nuevas cosas que simplemente no estaban al alcance de nuestros instrumentos anteriores.”

DIVULGACIÓN

ENTREVISTA CON DANIEL ALTSCHULER

Y el mayor radiotelescopio del mundo

En el 2000 se celebró en Puerto Rico una de las reuniones de una iniciativa internacional conocida como STARTEC. ¿En qué consiste esta iniciativa?

“STARTEC es una iniciativa cuyo objetivo es juntar grandes telescopios, incluyendo el GTC, para buscar términos comunes en divulgación de lo que nosotros hacemos y de por qué estos grandes telescopios son importantes. Tratamos de encontrar un plano común para hacer trabajos de divulgación internacional. La idea es que, ya que todos tenemos cierta experiencia en divulgación, quizá aunando esfuerzos podamos hacer algo más completo y mejor, con los escasos recursos que tenemos para este tipo de trabajos. Sin embargo, hay un problema: las personas que se dedican a eso no tienen tanto tiempo disponible como ellos quisieran, por lo que no he visto aún un resultado tangible. A pesar de ello, la reunión en sí tiene su valor, ya que reúne a los encargados de la divulgación científica en diversas instituciones, que comparten nuevas ideas y que seguramente llevan a que podamos mejorar lo que producimos en cada uno de nuestros observatorios. Por ejemplo, el IAC hace un esfuerzo muy interesante en divulgación.”



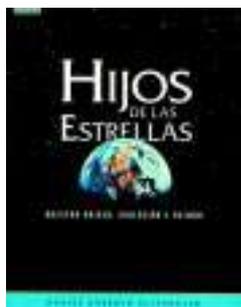
Proyecto ALMA (NAOJ).

Actualmente hay nuevos e importantes proyectos en Radioastronomía: ALMA, el Green Bank Telescope (GBT)... ¿Teme que el radiotelescopio de Arecibo vaya a perder su «supremacía» en este rango de frecuencias?

“ALMA es un telescopio milimétrico, de modo que en realidad se complementa con lo que hacemos nosotros. Arecibo se distingue en que es un instrumento optimizado para un rango de frecuencias relativamente bajas, no llega al milimétrico. A pesar de ello, hace poco hemos conseguido llegar ya a los 10 GHz. Por otro lado, el GBT es en realidad un telescopio que va a operar en las frecuencias más altas, así que nos complementaremos muy bien en las bajas frecuencias. Además, las frecuencias bajas son muy útiles. Primero porque para la línea de 21 cm no necesitamos hacer frecuencias más altas, de hecho esta línea se desplaza a frecuencias aún más bajas, por la expansión del Universo. Los púlsares, que son gran parte de lo que se estudia en Arecibo, son más intensos a bajas frecuencias; a altas frecuencias no son tan fáciles de estudiar. Así que nosotros, a pesar de Alma, GBT y otros instrumentos importantes, mantenemos nuestro lugar, con un instrumento que será aún por mucho tiempo todavía el mejor para hacer este tipo de trabajos.”

En su libro *Hijos de las Estrellas* censura el bajo conocimiento científico que tiene el ciudadano medio, ¿a qué cree que es debido?

“Si tenemos que señalar a alguien, creo que el problema comienza con las escuelas, en la educación primaria. Yo he tenido experiencia en la Universidad y con el público y ya, ahí, es muy tarde. De todos modos, hay muchas razones; una es un problema político-social, donde los que dirigen nuestras sociedades, quizá justo porque tampoco se les brindó la oportunidad, conocen muy poco acerca de la ciencia, no la valoran, no la entienden. La educación primaria es, para la mayoría de los muchachos, una experiencia que si lleva a algo es a alejarlos de la ciencia, no a acercarlos. Curiosamente, en muchos aspectos, la ciencia se enseña como si fuera un dogma. En parte, por la mala preparación -por lo menos en Sudamérica- de los maestros en las cuestiones científicas; en lugar de enseñarse la metodología, lo interesante, la duda, cómo se llegó a algo en un contexto histórico, se enseña una serie de hechos: «memorice la tabla periódica, y luego en el examen eso es lo que le vamos a preguntar». Eso no hace más que alejarlos aún más. Además, ya en las carreras universitarias, cuando uno empieza, si se decide por una carrera de humanidades no va a tener nada de ciencia, o muy poco, y entonces se produce una separación completa. Hay una gran cantidad de público para quien la ciencia es anatema. La aversión es tal, que si uno va por ejemplo a una librería, el anaquele de libros de ciencias está allá en el fondo, escondido, y las



Portada del libro de Altschuler en su edición castellana.

personas que se interesan por las humanidades no van hasta allí. ¿Cómo romper ese círculo vicioso? ¿Cómo enseñarle al ciudadano que la ciencia no es sólo una acumulación de hechos y datos? Creo que es muy importante, no sólo el trabajo de divulgación, sino también el trabajo de formación de maestros. Tratar tal vez de ser mucho menos abarcadores en lo que enseñamos, pero mucho más profundos en la metodología, para que una persona entienda lo divertido que es preguntar, indagar, dudar, en vez de simplemente memorizar una cantidad de datos.”

En el mismo libro usted se muestra muy pesimista por el futuro de la humanidad y por el deterioro del medio ambiente. ¿Cree que llegaremos a ser lo suficientemente inteligentes como para invertir esta situación?

“En este caso, a lo único que puede llevar el optimismo es a una complacencia que nos hunda, es decir, hay ciertamente un gran número de personas que dicen «está bien, ya encontraremos la solución, la tecnología siempre nos salva en el último momento». Llegamos al absurdo de decir que ahora vamos a instalar enormes maquinarias para quitarle el dióxido de carbono a la atmósfera y nadie se pregunta de dónde sale esa tecnología, con qué se alimenta, etc. Yo creo que los datos están ahí, los hechos están ahí, por más que muchas personas los nieguen; aunque quizá, como siempre en ciencia, hay un cierto factor de incertidumbre, eso no debe utilizarse para decir que por lo tanto no sabemos. Se confunde el error potencial de cualquier medida con que no sabemos bien qué es lo que está pasando. La mayoría de las personas, por ejemplo, piensan que el efecto invernadero puede o no puede ser y, sin embargo, si no fuera por el efecto invernadero la temperatura de la superficie del planeta sería de 30 grados menos. El efecto invernadero funciona, y funciona muy bien, y gracias. El hecho es que estemos agregándole gases a la atmósfera, de modo que aumentan ese efecto invernadero hasta el punto de que hay un efecto de calentamiento global que estamos midiendo. Creo que la mayor parte de la comunidad científica está de acuerdo en que hay efectos globales de mucha importancia y muy difíciles de corregir y la actitud sabia sería «vamos a asumir que esto sí es un problema y a hacer todo lo posible para aliviarlo». Soy pesimista justamente por eso, porque pienso que, sin pesimismo, uno puede decir «no, no va a pasar nada». Cuando era estudiante en la Universidad estaba muy envuelto en problemas, era la época de la guerra de Vietnam y había mucha preocupación ya entonces por el crecimiento poblacional (por aquel entonces, el problema del ozono y de la contaminación de la atmósfera por los gases invernaderos ni se conocía). Ya éramos 3.000 millones de habitantes (eso dice de mi edad) y ya había problemas de hambruna (según algunos, eran problemas de mala distribución). Hace 30 años que oigo «que es un problema que vamos a resolver con nuevas tecnologías, que esto o lo otro», y cuando miramos al mundo 30 años después, tenemos la misma hambruna, la misma miseria, sólo que ahora se ha duplicado el número de personas, más o menos 6.000 millones, y las estadísticas nos dicen que vamos a llegar a 9.000 millones dentro de 50 años. Quien me diga que eso no es un problema está soñando, vive en otro planeta, no en el nuestro. Por otro lado, la historia está tan trillada ya, que tiene el problema de los cuentos que se cuentan mil veces, que ya las personas lo oyeron, se acostumbraron y ya ni se alarman, nos acostumbramos a todo.”

¿Cuál cree que es el papel que deben desempeñar los científicos en esta situación?

“Somos en cierta manera el recurso más importante que hay en el planeta para poder analizar y entender problemas, justo por la habilidad que se adquiere en el estudio de ciencia y el método científico. Por lo tanto, nos guste o no, tenemos la responsabilidad de contar, de insistir al ciudadano, que nosotros sí sabemos que estos problemas son reales, aunque no necesariamente sepamos las soluciones, porque éstas no son sólo científicas, sino también políticas, sociales, económicas... En el libro traté de conectar justo la maravillosa historia del desarrollo del planeta y la vida sobre él -una historia maravillosa de 4.000 millones de años, algo fabuloso, extraordinario-, con el que ahora tenemos y al que en 500 años vamos a causar un daño irreparable, un daño que nos toca a nosotros. Creo que es una oportunidad de aportar un granito de arena a la concienciación, de ahí la importancia de la divulgación. El científico tiene que dar la voz de alerta, tiene esa responsabilidad, si no lo hace es en realidad cómplice de toda la situación.”

“Creo que la mayor parte de la comunidad científica está de acuerdo en que hay efectos globales [sobre el medio ambiente] de mucha importancia y muy difíciles de corregir y la actitud sabia sería «vamos a asumir que esto sí es un problema y a hacer todo lo posible para aliviarlo».”

SARA GIL (IAC)



Félix Mirabel

FÉLIX MIRABEL



Departamento de Astrofísica del Centro de Estudios de Saclay (Francia)

Desvelar los secretos de los agujeros negros es todo un reto para la Astrofísica, dada la «invisibilidad» de estos objetos. A pesar de ello, algunos astrónomos aceptan gustosos este desafío, como es el caso de Félix Mirabel, Director de Investigaciones del Departamento de Astrofísica del Centro de Estudios de Saclay (Francia), invitado por el IAC el pasado mes de noviembre. Uno de sus últimos trabajos es el estudio de la dinámica de GRO J1655-40, un agujero negro que viaja a toda velocidad por nuestra galaxia. Sus resultados confirman los obtenidos tres años atrás por investigadores del IAC: este agujero negro se originó debido a una gigantesca explosión en forma de supernova. Tan interesante como el trabajo de Félix Mirabel son sus métodos: la aplicación de la llamada «astronomía virtual». Esta nueva astronomía implica beneficiarse de la existencia de grandes bases de datos, a las que se puede acceder por internet. De este modo se puede reunir información sobre un objeto en distintas longitudes de onda, a la que aplicar modelos que, en ocasiones, también están ya disponibles.

**ASTRONOMÍA
VIRTUAL**
El origen de
los agujeros
negros

ASTRONOMÍA VIRTUAL

El origen de los agujeros negros

ENTREVISTA CON FÉLIX MIRABEL



Usted ha publicado recientemente un artículo sobre cómo se originó un agujero negro, GRO J1655-40. Sus conclusiones confirman los resultados que obtuvieron investigadores del IAC en 1999. ¿Cómo se relacionan ambos trabajos?

“En nuestro trabajo lo que hemos encontrado es que la cinemática de este objeto es consistente con los resultados obtenidos a partir de la química de la estrella compañera. La aproximación que ha habido hasta ahora en Canarias es precisamente a través de la química; la mía es a través del modo en que se mueve la estrella. En realidad, se trata de aproximaciones complementarias al mismo problema. Lo que estamos haciendo, Israelian, Casares y Rebolo, por un lado, y yo con otros colaboradores, por el otro, es intentar encontrar evidencias observacionales que nos ayuden a confirmar los modelos sobre cómo se forman los agujeros negros.”

¿Y cómo se forman los agujeros negros?

“Lo cierto es que no lo sabemos. Existen evidencias de que hay dos tipos de esta clase de objetos: los albergados en el centro dinámico de las galaxias, que son los agujeros negros supermasivos, y los agujeros negros que se forman debido a la explosión de estrellas muy masivas. Sin embargo, no se conocen los detalles de este proceso, ya que hay muy pocas observaciones.”

¿Qué características tiene GRO J1655-40?

“Se encuentra en el plano de nuestra galaxia y tiene una compañera, una estrella relativamente masiva, de entre 2 y 3 masas solares. La estrella compañera ha sido clasificada como una subgigante, pero tengo mis dudas sobre esta clasificación. Además, GRO J1655-40 es el segundo agujero negro acretaante que se considera un microcuásar, que son como cuásares pero a escalas estelares, en lugar de a escalas galácticas.”



¿Qué le depara el futuro a la estrella compañera del agujero negro, será «devorada» por él?

“No lo sabemos con certeza. En algunos casos la compañera va perdiendo momento orbital y termina siendo «devorada» por el agujero negro. Ahora tenemos evidencias de que pueden terminar fagocitando completamente a la compañera. Por lo tanto, sabemos que los agujeros negros pueden crecer de masa.”

¿Cómo ha estudiado la dinámica de este sistema?

“Lo hemos estudiado tomando imágenes de la posición de la estrella compañera en diferentes años. Ésta se mueve muy rápido, orbita alrededor del agujero negro con un periodo de entre dos y tres días. Por lo tanto, el desplazamiento orbital del agujero negro es muy pequeño comparado con el de todo el sistema. Para determinar su movimiento tomamos una imagen en 1995 y otra en el 2001, seis años después. Lo hicimos con el telescopio espacial Hubble, usando un instrumento que se llama *Wide Field Planetary Camera*, antes de que fuera cambiado por los astronautas en la última misión. Luego hemos utilizado la información de otros colegas que habían calculado la velocidad radial y el desplazamiento en el espacio.”

¿Qué se puede concluir a partir del movimiento del agujero negro?

“Sabemos que un objeto no puede moverse así por el plano de nuestra galaxia a menos que haya recibido un impulso, el impulso de una explosión. Si sabemos que ha recibido un impulso, ya

Félix Mirabel, con Rafael Rebolo, Garik Israelian y Jorge Casares.
Foto: Luis Cuesta (IAC)

podemos saber algo acerca del proceso de formación. Para entenderlo, podemos imaginarnos que estamos en un bote en reposo, en un lago, y tiramos de forma perpendicular una piedra. En ese caso el bote no se mueve, mientras que si la tiras hacia la parte posterior o anterior, el bote recibe un impulso en sentido contrario. El equivalente de tirar la piedra de este modo, en el caso del agujero negro es que se produce eyección de materia. Para ello tiene que haber un colapso de la estrella progenitora, una fase en la que el gas que cayó de las capas superiores rebotó. Por lo tanto, el hecho de que el agujero negro se mueva así implica que se tuvo que formar un objeto compacto transitorio. No se pudo formar el agujero negro directamente, porque en ese caso, si tiras materia, ésta desaparece silenciosamente, no hay rebote.”

¿Qué tipo de objeto compacto sería el que se forma transitoriamente?

“Sabemos que la estrella masiva progenitora colapsó primero en una estrella de neutrones, luego se produjo la explosión por alguna razón. Esta explosión provocó la eyección de material, que volvió a caer sobre la estrella y le hizo sobrepasar el límite de 3 masas solares a partir del cual una estrella de neutrones se convierte en un agujero negro. No sabemos cuánto duro esta fase de estrella de neutrones, tal vez minutos, u horas.”

¿A qué se debe el curioso nombre de GRO J1655-40?

“El Gamma Ray Observatory fue quien descubrió este agujero, en 1995, de ahí el nombre de GRO. Se trata de un observatorio espacial de rayos X y gamma, radiaciones gracias a las cuales se descubren este tipo de objetos. Cuando vamos a las imágenes ópticas, GRO J1655-40 no es prominente, pero en rayos X sí.”

¿Por qué emite este tipo radiaciones?

“El físico ruso Zeldovich ya predijo que si existían agujeros negros que pertenecían a sistemas binarios y acretaban materia de la estrella compañera, tendrían que ser fuente de radiaciones. Para entender el motivo, podemos pensar en lo que ocurre cuando inflas la goma de una bicicleta. Con el inflador debes introducir el aire en el neumático a través de un orificio muy pequeño; como tienes que comprimir, el gas se calienta, calor que puedes notar en la mano con la que estás inflando la rueda. Esto se debe a que al comprimir el gas, la temperatura aumenta, como explica la física de los gases ideales. En un agujero negro de unas 4 masas solares, el radio es sólo de unos 10 km, por lo que el gas se ha de comprimir mucho para «pasar» por él. Como resultado, el gas se calienta tanto que emite radiación de alta energía, esencialmente en rayos X.”



¿Harán más observaciones de este sistema?

“En el futuro habrá más observaciones no sólo de este objeto, sino también de otros. Mi siguiente trabajo (publicado el 28 de enero de 2003 en *A&A* vol 398, issue 3) es sobre Scorpius X-1, la primera fuente de radiación X que se descubrió fuera del sistema solar en el año 1962, que ha sido uno de los motivos por los cuales se ha llevado Giacconi el Premio Nobel (2002). Al igual que con GROJ1655-40, hemos determinado su movimiento en nuestra galaxia, sólo que con mucha más precisión. Se trata también de un sistema binario, pero de características distintas. Creemos que este sistema proviene de un cúmulo globular, que es un sistema de estrellas muy antiguo, que se formó en el mismo momento o antes de que se formara el plano de la Vía Láctea, hace unos 7.000 millones de años. En este caso no ha sido determinado con el Hubble, sino con un interferómetro de ondas de radio conocido como el VLBA (*Very Large Baseline Array*). Con este instrumento pudimos determinar con una precisión muy buena el movimiento de este objeto que aquí en Canarias fue estudiado por Jorge Casares, y cuyos datos utilizamos también en nuestro estudio.”

*Órbita galactocéntrica de Scorpio X-1. En color rojo se observa la órbita de Scorpio X-1 alrededor del centro galáctico y en amarillo la órbita del Sol durante los últimos 230 millones de años.
© ESA, NASA y Félix Mirabel.*

ASTRONOMÍA VIRTUAL

El origen de los agujeros negros

ENTREVISTA CON FÉLIX MIRABEL



Ha mencionado antes la existencia de los agujeros negros supermasivos, ¿qué se sabe sobre su origen?

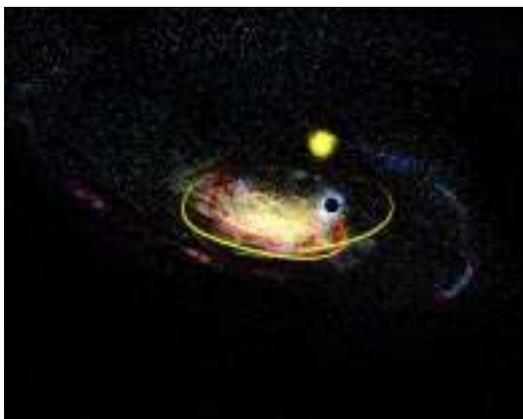
“Una de las cuestiones más actuales de la Astronomía es saber el origen de estos agujeros negros, ya que todas las galaxias masivas albergan uno en su centro dinámico, como se ha comprobado incluso para nuestra galaxia. Creemos que la formación de estos agujeros negros debe estar vinculada a la de los bulbos de las galaxias, porque existe una relación directa de proporcionalidad entre la masa de los bulbos y la de estos agujeros negros. Sin embargo, no sabemos si se forman por una acreción o por un colapso monolítico. Se trata de una de las líneas de investigación más activa en la astronomía extragaláctica.”

“En general existe la tendencia de trabajar sólo en una longitud de onda: los hay que trabajan en el óptico, los de altas energías usan satélites espaciales, etc. Yo creo que para resolver los problemas esenciales, uno ha de integrar y sintetizar la información de diferentes longitudes de onda.”

¿También detectamos estos agujeros negros por la emisión de rayos X o gamma?

“No, estos objetos se identifican mejor en el óptico. La razón es que el horizonte de sucesos de un

agujero negro supermasivo tiene un radio de 100 unidades astronómicas. Como la región es tan grande, el gas no se necesita comprimir tanto, por lo que tampoco se calienta a temperaturas tan altas como en el caso de los agujeros negros más pequeños. A estas temperaturas se puede observar en el óptico.”



Usted utiliza el término «astronomía virtual». ¿A qué se refiere con él?

“La «astronomía virtual» es un modo de hacer astronomía en la cual utilizamos bases de datos de otra gente y lo que hacemos nosotros es reunirlos para realmente comprender los fenómenos. En general existe la tendencia de trabajar sólo en una longitud de onda: los hay que trabajan en el óptico, los de altas energías usan satélites espaciales, etc. Yo creo que para resolver los problemas esenciales, uno ha de integrar y sintetizar la información de diferentes longitudes de onda. Existen preguntas fundamentales y para empezar a resolverlas no basta con una aproximación parcial, derivada de cierto tipo de observaciones específicas. La llamo virtual porque ha sido posible gracias al desarrollo de la informática y de la instrumentación, junto a la existencia de grandes bases de datos.

Impresión artística de una vista oblicua de la Vía Láctea. El agujero negro GRO J1655-40 se está moviendo a una velocidad de 400.000 km/h, cuatro veces más rápido que otras estrellas en su vecindad. © ESA, NASA y Félix Mirabel.

Creo que si tenemos preguntas claras podemos usar todos estos datos para tratar de hacer ciencia y es lo que yo trato de hacer, con mis estudiantes de tesis doctoral y colaboradores. Por ejemplo, en el caso de las observaciones de GROJ1655-40 eran las observaciones con el telescopio espacial Hubble las únicas que aún hacían falta para calcular la órbita, ya que la distancia, la velocidad radial, e incluso la naturaleza de la estrella ya se habían estudiado. Faltaba solamente esta pequeña medición para poder integrar toda la información. En el caso de Scorpius X-1, toda la información estaba ahí, nosotros hicimos uso de ella y con un modelo, que tampoco era nuestro, sino que tomamos de la literatura, computamos la órbita, y a partir de eso inferimos cuál era el origen de la primera fuente de rayos X detectada más allá del Sistema Solar.”

SARA GIL (IAC)



Magnetograma de la cromosfera solar.
© Sac Peak Observatory.

Polarización en atmósferas estelares

“Polarización por procesos de dispersión y el efecto Hanle en atmósferas estelares débilmente magnetizadas”
RAFAEL MANSO SAINZ
Director: Javier Trujillo Bueno (IAC/CSIC)
Fecha: 1/7/02

Esta tesis presenta el desarrollo y aplicación de métodos de transporte radiativo para la investigación de campos magnéticos en astrofísica mediante el efecto Hanle, con particular interés en los campos magnéticos débiles de la atmósfera solar (desde 1 miligauss hasta 100 gauss). Esta tesis presta particular atención a las señales de polarización lineal en líneas espectrales producidas por múltiples procesos de dispersión en regiones débilmente magnetizadas de las atmósferas estelares. La iluminación anisotropa de los átomos induce diferencias entre las poblaciones de los subniveles de niveles atómicos degenerados e interferencias cuánticas entre ellos (esto es, polarización atómica). El efecto Hanle es la modificación de esta polarización atómica, y de sus consiguientes efectos observables, mediante la acción de un campo magnético débil tal que su correspondiente desdoblamiento Zeeman es comparable a la anchura natural del nivel atómico degenerado que se está considerando. Esto abre la posibilidad de investigar tales campos magnéticos débiles midiendo e interpretando la polarización de la luz dispersada en líneas espectrales. Para tal fin, en la tesis se ha formulado y resuelto una jerarquía de problemas de transporte radiativo de complicación creciente, dentro del marco de la teoría cuántica de la generación y transporte de radiación polarizada. De entre los diversos estudios realizados merece una mención especial la investigación del efecto Hanle en el triplete infrarrojo del calcio ionizado y la modelización de las observaciones existentes, lo que está permitiendo comenzar a descifrar por primera vez la compleja topología del campo magnético de la cromosfera solar.



Imagen de la lente conocida como la Cruz de Einstein.
© IAC
(Grupo lentes gravitatorias).

Lentes gravitatorias: curvas de luz

“Análisis de las curvas de luz de los sistemas lente gravitatoria QSO 0957+561 y QSO 2237+0305: retraso temporal y efecto microlente”
DAVID ALCALDE MORALES
Director: Evencio Mediavilla Gradolph (IAC) y Alejandro Oscoz Abad (IAC)
Fecha: 5/7/02

Un objeto celeste (normalmente una galaxia) actúa como lente gravitatoria cuando su gravedad curva los rayos de luz provenientes de otros astros. La consecuencia es que el observador ve el objeto lejano más brillante, o incluso puede aparecer más de una imagen de este mismo objeto.

En esta tesis se estudian dos sistemas de lente gravitatoria. El primero (QSO 0957+561) ha sido observado durante cinco años con el telescopio IAC-80, del Observatorio del Teide, con nuevas técnicas fotométricas para determinar el valor del retraso. Este valor permite estudiar el efecto microlente, que se trata de un caso particular del efecto lente gravitatoria, producido por un cuerpo menor. Los resultados de estas observaciones constatan la ausencia de señal de microlente de corta duración y, respecto a la señal de larga duración, se ha detectado la posible existencia de un evento en el año 2000 de dos años de duración aproximadamente.

El seguimiento del segundo sistema (QSO 2237+0305) se ha realizado con el Telescopio Óptico Nórdico (NOT), situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, durante cuatro meses. En este tiempo se ha estudiado el evento de alta magnificación ocurrido en una de las componentes. Mediante los ajustes del evento en la curva de luz de la lente gravitatoria se han encontrado relaciones entre los parámetros de la fuente, la microlente y la extinción, permitiendo separar la información de la fuente y la microlente.



Evolución del centro al borde de la intensidad facular.

Fáculas y granulación solar

“Variación centro a borde de estructuras fotosféricas solares”
MÓNICA SÁNCHEZ CUBERES
Director: Manuel Vázquez (IAC) y José Antonio Bonet (IAC)
Fecha: 23/7/02

En esta investigación se han estudiado dos estructuras diferentes de la fotosfera solar, los gránulos y las fáculas. Los gránulos aparecen como irregularidades (inhomogeneidades) en el brillo debidas a la penetración de celdas convectivas en la fotosfera solar. Las fáculas, de origen magnético, se manifiestan como estructuras brillantes cerca del borde solar. En este estudio se han combinado observaciones fotométricas con simulaciones numéricas. Para obtener información acerca de la estructura vertical de los fenómenos estudiados se han adquirido datos a diferentes ángulos heliocéntricos y rangos espectrales. Una de estas observaciones se realizó durante un eclipse parcial de Sol. La presencia del borde lunar en las imágenes obtenidas permitió estimar la degradación debida a la atmósfera terrestre y construir un filtro de ruido basado en los mismos datos.

Se ha aplicado un código de transporte radiativo tridimensional sobre cajas de datos que simulan la granulación solar. Estas simulaciones numéricas han permitido probar la influencia de condiciones de observación variables y la validez de diversos modelos, teóricos y semiempíricos.

De las fáculas solares se ha estudiado su intensidad relativa y las propiedades que dependen del tamaño de estas estructuras. Además, se ha realizado una primera simulación de la variación del centro al borde de la intensidad facular. Debido a que en las imágenes obtenidas también aparecían poros, otro tipo de estructura con el mismo mecanismo físico que las fáculas, también se han aplicado los mismos métodos para estudiarlos.



Imagen del cúmulo de galaxias Abell 2443. ©IAC (Ignacio Trujillo).

Galaxias

“Análisis morfológico cuantitativo de galaxias con desplazamiento al rojo intermedio”

IGNACIO TRUJILLO CABRERA
Director: *Jordi Cepa (IAC) y Carlos M. Gutiérrez (IAC)*
Fecha: 20/9/02

El análisis cuantitativo de los parámetros estructurales de las galaxias permite restringir las actuales teorías sobre cómo estos objetos se crean y evolucionan. En esta tesis, la meta principal ha sido desarrollar un software capaz de extraer información de galaxias elípticas y espirales. Las galaxias elípticas y los bulbos de las galaxias espirales se han modelado con un perfil de Sersic y los discos de las galaxias espirales con un perfil exponencial. El código desarrollado se ha aplicado tanto a datos observados con telescopios situados en tierra como con el Telescopio Espacial Hubble. Se han caracterizado las relaciones existentes entre las galaxias cercanas para disponer de un referente de las propiedades de las galaxias en nuestra vecindad. También se ha investigado como intervienen los efectos observacionales (seeing y tiempo de exposición) en la determinación de los parámetros estructurales. Además, se han descrito las propiedades físicas asociadas al sistema estelar triaxial homogéneo descrito por el modelo de Sersic.

El código se ha aplicado al estudio de la evolución de la densidad comóvil del número de galaxias elípticas y espirales hasta distancias en las que el Universo tenía aproximadamente la mitad de su edad actual. El análisis está en buen acuerdo con las teorías que predicen que la formación de galaxias se debe a la agregación de pequeñas subunidades. Además de este estudio, se ha analizado el efecto sobre la estructura de las galaxias de la densidad del medio donde se encuentran. Se ha constatado que las galaxias elípticas con un mayor grado de concentración luminosa se encuentran en las regiones de los cúmulos de más alta densidad.



Imágenes CCD de la coma interior del cometa Hale-Bopp.

Núcleos cometarios

“Propiedades físicas de los núcleos cometarios: tamaños y rotación”
JAVIER LICANDRO GOLDARACENA
Director: *Mark Gidger (IAC) y Miquel Serra Ricart (IAC)*
Fecha: 17/10/02

En esta investigación se estudian diferentes propiedades físicas de los núcleos cometarios. Se ha determinado la distribución de tamaños de los cometas de la familia de Júpiter (FJ) basándose en los diámetros efectivos determinados a partir del brillo absoluto del núcleo de un total de 105 cometas de la familia. Se utilizaron para ello observaciones propias y se confeccionó un catálogo con las magnitudes absolutas publicadas en la literatura. La distribución de tamaños obtenida y la población de objetos a diferentes rangos de distancia perihélica permite estimar que el número de cometas de radio mayor a 0,7 km es de entre 10.000 y algunos miles de objetos en la familia, y evidenciar la existencia de una fuente de cometas en la región de este planeta y Saturno, que han sido a su vez, transferidos desde el cinturón de Edgeworth-Kuiper. También se estudió la actividad de los cometas de la FJ a grandes distancias heliocéntricas y se las relacionó con recientes cambios de sus órbitas, en especial una notable disminución de su distancia perihélica. Al alcanzar regiones más cercanas al Sol, la temperatura del núcleo se incrementa provocando la sublimación de hielo por debajo del manto de polvo y la voladura total o parcial de dicho manto, lo que dejaría expuestas zonas superficiales «frescas» ricas en volátiles.

Otro de los temas tratados en esta tesis es la rotación de los cometas. Se han analizado los diferentes métodos de determinación de la rotación de los núcleos y la información que se puede extraer sobre su estructura interna. Se aplicaron diferentes métodos para el estudio de un cometa en particular, el Hale-Bopp. Se utilizaron los datos obtenidos en un extenso programa de seguimiento realizado con los telescopios nocturnos del Observatorio del Teide y el telescopio Jacobus Kapteyn (JKT), del Observatorio del Roque de los Muchachos. Mediante el análisis de las estructuras de polvo de la coma y de la fotometría de la coma interior, se ha determinado el periodo de rotación, la posición del polo norte del núcleo y que el estado rotacional es muy próximo al de mínima energía.



Experimentos Very Small Array (izquierda) y JB-IAC (derecha).

Radiación de fondo

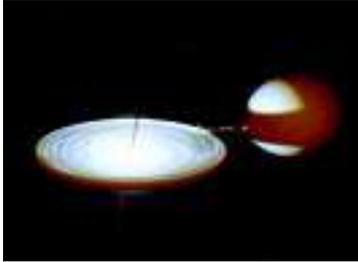
“Estudio interferométrico de las anisotropías de la radiación de fondo”
JOSÉ A. RUBIÑO MARTÍN
Director: *Rafael Rebolo (IAC)*
Fecha: 25/11/02

El descubrimiento de la radiación de fondo en el año 1964 fue uno de los hitos de la Astrofísica que confirmaba una predicción básica de la teoría del Big Bang. Según dicha teoría, esta radiación se generó cuando el Universo tenía 300.000 años, mucho antes de que se formaran las estructuras que vemos hoy día (estrellas, galaxias, cúmulos...). Por esta razón, el estudio de dicha radiación puede proporcionarnos información de las «semillas» que han dado lugar a estas estructuras, que deben manifestarse en forma de irregularidades (anisotropías) en la radiación de fondo. Las anisotropías son del orden de una parte por millón, por lo que no se pudieron detectar hasta el año 1992 con el satélite COBE (*Cosmic Background Explorer*).

En esta tesis se estudian las anisotropías de la radiación de fondo mediante dos experimentos de tipo interferométrico: el JB-IAC y el VSA (*Very Small Array*), ambos situados en el Observatorio del Teide, y operando en frecuencias cercanas a los 30 GHz. Con dichos instrumentos, se han obtenido mapas de cielo sensibles a estructuras de tamaños comprendidos entre los 0,5° y los 2°. Un estudio detallado de los mapas ha demostrado que la emisión dominante no es de tipo galáctico, ni debida a fuentes puntuales no resueltas, ni tampoco, se puede atribuir a cúmulos de galaxias, concluyéndose por tanto, que las estructuras que vemos son debidas a las anisotropías primordiales de la radiación de fondo.

El estudio de los datos obtenidos ha permitido llegar a tres conclusiones: la geometría de nuestro Universo es euclídea (Universo plano); existe un importante contenido de materia oscura, distinta a la materia ordinaria (bariónica); y, finalmente, el 70% del contenido energético del Universo está en forma de lo que se conoce como «energía de vacío». Estos resultados son consistentes con los obtenidos en otros experimentos recientes.

TESIS



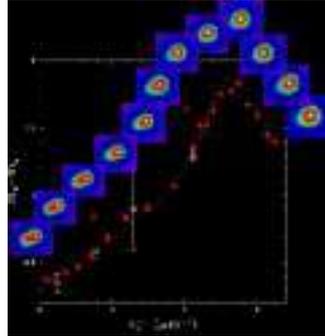
Representación de una binaria de rayos X.
© Rob Hynes

Binarias de rayos X

“Variabilidad y evolución de los discos de acrecimiento en binarias transitorias de rayos X”

CRISTINA ZURITA ESPINOSA
Director: *Jorge Casares (IAC) y Philip A. Charles (Univ. Oxford)*
Fecha: 29/11/02

Las Binarias Transitorias de rayos X son sistemas en los que un objeto compacto (estrella de neutrones o agujero negro) recibe masa de una estrella «normal» de pequeña masa produciendo emisión en rayos X. Estos objetos son conocidos como «transitorios» porque sufren episodios eruptivos, en los que su brillo aumenta drásticamente, seguidos por largos periodos de quietud en los que la emisión viene dominada por la estrella. En este trabajo se ha estudiado la variabilidad de estos sistemas a distintas escalas temporales. Por un lado se ha tratado la variabilidad rápida en quietud (de minutos a horas) y se ha investigado su posible origen. Por otro, se han estudiado las variaciones a más larga escala durante la erupción y posterior caída de brillo (de horas a días) que da información sobre los parámetros del sistema, inestabilidades de marea y de acrecimiento. Para el estudio de la variabilidad rápida se obtuvo fotometría óptica e infrarroja, con la que investigar su mecanismo físico subyacente, así como espectroscopía con la que localizar cinemáticamente el lugar donde ésta se origina. Con esta información se pudo concluir que la variabilidad rápida es una propiedad común a todas las Transitorias en quietud que se origina en el disco por reprocesamiento de rayos X o por recombinación de tubos de flujo magnético en su superficie. En cuanto a las variaciones a largo plazo, el estudio reveló una gran variedad de comportamientos. Entre otras cosas, se determinaron parámetros fundamentales de algunos de los sistemas, se cuantificó el cambio de tamaño de los discos tras la erupción, se detectaron modulaciones por inestabilidades debidas a fuerzas de marea y se obtuvo una evidencia espectroscópica de un disco de acreción excéntrico en las últimas fases de la erupción.



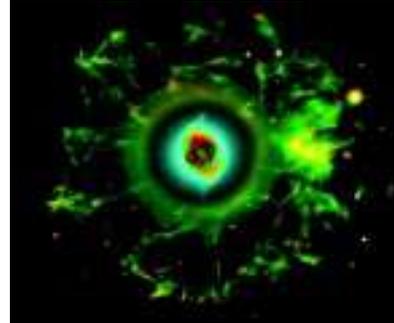
Perfil de magnitudes de la galaxia lente SBS 0909+532 © IAC (Verónica Motta).

Lentes gravitatorias: espectroscopía

“Espectroscopía 2D de sistemas lente gravitatoria”
VERONICA MOTTA CIFUENTES
Director: *Evencio Mediavilla (IAC) y Miquel Serra (IAC)*
Fecha: 4/12/02

La espectroscopía es una de las herramientas más potentes en astrofísica. Mediante esta técnica se puede determinar la composición de la materia que emite la radiación detectada, esto es, gracias a que los átomos emisores siempre lo hacen en unas longitudes de onda determinadas, conocidas por los científicos. En esta investigación se utiliza una nueva técnica, llamada «espectroscopía de campo integral», al estudio de dos sistemas lente gravitatoria. Una de las partes importantes desde el punto de vista técnico ha sido conocer en detalle los errores debidos a la refracción diferencial en la atmósfera para poder eliminarlos y obtener el espectro correcto. También, se han estudiado nuevas aplicaciones experimentales al estudio de estos sistemas. En uno de los casos (Q2237+0305) se han trabajado en detalle los perfiles de línea, relacionándolos con distintas regiones de la galaxia anfitriona del cuásar. En el segundo sistema (SBS0909+532) se han estudiado los mapas del continuo a diferentes longitudes de onda. La comparación de los flujos (B/A) nos ha permitido obtener la primera determinación de una ley de extinción en el ultravioleta más allá del Grupo Local, así como la primera detección de un pico significativo a 2.175 Å en una galaxia a $z=0.83$. En la tesis se ha demostrado que la técnica de espectroscopía de campo integral es más útil que los filtros de banda estrecha para el estudio de las propiedades fotométricas de lentes gravitatorias.

IMAGEN ASTRONÓMICA



Halo de la Nebulosa del Ojo de Gato. © R. Corradi (ING) y D. Goncalves (IAC)

Una imagen tomada por los investigadores Romano Corradi, del Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING), y Denise Gonçalves, del IAC, fue la 'Imagen astronómica del día', del 4 de septiembre. Diariamente, la NASA selecciona una imagen del Universo que se caracteriza por su espectacularidad y la publica en su página web. Ésta es una fotografía de la Nebulosa del Ojo de Gato (NGC 6543), una de las nebulosas planetarias mejor conocidas del cielo. La imagen revela las hermosas simetrías de esta nebulosa, especialmente en la región central. También se puede observar el tenue halo de material gaseoso que la envuelve, extendiéndose tres años luz en torno a ella.

La fotografía fue tomada por el Telescopio Óptico Nórdico (NOT), situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, del IAC. Los colores (falsos) representan la emisión de átomos de los distintos elementos químicos: el rojo corresponde al Nitrógeno, mientras que las tonalidades verdosas y azuladas están asociadas al Oxígeno. Los astrónomos han calculado que las regiones más externas del halo tienen entre 50.000 y 90.000 años.

Las nebulosas planetarias se producen en las últimas etapas de la vida de estrellas como nuestro sol. Cuando acaba su combustible, la estrella no puede contrarrestar la fuerza de la gravedad y colapsa sobre sí misma, calentándose y comenzando nuevas reacciones nucleares en su interior. En las etapas subsiguientes (cuando la estrella se convierte en una Gigante Roja para acabar en una Enana Blanca), más de la mitad de la masa de la estrella es expulsada al exterior en lo que se conoce como "viento estelar". Cuando este gas expulsado se calienta hasta unos 10.000 grados por la acción de la radiación del núcleo estelar, se forman las Nebulosas Planetarias, objetos astronómicos de gran belleza. (Más información en próximo número de IAC Noticias)

De la teoría a la práctica, o viceversa

MAGNETISMO, RADIACIÓN Y FLUIDOS EN ASTROFÍSICA (P5/96)

J. Trujillo Bueno

F. Moreno Insertis, O. Dittmann, A. J. Gómez Peláez, A. Asensio Ramos, R. Manso Sainz, D. Lenz

Colaboradores del IAC: M. Collados, P. Fabiani Bendicho, V. Martínez Pillet, J. Sánchez Almeida

Elevar los ojos o, metafóricamente, el ordenador al cielo para obtener datos no es el único modo de conocer lo que se esconde allí arriba. Romperse la cabeza resolviendo ecuaciones y pensando modelos es otra posibilidad, que se incluye en la denominada Astrofísica Teórica.

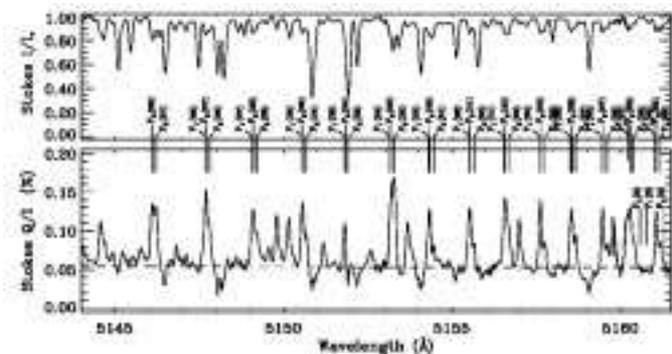
Dentro del proyecto *Magnetismo, radiación y fluidos en Astrofísica*, del IAC, se inscribe la línea de investigación *Astrofísica molecular y transferencia de radiación*, cuyo críptico nombre esconde el estudio teórico, partiendo de observaciones de sistemas astrofísicos, de procesos radiativos y magnetohidrodinámicos. Los primeros se refieren a la energía transportada por partículas u ondas. Los segundos ocurren cuando un campo magnético interactúa con un gas ionizado, es decir, que ha sufrido pérdida o ganancia de electrones.

Un estudio teórico consiste en el desarrollo de herramientas para analizar objetos de forma complementaria a los datos de observación. En este caso, primero se resuelven las ecuaciones que rigen los procesos radiativos y magnetohidrodinámicos; después, se comparan los resultados con las observaciones existentes y se elaboran modelos descriptivos sobre cómo es y actúa la luz, es decir, se buscan patrones para el espectro de objetos celestes. En resumen, se trata de desarrollar herramientas y utilizarlas para estudiar multitud de objetos, mayoritariamente fríos, aunque también el Sol.

El espectro de un objeto es como el arco iris que aparece cuando la luz atraviesa un prisma, sobre él se pueden leer los elementos químicos que constituyen el objeto. Un átomo es la mínima parte de un elemento químico capaz de participar en una reacción. Está formado por un núcleo con protones y neutrones alrededor del cual giran los electrones. La combinación de uno o más átomos diferentes, que forman la mínima unidad de un compuesto, se denomina molécula, por ejemplo en el agua es H₂O. El magnetismo es el conjunto de fenómenos físicos por los cuales los imanes y las corrientes eléctricas inducidas generan movimientos de atracción y repulsión. Los modelos descriptivos de las propiedades de la luz permiten conocer cómo es y qué dinámica presenta el campo magnético en las atmósferas de las estrellas y en los gases del medio interestelar. Un modo de estudiar el campo magnético es ver cómo se origina y transporta la radiación polarizada (la que vibra en un solo plano) en plasmas magnetizados. El plasma es un estado de la materia -el cuarto, junto al sólido, al líquido y al gaseoso- que aparece porque un exceso de calor arranca los electrones de los átomos dejando iones de carga positiva mezclados aleatoriamente con ellos. La materia del interior

de las estrellas y de la mayoría de nebulosas está en forma de plasma. En este proyecto se busca extrapolar las técnicas previamente utilizadas en la elaboración de modelos de espectros de objetos (estrellas, nebulosas, etc.) para átomos a una complicación superior, esto es, para moléculas. Como los espectros de moléculas son, en general, más complejos que los de los átomos, se tienen que considerar muchos niveles energéticos para que los modelos funcionen, lo que complica el estudio.

En esta línea, se ha diseñado un código que calcula el espectro de un objeto esférico para cualquier molécula con un modelo conocido; también se están estableciendo otros códigos que permitan apreciar la influencia de los campos magnéticos en la polarización de las líneas espectrales y se han desarrollado cálculos para la obtención de abundancias atómicas y moleculares a lo largo del tiempo. Esto último tiene varias aplicaciones, entre otras conocer la composición de las atmósferas de planetas o el proceso de formación de moléculas complejas.



En la parte superior se aprecia el espectro del Sol y en la inferior el llamado "segundo espectro solar", que es el espectro de polarización lineal.

Material elaborado por ANDRÉS ASENSIO RAMOS, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

Tras la pista de los agujeros negros

NATURALEZA Y EVOLUCIÓN DE BINARIAS DE RAYOS X (P10/97)

J. Casares

C. Zurita, T. Shahbaz, I. G. Martínez-Pais, G. Israelian, A. Herrero

Más del 50% de las estrellas de nuestra galaxia forman parte de sistemas binarios en los que, atrapadas por su mutua atracción gravitatoria, giran alrededor de un centro de masas común. Imaginemos que uno de los componentes es un objeto compacto, ya sea un agujero negro o una estrella de neutrones, y el otro una estrella de poca masa, menor que la del Sol. A estudiar este tipo de sistemas, denominados “Binarias de rayos X de baja masa”, es a lo que se dedica el proyecto *Naturaleza y evolución de binarias de rayos X* del IAC. Estos sistemas son especialmente importantes porque han proporcionado las primeras evidencias de agujeros negros en nuestra galaxia, con 13 casos conocidos actualmente. Ésta es la punta del iceberg de una población estimada de 3.000 agujeros negros en binarias de rayos X en la Vía Láctea.

Los objetos compactos son el resultado de la explosión de una supernova, la última fase evolutiva de las estrellas muy masivas que, cuando agotan su combustible, se vuelven inestables, se contraen y explotan liberando mucha energía y aumentando su luminosidad varios millones de veces. Gran parte de su masa va al medio interestelar y el núcleo se convierte en una estrella de neutrones o en un agujero negro.

Un agujero negro es así, negro, porque su poderosa gravedad superficial hace que nada escape a su atracción, ni siquiera la luz. Al no emitirse ningún tipo de luz en su superficie, no puede ser observado directamente, pero puede ser detectado por su influencia gravitatoria cuando es miembro de un sistema binario estelar.

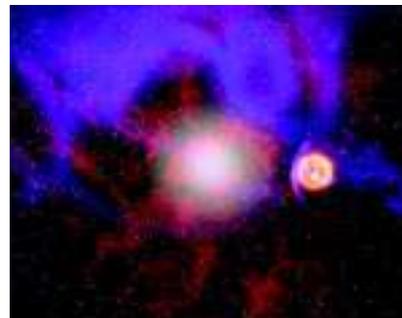
Una estrella de neutrones se compone sólo de estas partículas porque ha habido fusión de los núcleos atómicos causada por un fuerte colapso gravitatorio. Extraordinariamente densa, este tipo de estrella posee una cantidad de materia similar a la del Sol en una esfera de 10 km de diámetro, y, en sus inicios, emite pulsos de radiación electromagnética en períodos cortos y regulares, por lo que también se denomina pulsar.

Los sistemas binarios de rayos X de baja masa emiten, como indica su nombre, en rayos X debido a la caída o acrecimiento de materia sobre el objeto compacto. Esto es, parte del material de la estrella de baja masa es «arrancado» por el agujero negro y «tragado» por él. Sin embargo, el gas perdido por la estrella no cae directamente sobre el objeto compacto sino que forma un disco a su alrededor debido a su elevado momento angular específico. Durante la caída sobre el objeto compacto, el gas puede alcanzar temperaturas de varios millones de grados, lo que explica la emisión de rayos X observada.

Dentro de estos sistemas, se distingue el subgrupo de las “Binarias transitorias de rayos X”, caracterizado por sufrir erupciones causadas por inestabilidades en el disco. Estas erupciones ocurren raramente –tardan décadas en repetirse– y duran unos meses. Se detectan mediante satélites de rayos X. En los intervalos en los que el sistema está en quietud domina la emisión óptica de la estrella compañera, lo que hace posible el estudio de sus propiedades. Por ejemplo, la medición del movimiento orbital de la

estrella alrededor del agujero negro permite deducir la masa de este último. De hecho, ha sido lo que ha hecho posible conocer la existencia de agujeros negros en nuestra galaxia, la Vía Láctea.

El proyecto del IAC tiene entre sus objetivos descubrir algunas de las incógnitas respecto a estos sistemas como, por ejemplo, qué causa la variabilidad rápida en el disco del sistema V404 Cyg durante la etapa de quietud. [En este sistema se confirmó en 1992 la existencia del primer agujero negro como tal]. Dicha variabilidad parece común a todos los sistemas transitorios, por lo que su análisis podría dar nuevas claves sobre los mecanismos de acreción y las propiedades de los discos. Con los telescopios de los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos, se ha hecho un seguimiento continuo de las últimas transitorias de rayos X descubiertas que nos ha permitido descubrir nuevos agujeros negros y obtener las primeras evidencias observacionales de la evolución de sus discos. Entender cómo evolucionan los discos desde que ocurre la erupción hasta que llegan al estado de quietud es necesario para conocer los procesos físicos que tienen lugar y entender las grandes variaciones que se producen en estos sistemas durante su ciclo.



Simulación artística que ilustra el inicio de la captura de materia estelar por un agujero negro. Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

Material elaborado por ANNIA DOMÈNECH.

Mensajeros del pasado

ANISOTROPÍA DEL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS
(P5/86)

R. Rebolo

C. M. Gutiérrez, J. A. Rubiño, S. Fernández Cerezo, J. Gallegos

Colaboradores del IAC: J. M. Herreros, P. Sosa

Podemos conocer cómo era el Universo en el pasado ya que la radiación, que es el vehículo informativo, tarda un tiempo en recorrer el espacio desde donde fue emitida hasta que la recibimos en el telescopio. Es una carta cuyo contenido ha quedado anticuado cuando se recibe. Incluso desde el Sol, tan cercano como parece, la luz tarda casi diez minutos en llegar a la Tierra. La radiación más antigua observada es la del fondo cósmico de microondas o radiación de fondo; una radiación que nos llega desde todas las direcciones del espacio con espectro de cuerpo negro a una temperatura en torno a 3°K (-270° C), y por tanto de intensidad máxima entre 100 y 300 GHz. La existencia de dicha radiación es explicada por la teoría del Big Bang, según la cual el Universo se originó a partir de una explosión primordial. Transcurrido cierto tiempo, en el recién formado y todavía caliente Universo, cuando la temperatura había descendido hasta unos 3.300° K se daban las condiciones para la formación de átomos de hidrógeno a partir de los electrones y protones presentes (proceso de recombinación), que se encontraban en constante interacción con un gas de fotones. Tiempo después, cuando la proporción de átomos de hidrógeno era mayoritaria, se produjo el desacoplo entre la radiación y la materia. Desde entonces, dichos fotones han viajado por el Universo conservando las propiedades que tenían en el momento de su emisión, a no ser por la pérdida de temperatura debida a la expansión del Universo, enfriándose desde los aproximadamente 3.300° K hasta los 3° K actuales.

En un principio, la comunidad científica no prestó mucha atención a la posible existencia de la radiación de fondo, a pesar de que fue predicha por Gamow en los años 40, debido a la controversia existente en torno al modelo del Big Bang y a las grandes dificultades que entrañaba su medida, ante la baja intensidad prevista para dicha radiación. En 1965, Penzias y Wilson detectaron, de forma casual, una señal de temperatura en torno a 3°K procedente de todas las direcciones. Se había descubierto la radiación cósmica de microondas. La existencia de un fondo de radiación isotropa, es decir, con una temperatura uniforme independiente de la dirección de observación, está basada en las suposiciones de un Universo homogéneo e isotropo a gran escala, pero al observar el Universo en escalas angulares menores éste se aleja de dicha homogeneidad e isotropía. Para tener un modelo completo del Universo es necesario disponer de algún mecanismo que explique la distribución de materia observada. Actualmente se cree que en el Universo temprano se generaron pequeñas fluctuaciones en la densidad de materia, que se desarrollaron hasta dar lugar a las estructuras que observamos hoy en día. Dichas fluctuaciones habrían dejado su impronta en la radiación de fondo en forma de distorsiones de la isotropía de la radiación (denominadas anisotropías). La medida precisa del fondo cósmico de microondas se presenta como un test muy potente a los modelos cosmológicos: para que un modelo cosmológico pueda darse como válido, no sólo ha de dar cuenta de la distribución de materia actual; sino que debe aportar predicciones consistentes con las propiedades observadas en la radiación de fondo.

En 1992, el satélite COBE cartografió todo el cielo a 31,5, 53 y 90 GHz con una resolución angular de 7 grados, produciéndose la primera detección de anisotropías de origen cosmológico con una amplitud de unas pocas decenas de mK (cinco órdenes de magnitud por debajo del nivel de isotropía). Al mismo tiempo, desde el Observatorio del Teide se llevaba a cabo el Experimento de Tenerife, con el que se obtuvieron las primeras detecciones desde tierra de dichas estructuras, en frecuencias más bajas a las observadas por COBE. Desde entonces se han realizado numerosos experimentos para medir con mayor precisión y detalle las fluctuaciones, tanto desde tierra como utilizando globos aerostáticos. Actualmente hay dos misiones espaciales previstas, el satélite MAP de la NASA que en octubre de 2001 inició las observaciones; y el satélite PLANCK de la ESA, cuyo lanzamiento está previsto para el 2007. Ambos satélites realizarán mapas de la radiación de fondo en todo el cielo con elevada resolución. Los estudios desde el espacio presentan la gran ventaja de no tener que soslayar las dificultades que implica la existencia de la atmósfera terrestre.

A las frecuencias típicas de observación de la radiación cósmica de microondas, existen



Cosmo15. La radiación se refleja en el espejo giratorio hacia el parabólico que la focaliza en la antena que está en el interior del criostato, tras la cual se inician las diferentes etapas de amplificación de la señal.

Material elaborado por SILVIA FERNÁNDEZ CERREZO, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

PROYECTOS

otras emisiones de origen astrofísico (principalmente, la emisión de nuestra galaxia y de radiofuentes extragalácticas). El estudio de estos contaminantes de la radiación de fondo, tiene doble motivación: por una parte, es de interés intrínseco y, por otra, su caracterización es muy importante para cuantificar su contribución a las observaciones de la radiación de fondo y separar ambas componentes.

Con el fin de generar mapas a diferentes frecuencias de la radiación de fondo y de sus contaminantes, se diseñó el experimento COSMOSOMAS dentro del proyecto *Anisotropías del Fondo Cósmico de Microondas* del IAC. COSMOSOMAS cuenta con dos instrumentos, casi gemelos, COSMO10 (observa a 10 GHz, en dos polarizaciones ortogonales) y COSMO15 (observa a 13, 15 y 17 GHz). A la vista, parecen inmensos platos girando incesantemente sin una finalidad obvia. Lo cierto es que se trata de espejos rastreando el cielo en anillos de veinte grados de diámetro que en un día de observación cubren una banda del cielo de unos 7.000 grados cuadrados con una resolución de 1°.

En los mapas diarios no se aprecian anisotropías en la radiación de fondo ya que la magnitud de las mismas es muy pequeña y están enmascaradas por el ruido del sistema. Sin embargo, mediante la acumulación de observaciones de una misma región del cielo la importancia del ruido disminuye, mientras que la señal de la radiación de fondo, que es constante en el tiempo, se percibe cada vez mejor. El número de observaciones de la

misma zona del cielo necesarias para detectar estas fluctuaciones depende de la sensibilidad del instrumento; con COSMOSOMAS se requieren en torno a 200 días de observación de una misma zona. Actualmente se dispone de unos 130 mapas procesados a 13, 15 y 17 GHz, con lo que se ha obtenido un mapa para cada frecuencia con un nivel de ruido de unos 80 mK por haz (~165 mJy). Durante la espera se estudian las características de los datos con el fin de diseñar las técnicas de análisis estadístico idóneas que permitan a partir de las observaciones lograr la detección de anisotropías en la radiación de fondo y cuantificar la contribución de los contaminantes.

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

El término *asteroide*

¿Qué son los *asteroides*? Hasta hace un siglo se creía que estos objetos rocosos de nuestro Sistema Solar, pequeños planetas descubiertos dos siglos atrás, eran restos de un planeta mayor que se había disgregado. El hecho de que el material conjunto de todos ellos sea inferior a una milésima parte¹ la masa de la Tierra ha permitido descartar esa hipótesis, aunque también es posible que los asteroides sean el resultado de un sinfín de choques entre unos objetos originales de mayor tamaño. Sin embargo, ahora se piensa que probablemente sean trozos de materia que se condensó cuando se formaron los planetas, pero que lo hizo en pequeños fragmentos, no en grandes masas. Estos fragmentos se concentraron en el llamado *cinturón de asteroides* que gira alrededor del Sol. Veamos ahora cuál fue la génesis del propio término *asteroide*, del cual *planetoides*, *planetas menores*, *pequeños planetas* o *miniplanetas* pretenden ser sinónimos. Cuando fueron descubiertos, los astrónomos no sabían cómo llamarlos. Eran como planetas, pero no unos planetas convencionales. Su descubridor, Giuseppi Piazzi (1746-1826), sugirió el término *planetoides* o *cometoides*, basándose en que su movimiento en el Sistema Solar recordaba al de los planetas o al de los cometas. Pero el término no cuajó, aunque algunos astrónomos hoy lo usan (especialmente para referirse a los cuerpos más pequeños de este tipo dentro y fuera del Sistema Solar).

Fue el astrónomo inglés William Herschel quien primero propuso el término *asteroides*, basándose en el hecho de que estos objetos, dispersos entre las estrellas fijas, se asemejaban tanto a éstas que no podían distinguirse de ellas. «Si quisiéramos llamarlos planetas, agregaba Herschel, no podrían ocupar el espacio intermedio entre Marte y Júpiter con la debida dignidad»². También propuso *auratoides*, este último, que pronto cayó en desuso, basado en el griego *auratos*, que significa «invisible», ya que estos cuerpos no pueden observarse a simple vista, con la excepción del asteroide llamado *Vesta*³.

Al final eligieron *asteroides* por su apariencia estelar, del griego *aster*, que significa «estrella», con el sufijo *-oide*, que quiere decir «parecido», del griego *eidos*, «forma», aunque evidentemente los asteroides no son estrellas. Sin embargo, esta preferencia no se ha dado igual en otros idiomas, como contaba Abetti: «Las investigaciones posteriores le han dado toda la razón a Piazzi [a quien nunca le parecieron bien los razonamientos de Herschel sobre cómo llamar a estos objetos] y el nombre impropio de *asteroide*, a pesar de que se usa aún de cuando en cuando, se va olvidando cada vez más y queda el de 'pequeños planetas'»⁴. Hoy, tanto en inglés como en español,

asteroide es más común que *pequeño planeta*, aunque los dos términos se usan con frecuencia.

El astrónomo austriaco Joseph von Littrow (1781-1840) propuso ya tarde llamarlos *zenadeiros*, que resultaba de combinar los nombres griegos de Júpiter y Marte (de *Zeus*, en genitivo *Zenos*, y *Ares*). Con este nombre se indicaba la posición de los asteroides entre estos dos planetas.

Los asteroides eran objetos astronómicos completamente nuevos que necesitaban un nombre. ¿Qué tipo de sistema de nomenclatura había de seguirse? Después de todo eran planetas, y estaban situados en una órbita planetaria en el Sistema Solar. Por lo tanto, estaba claro que, al menos los primeros descubrimientos, debían llevar nombres clásicos, como los de los planetas «reales». En la práctica fue ese el sistema que se adoptó, pero eso es una historia para otro número de *IAC Noticias*.

CARMEN DEL PUERTO (IAC)

NOTAS

¹ *Ceres*, el mayor de los asteroides, es la 1/5.000 de la masa de la Tierra.

² ABETTI, Giorgio. *Historia de la Astronomía*. Trad. de Alejandro Rossi. Fondo de Cultura Económica. Breviarios 118. México-Buenos Aires, 1966, 2ª edición. Pág. 209.

³ ROOM, Adrian. *Dictionary of Astronomical Names*. Routledge. London, 1988. Pág. 31.

⁴ ABETTI, *op. cit.* Pág. 209.

Conferencias

FRANCISCO SÁNCHEZ

- «El cielo de Canarias, recurso natural modelo de explotación científica, tecnológica y cultural» (8/8). OFITE, Universidad Politécnica de Madrid. Seminario de Innovación, Tecnología, Economía y Sociedad.
- «Catástrofes cósmicas» (11/9). Conferencia pública de la V reunión científica de la SEA, Toledo.
- «Catástrofes cósmicas» (13/12). VII Jornadas de Astronomía de Cartagena.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO

- «Una estrella de película» (18/7). Palacio de Congresos, Maspalomas. Curso «El cielo desde Canarias», de la Universidad de Verano de Maspalomas.
- «Una estrella de película» (30/10). Colegio Montessori, Salamanca.
- «¡Científicamente probado!» (21/11). Instituto de Astrofísica de Andalucía.
- «Un tiempo para el espacio». Sección del programa de radio «Canarias Innova».

JUAN ANTONIO BELMONTE

- «El cielo de los canarios antes de los telescopios» (07/02). Universidad de Verano de Maspalomas, Gran Canaria.
- «Astronomía en Egipto» (11/02). Facultad de Humanidades, Universidad Carlos III, Madrid.

ANGEL LÓPEZ SÁNCHEZ

- «Retos de la Astrofísica del siglo XXI» (18/7). Escuela de verano de la Universidad de Maspalomas, Gran Canaria.
- «La Evolución del Universo» (10/12). Colegio Salesianos de Córdoba.

- «El Sistema Solar» (10/12). Colegio Salesianos de Córdoba.
- «La Astrofísica del siglo XXI» (11/12). Escuela privada de Magisterio de Córdoba.
- «¿Qué es lo que sabemos del Universo?» (17/12). Instituto de Educación Secundaria "Padre Majón", Granada.
- «Retos de la Astrofísica del siglo XXI» (20/12). Sociedad Astronómica Granadina.

CLARA RÉGULO

- «Cómo nacen y mueren las estrellas» (julio). Universidad de verano de Maspalomas. Enmarcada en el curso «El cielo desde Canarias».

BERNABÉ CEDRÉS EXPÓSITO

- «Astronomy in Canary Islands» (15/10). Universidad de Wakayama, Japón.

MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO

- «¿Hay alguien ahí?, búsqueda de inteligencia ET» (30/10). Salón de actos del Ayuntamiento de La Victoria de Acentejo, dentro del ciclo de charlas «Los jueves hablamos de ciencia».

CÉSAR ESTEBAN

- «El origen de los elementos químicos en el Universo: del Big Bang a las supernovas» (10/02). Coloquios laguneros de física, Facultad de Física, Universidad de La Laguna.
- «Arqueoastronomía y cultura ibérica: primeros datos» (12/02). Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Valencia.

Premios

PREMIOS PARA JÓVENES

La XIII edición de los premios para jóvenes científicos convocados por la Comisión Europea (*EU Contest for Young Scientists*) como parte de su programa de potencial humano (*Improving Human Potential Programme*), celebrada en Bergen (Noruega) en septiembre de 2001, recayó sobre tres proyectos, correspondientes a Thomas Aumeyr y Thomas Morocutti (Austria), Sebastian Abel (Alemania) y James Lee Mitchell (Reino Unido). Estos estudiantes recibieron el premio especial del jurado para participar en proyectos organizados por el ENO (*European Northern Observatory*), por lo que disfrutaron de una semana de estancia en el IAC en agosto.

PREMIOS "CANARIAS INNOVA"

El programa de radio de promoción y divulgación científica CANARIAS INNOVA, realizado por el IAC en colaboración con RNE en Canarias, ha sido premiado con un *Accésit* por la Fundación Canaria de Salud y Sanidad de Tenerife, en la convocatoria de premios de Periodismo 2002, bajo la modalidad de Televisión y Radio, por sus programas emitidos sobre investigaciones médicas.

Visitas

JORNADA DE PUERTAS ABIERTAS

Los días 14 de julio y 15 de agosto se celebraron sendas jornadas de Puertas Abiertas en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de la Palma. Estas jornadas tuvieron un gran éxito de participación: 1.646 visitantes en la primera y 2.583 en la segunda. Las instalaciones visitadas fueron los telescopios "William Herschel", Mercator, Telescopio Nacional "Galileo", Telescopio Óptico Nórdico y el Experimento HEGRA.

"En Roque"



El 23 de noviembre Anatoli Karpov visitó el telescopio "William Herschel", de 4,2m, del Grupo Isaac Newton (ING) y situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Durante su estancia en Canarias, disputó 24 partidas de forma simultánea con personas de las distintas Islas. Con tanto movimiento, la red se saturó y la mayor parte de las partidas acabaron en tablas. El contrincante en el Observatorio fue el astrónomo Chris Benn, del ING.

En la foto superior, Anatoli Karpov visitando el telescopio «William Herschel», acompañado de Chris Benn, del ING, quien aparece en la foto inferior jugando la partida de ajedrez desde el Observatorio del Roque de los Muchachos. Fotos: Javier Méndez y Ana Lozano.

DIVULGACIÓN

ACUERDOS

“Hijos de las estrellas”

DANIEL ALTSCHULER
 Fecha: 11/10/02
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife

La humanidad siempre ha buscado respuestas a las existenciales preguntas sobre ¿Quiénes somos? o ¿Dónde estamos? A lo largo de la historia -recuerda Daniel Altschuler- se han producido cambios radicales sobre la concepción del mundo. Ahora, podríamos decir que el Universo es más comprensible, básicamente, todo se reduce a las diversas manifestaciones de tres únicas partículas: protones, neutrones y electrones. Todos tenemos un origen común que permite explicar el movimiento de los planetas, el origen de la vida, el Sol y el ciclo de las estrellas, sin necesidad de recurrir a la magia.



Diseño: Miriam Cruz

Sin embargo, estamos sometidos a diversos peligros como los meteoritos, cuerpos potencialmente peligrosos si llegan a impactar contra la Tierra. Pero no todos vienen de más allá de la atmósfera, otros peligros los hemos provocado desde aquí. La superpoblación o el efecto invernadero son algunos ejemplos. Otra de las preguntas para la que de momento no existen respuestas es: ¿Somos el único planeta con vida del Universo? El proyecto SETI lleva desde 1974 buscando alguna prueba de esa existencia. En cualquier caso las distancias cósmicas hacen que la probabilidad de contactar con vida inteligente extraterrestre sea realmente pequeña. Aun así, hay quien cree que «ya están aquí».

ACUERDO CON EL AIP
 Fecha 25/7/02

Acuerdo entre el Astrophysikalisches Institut Postdam, miembro principal, y el IAC, entre otras instituciones, dentro del programa «Mejora del potencial humano de investigación y la base de conocimiento socio-económico». El proyecto consiste en una colaboración en un programa de formación de investigadores que lleva por título: «Fomento de la espectroscopia 3D en Europa».

CESIÓN DE PATENTE
 Fecha 4/7/02

Acuerdo entre el IAC y The Regents of the University of California, en Santa Bárbara, para el uso de la patente del diseño de un componente de microondas. Actualmente ambas entidades participan en varios experimentos sobre radiación cósmica de fondo, aportando principalmente instrumentación de alta tecnología.

“La Física de Star Trek”

Lawrence M.Krauss
 Fecha: 20/11/2002
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos. Conferencia de divulgación con motivo de la «Escuela de Invierno».



Tomando como excusa la popular saga televisiva, el Prof. Lawrence Krauss, de la Universidad Case Western Reserve de Ohio (Estados Unidos), explicó diversos aspectos relacionados con la astrofísica y la tecnología reflejados en esta serie, discutiendo hasta qué punto son posibles.

“Cómo se forman las galaxias”

Joseph Silk
 Fecha: 27/11/2002
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos. Conferencia de divulgación con motivo de la Escuela de Invierno sobre Materia y Energía oscuras.



Diseño: Miriam Cruz

En esta charla, el Prof. Joseph Silk de la Universidad de Oxford, habló de los modelos que explican la formación galáctica y el papel que en este proceso desempeña la «materia oscura». Esta materia es uno de los componentes más importantes del Universo y constituye más del 90% de la masa de las galaxias. Sin embargo, los astrónomos aún no saben cuál es la naturaleza de este «ingrediente» cósmico.

OBSERVACIÓN DE UNA LLUVIA DE ESTRELLAS
 Fecha 20/11/02

Acuerdo entre la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología y el IAC para la financiación del proyecto «Observación de una lluvia de estrellas desde las escuelas». El objetivo es promover una acción de divulgación científica destinada a alumnos de secundaria que consiste en una observación astronómica real. La observación se realizó el 18 y 19 de noviembre con motivo de las Leónidas.

INSTALACIÓN DEL MERCATOR
 Fecha 21/11/02

Convenio entre el Instituut Woor Sterrenkunde K. U. Leuven y el IAC para la instalación del telescopio Mercator en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Con este acuerdo, el IAC obtendrá un 20% del tiempo de observación del telescopio y los instrumentos que incorpora. Este tiempo será distribuido por el IAC entre instituciones españolas y otras entidades colaboradoras de cualquier país.

Reflejo del cosmos



Título: *Reflejo del cosmos*
Subtítulo: Atlas de arqueoastronomía del mediterráneo antiguo
Autores: Juan Antonio Belmonte y Michael Hoskin
Edita: Equipo Sirius, S.A.
ISBN: 84-95495-32-5
403 Págs.

Este libro es fruto de más de una década de trabajo de investigación arqueoastronómica. Juan Antonio Belmonte es coordinador del proyecto de Arqueoastronomía en el IAC y Michael Hoskin, profesor emérito de Historia y Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Cambridge. La Arqueoastronomía es una ciencia que estudia la relación entre Astronomía y cultura. Los autores, que ya han escrito en otras ocasiones sobre este tema, hacen un recorrido en el tiempo y por el espacio a lo largo de todo el Mediterráneo mostrando aquellas construcciones de la antigüedad que presentan una orientación relacionada con la Astronomía. De esta forma se quiere establecer la relación entre las distintas culturas que se instalaron en la ribera de este mar y su visión y conocimiento del cosmos y de los fenómenos astronómicos. Aparte de construcciones y esculturas, mayoritariamente de carácter religioso, también existen pinturas rupestres sobre las que se presentan algunas teorías de su relación con los astros. En total se presentan 88 obras, cada una de ellas con su explicación, bibliografía y unas breves indicaciones de cómo llegar al lugar donde está situada la construcción.

BIBIANA BONMATÍ (IAC)

Historia de la Astronomía



Título: *Historia de la Astronomía*
Colección: Flash más
Autor: Ángel Gómez Roldán
Edita: Acento
ISBN: 84-483-0694-5
144 Págs.

Como la misma colección ya indica, esta Historia de la Astronomía es un «flash» de personajes, sucesos y teorías, relacionados con la Astronomía a lo largo del tiempo. Este breve paseo se inicia en la Prehistoria pasando por las culturas antiguas, para llegar al Medievo, el Renacimiento y la Edad Moderna. En esta última época es donde se centra más el autor, observador del IAC en el Observatorio del Teide y actual Redactor-Jefe de la revista *Tribuna de Astronomía y Universo*. Aparte de la evolución cronológica se refleja la expansión espacial que se produce a medida que avanzamos en el tiempo ya que el conocimiento del cosmos se amplía y mejora. Paralelamente, se relaciona la evolución cultural de cada época y la concepción del mundo por medio de hechos que son determinantes para el conocimiento astronómico. Otro de los temas tratados es la instrumentación utilizada en Astronomía, haciendo especial hincapié en el telescopio.

BIBIANA BONMATÍ (IAC)

Caosyciencia



En agosto de 2002 nació *Caosyciencia*. Tras sus primeros pasos, la revista llegó a los 1.000 suscriptores, en diciembre. En este tiempo ha habido de todo: agujeros negros, canibalismo galáctico, relatividad, máquina del tiempo, etc. Siempre amenizado con espectaculares videos y fotografías. La originalidad y creatividad han tenido «caosyciencia» que sigue abierta a todos aquellos que quieran decir, explicar, comentar, criticar, expresar, inquietar, sorprender, recordar... ¡El cosmos, da mucho que hablar!

<http://www.caosyciencia.com/>

GTCdigital



En octubre de 2002 se puso en marcha el boletín *GTCdigital*. El objetivo es ofrecer a aquellas personas, medios e instituciones que puedan estar interesados, un boletín periódico que informa puntualmente de la evolución del Gran Telescopio CANARIAS. Una de las novedades son dos cámaras webcam situadas, una en el interior y otra en el exterior del GTC, que permiten seguir «en directo» el desarrollo de las obras.

<http://www.gtcdigital.net/>

Conferencias

FRANCISCO SÁNCHEZ

- «El cielo de Canarias, recurso natural modelo de explotación científica, tecnológica y cultural» (8/8). OFITE, Universidad Politécnica de Madrid. Seminario de Innovación, Tecnología, Economía y Sociedad.
- «Catástrofes cósmicas» (11/9). Conferencia pública de la V reunión científica de la SEA, Toledo.
- «Catástrofes cósmicas» (13/12). VII Jornadas de Astronomía de Cartagena.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO

- «Una estrella de película» (18/7). Palacio de Congresos, Maspalomas. Curso «El cielo desde Canarias», de la Universidad de Verano de Maspalomas.
- «Una estrella de película» (30/10). Colegio Montessori, Salamanca.
- «¡Científicamente probado!» (21/11). Instituto de Astrofísica de Andalucía.
- «Un tiempo para el espacio». Sección del programa de radio «Canarias Innova».

JUAN ANTONIO BELMONTE

- «El cielo de los canarios antes de los telescopios» (07/02). Universidad de verano de Maspalomas, Gran Canaria.
- «Astronomía en Egipto» (11/02). Facultad de Humanidades, Universidad Carlos III, Madrid.

ANGEL LÓPEZ SÁNCHEZ

- «Retos de la Astrofísica del siglo XXI» (18/7). Escuela de verano de la Universidad de Maspalomas, Gran Canaria.
- «La Evolución del Universo» (10/12). Colegio Salesianos de Córdoba.

- «El Sistema Solar» (10/12). Colegio Salesianos de Córdoba.
- «La Astrofísica del siglo XXI» (11/12). Escuela privada de Magisterio de Córdoba.
- «¿Qué es lo que sabemos del Universo?» (17/12). Instituto de Educación Secundaria "Padre Majón", Granada.
- «Retos de la Astrofísica del siglo XXI» (20/12). Sociedad Astronómica Granadina.

CLARA RÉGULO

- «Cómo nacen y mueren las estrellas» (julio). Universidad de verano de Maspalomas. Enmarcada en el curso «El cielo desde Canarias».

BERNABÉ CEDRÉS EXPÓSITO

- «Astronomy in Canary Islands» (15/10). Universidad de Wakayama, Japón.

MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO

- «¿Hay alguien ahí?, búsqueda de inteligencia ET» (30/10). Salón de actos del Ayuntamiento de La Victoria de Acentejo, dentro del ciclo de charlas «Los jueves hablamos de ciencia».

CÉSAR ESTEBAN

- «El origen de los elementos químicos en el Universo: del Big Bang a las supernovas» (10/02). Coloquios laguneros de física, Facultad de Física, Universidad de La Laguna.
- «Arqueoastronomía y cultura ibérica: primeros datos» (12/02). Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Valencia.

Premios

PREMIOS PARA JÓVENES

La XIII edición de los premios para jóvenes científicos convocados por la Comisión Europea (*EU Contest for Young Scientists*) como parte de su programa de potencial humano (*Improving Human Potential Programme*), celebrada en Bergen (Noruega) en septiembre de 2001, recayó sobre tres proyectos, correspondientes a Thomas Aumeyr y Thomas Morocutti (Austria), Sebastian Abel (Alemania) y James Lee Mitchell (Reino Unido). Estos estudiantes recibieron el premio especial del jurado para participar en proyectos organizados por el ENO (*European Northern Observatory*), por lo que disfrutaron de una semana de estancia en el IAC en agosto.

PREMIOS "CANARIAS INNOVA"

El programa de radio de promoción y divulgación científica CANARIAS INNOVA, realizado por el IAC en colaboración con RNE en Canarias, ha sido premiado con un *Accésit* por la Fundación Canaria de Salud y Sanidad de Tenerife, en la convocatoria de premios de Periodismo 2002, bajo la modalidad de Televisión y Radio, por sus programas emitidos sobre investigaciones médicas.

Visitas

JORNADA DE PUERTAS ABIERTAS

Los días 14 de julio y 15 de agosto se celebraron sendas jornadas de Puertas Abiertas en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de la Palma. Estas jornadas tuvieron un gran éxito de participación: 1.646 visitantes en la primera y 2.583 en la segunda. Las instalaciones visitadas fueron los telescopios "William Herschel", Mercator, Telescopio Nacional "Galileo", Telescopio Óptico Nórdico y el Experimento HEGRA.

"En Roque"



El 23 de noviembre Anatoli Karpov visitó el telescopio "William Herschel", de 4,2m, del Grupo Isaac Newton (ING) y situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Durante su estancia en Canarias, disputó 24 partidas de forma simultánea con personas de las distintas Islas. Con tanto movimiento, la red se saturó y la mayor parte de las partidas acabaron en tablas. El contrincante en el Observatorio fue el astrónomo Chris Benn, del ING.

En la foto superior, Anatoli Karpov visitando el telescopio «William Herschel», acompañado de Chris Benn, del ING, quien aparece en la foto inferior jugando la partida de ajedrez desde el Observatorio del Roque de los Muchachos. Fotos: Javier Méndez y Ana Lozano.

DIVULGACIÓN

ACUERDOS

“Hijos de las estrellas”

DANIEL ALTSCHULER
 Fecha: 11/10/02
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife

La humanidad siempre ha buscado respuestas a las existenciales preguntas sobre ¿Quiénes somos? o ¿Dónde estamos? A lo largo de la historia -recuerda Daniel Altschuler- se han producido cambios radicales sobre la concepción del mundo. Ahora, podríamos decir que el Universo es más comprensible, básicamente, todo se reduce a las diversas manifestaciones de tres únicas partículas: protones, neutrones y electrones. Todos tenemos un origen común que permite explicar el movimiento de los planetas, el origen de la vida, el Sol y el ciclo de las estrellas, sin necesidad de recurrir a la magia.



Diseño: Miriam Cruz

Sin embargo, estamos sometidos a diversos peligros como los meteoritos, cuerpos potencialmente peligrosos si llegan a impactar contra la Tierra. Pero no todos vienen de más allá de la atmósfera, otros peligros los hemos provocado desde aquí. La superpoblación o el efecto invernadero son algunos ejemplos. Otra de las preguntas para la que de momento no existen respuestas es: ¿Somos el único planeta con vida del Universo? El proyecto SETI lleva desde 1974 buscando alguna prueba de esa existencia. En cualquier caso las distancias cósmicas hacen que la probabilidad de contactar con vida inteligente extraterrestre sea realmente pequeña. Aun así, hay quien cree que «ya están aquí».

ACUERDO CON EL AIP
 Fecha 25/7/02

Acuerdo entre el Astrophysikalisches Institut Postdam, miembro principal, y el IAC, entre otras instituciones, dentro del programa «Mejora del potencial humano de investigación y la base de conocimiento socio-económico». El proyecto consiste en una colaboración en un programa de formación de investigadores que lleva por título: «Fomento de la espectroscopia 3D en Europa».

CESIÓN DE PATENTE
 Fecha 4/7/02

Acuerdo entre el IAC y The Regents of the University of California, en Santa Bárbara, para el uso de la patente del diseño de un componente de microondas. Actualmente ambas entidades participan en varios experimentos sobre radiación cósmica de fondo, aportando principalmente instrumentación de alta tecnología.

“La Física de Star Trek”

Lawrence M.Krauss
 Fecha: 20/11/2002
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos. Conferencia de divulgación con motivo de la «Escuela de Invierno».



Tomando como excusa la popular saga televisiva, el Prof. Lawrence Krauss, de la Universidad Case Western Reserve de Ohio (Estados Unidos), explicó diversos aspectos relacionados con la astrofísica y la tecnología reflejados en esta serie, discutiendo hasta qué punto son posibles.

“Cómo se forman las galaxias”

Joseph Silk
 Fecha: 27/11/2002
 Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos. Conferencia de divulgación con motivo de la Escuela de Invierno sobre Materia y Energía oscuras.



Diseño: Miriam Cruz

En esta charla, el Prof. Joseph Silk de la Universidad de Oxford, habló de los modelos que explican la formación galáctica y el papel que en este proceso desempeña la «materia oscura». Esta materia es uno de los componentes más importantes del Universo y constituye más del 90% de la masa de las galaxias. Sin embargo, los astrónomos aún no saben cuál es la naturaleza de este «ingrediente» cósmico.

OBSERVACIÓN DE UNA LLUVIA DE ESTRELLAS
 Fecha 20/11/02

Acuerdo entre la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología y el IAC para la financiación del proyecto «Observación de una lluvia de estrellas desde las escuelas». El objetivo es promover una acción de divulgación científica destinada a alumnos de secundaria que consiste en una observación astronómica real. La observación se realizó el 18 y 19 de noviembre con motivo de las Leónidas.

INSTALACIÓN DEL MERCATOR
 Fecha 21/11/02

Convenio entre el Instituut Woor Sterrenkunde K. U. Leuven y el IAC para la instalación del telescopio Mercator en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Con este acuerdo, el IAC obtendrá un 20% del tiempo de observación del telescopio y los instrumentos que incorpora. Este tiempo será distribuido por el IAC entre instituciones españolas y otras entidades colaboradoras de cualquier país.

Reflejo del cosmos



Título: *Reflejo del cosmos*
Subtítulo: Atlas de arqueoastronomía del mediterráneo antiguo
Autores: Juan Antonio Belmonte y Michael Hoskin
Edita: Equipo Sirius, S.A.
ISBN: 84-95495-32-5
403 Págs.

Este libro es fruto de más de una década de trabajo de investigación arqueoastronómica. Juan Antonio Belmonte es coordinador del proyecto de Arqueoastronomía en el IAC y Michael Hoskin, profesor emérito de Historia y Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Cambridge. La Arqueoastronomía es una ciencia que estudia la relación entre Astronomía y cultura. Los autores, que ya han escrito en otras ocasiones sobre este tema, hacen un recorrido en el tiempo y por el espacio a lo largo de todo el Mediterráneo mostrando aquellas construcciones de la antigüedad que presentan una orientación relacionada con la Astronomía. De esta forma se quiere establecer la relación entre las distintas culturas que se instalaron en la ribera de este mar y su visión y conocimiento del cosmos y de los fenómenos astronómicos. Aparte de construcciones y esculturas, mayoritariamente de carácter religioso, también existen pinturas rupestres sobre las que se presentan algunas teorías de su relación con los astros. En total se presentan 88 obras, cada una de ellas con su explicación, bibliografía y unas breves indicaciones de cómo llegar al lugar donde está situada la construcción.

BIBIANA BONMATÍ (IAC)

Historia de la Astronomía



Título: *Historia de la Astronomía*
Colección: Flash más
Autor: Ángel Gómez Roldán
Edita: Acento
ISBN: 84-483-0694-5
144 Págs.

Como la misma colección ya indica, esta Historia de la Astronomía es un «flash» de personajes, sucesos y teorías, relacionados con la Astronomía a lo largo del tiempo. Este breve paseo se inicia en la Prehistoria pasando por las culturas antiguas, para llegar al Medievo, el Renacimiento y la Edad Moderna. En esta última época es donde se centra más el autor, observador del IAC en el Observatorio del Teide y actual Redactor-Jefe de la revista *Tribuna de Astronomía y Universo*. Aparte de la evolución cronológica se refleja la expansión espacial que se produce a medida que avanzamos en el tiempo ya que el conocimiento del cosmos se amplía y mejora. Paralelamente, se relaciona la evolución cultural de cada época y la concepción del mundo por medio de hechos que son determinantes para el conocimiento astronómico. Otro de los temas tratados es la instrumentación utilizada en Astronomía, haciendo especial hincapié en el telescopio.

BIBIANA BONMATÍ (IAC)

Caosyciencia



En agosto de 2002 nació *Caosyciencia*. Tras sus primeros pasos, la revista llegó a los 1.000 suscriptores, en diciembre. En este tiempo ha habido de todo: agujeros negros, canibalismo galáctico, relatividad, máquina del tiempo, etc. Siempre amenizado con espectaculares videos y fotografías. La originalidad y creatividad han teñido «caosyciencia» que sigue abierta a todos aquellos que quieran decir, explicar, comentar, criticar, expresar, inquietar, sorprender, recordar... ¡El cosmos, da mucho que hablar!

<http://www.caosyciencia.com/>

GTCdigital



En octubre de 2002 se puso en marcha el boletín *GTCdigital*. El objetivo es ofrecer a aquellas personas, medios e instituciones que puedan estar interesados, un boletín periódico que informa puntualmente de la evolución del Gran Telescopio CANARIAS. Una de las novedades son dos cámaras webcam situadas, una en el interior y otra en el exterior del GTC, que permiten seguir «en directo» el desarrollo de las obras.

<http://www.gtcdigital.net/>

Asteroide "ALDANA"



En la imagen superior, Fernando Aldana, a la derecha, junto con Francisco Sánchez, Director del IAC, en un momento de la entrega de la placa conmemorativa con los datos del asteroide «Aldana» (imagen de la derecha).

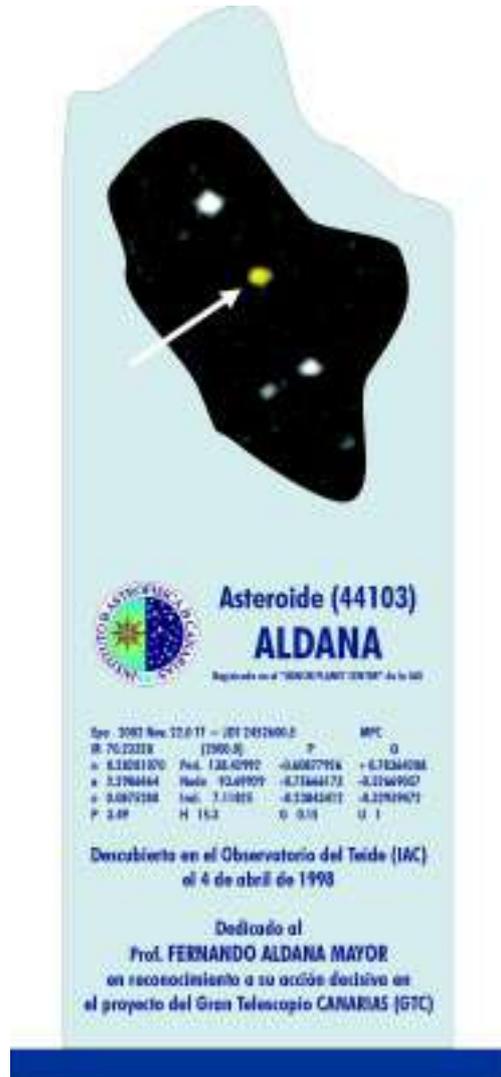
A principios de 2003 y siguiendo las normas de la Unión Astronómica Internacional (IAU), se le ha dado el nombre de «Aldana» a un asteroide descubierto el 4 de abril de 1998 con el telescopio IAC-80, del Observatorio del Teide. Con esta distinción se reconoce la labor del Prof. Fernando Aldana Mayor en favor de la astronomía española.

El Prof. Aldana supo entender las ventajas, oportunidades y carencias de esta rama de la ciencia en nuestro país y, desde sus puestos de responsabilidad en la política científica del Estado, como la dirección de la Oficina de Ciencia y Tecnología (OCYT) de la Presidencia de Gobierno, impulsó significativamente su desarrollo.

Gracias a él se desbloqueó el proyecto del telescopio óptico-infrarrojo multiespejo de diez metros de apertura (Gran Telescopio CANARIAS) y se declaró prioritaria la Astronomía y la Astrofísica en el Plan Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

Estos logros son una muestra de acciones significativas en pro de la ciencia española impulsadas por Fernando Aldana.

En enero de 2003, el *Minor Planet Center*, después de ratificar las observaciones y cálculos efectuados, confirmó la catalogación del asteroide (44103) Ge 1 con el nombre de ALDANA.



Sus características son:

- Tamaño: 2,5 a 5,5 km.
- Magnitud absoluta: 15,3
- Parámetro de la pendiente: 0,15
- Período orbital: 3,49 años
- Movimiento medio diario: 0,28281070 grados/día
- Semi-eje mayor: 2,2986464 unidades astronómicas
- Excentricidad orbital: 0,0875280
- Argumento del perihelio, J2000,0: 138,42992 grados
- Longitud del nodo ascendente, J2000,0: 93,69929 grados
- Inclinación, J2000,0: 7,11825 grados

Reunión de los máximos representantes del Observatorio Norte Europeo

El pasado 21 de noviembre, en el Instituto de Astrofísica de Canarias, se reunieron los miembros de la Red de la Organización Europea de Astronomía en el Norte.

En los Observatorios del IAC cooperan más de 60 instituciones científicas de 19 países, que constituyen en su conjunto el Observatorio Norte Europeo (European Northern Observatory, ENO). A través del Comité Científico Internacional (CCI), del que forman parte representantes de todas las instituciones con intereses e instalaciones en los Observatorios del IAC, se garantiza la participación efectiva de cada uno de los países participantes en la adopción de decisiones concernientes a los Observatorios.

Además de este Comité, para facilitar las sinergias entre las diversas instituciones usuarias de los Observatorios del IAC, se ha constituido la Red ENO. Desde ella se organizan acciones, proyectos e iniciativas con vistas tanto al establecimiento de instalaciones comunes, como a la construcción de instrumentación conjunta o a la formación de científicos y tecnólogos. Con ello se consigue mantener, promocionar y desarrollar el equipamiento observacional instalado en los observatorios del IAC y garantizar que permanezca a la vanguardia de la ciencia.

La Red ENO celebró su segunda reunión en la sede central del IAC; la primera tuvo lugar en Noruega, en el mes de junio de 2002. En ella se trataron diversos temas, entre los que destacó la preparación de las propuestas científicas para presentar al VI Programa Marco de la Unión Europea. Además, se habló del desarrollo de instalaciones de nueva tecnología, en el que estarían implicadas instituciones y empresas de diversos países europeos. También se comentaron temas más generales sobre la organización y coordinación del ENO, así como de la evaluación de las condiciones de observación ("site testing") en los Observatorios del Teide (Tenerife) y del Roque de los Muchachos (La Palma).



Expositor del Observatorio Norte Europeo.

Reunión del CCI

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios del IAC celebró su 48ª reunión ordinaria el pasado 22 de noviembre, en el Vicerrectorado de la Universidad de La Laguna (Tenerife). La anterior reunión tuvo lugar en el mes de junio, en Noruega.

En esta reunión se trataron, entre otros temas del orden del día, la adhesión de nuevos miembros, como es el caso de Finlandia. También se firmó un acuerdo con Bélgica, que ha instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos un nuevo telescopio de 1,2 m. Este instrumento persigue diversos fines científicos, entre ellos el seguimiento de fuentes de rayos X y gamma o la observación de núcleos galácticos activos.

Se comentó el estado de nuevos proyectos, entre ellos el británico SuperWASP, cuyo objetivo es la búsqueda de planetas extrasolares. Además, se habló sobre el progreso de los Observatorios del IAC, basándose en los informes de sus Administradores y de los Subcomités de Operaciones y de Finanzas. También se trató el estado del CALP (Centro Común de Astrofísica en La Palma), que constituye la sede complementaria del IAC en La Palma y que contará con diversas instalaciones.

Por último, el CCI decidió las propuestas científicas que dispondrán del 5% del Tiempo Internacional en el 2003 para proyectos cooperativos y proyectos comunitarios en los Observatorios. Por unanimidad decidió asignar todo el tiempo diurno disponible durante 2003 a Wiehr & Hirzbereger para la propuesta, "Two-Dimensional Imaging of Solar Prominentes".

OTRAS NOTICIAS

La ley del cielo: de Canarias a Cataluña



Instantánea tomada durante la visita.

El director general del Servicio de Meteorología de Cataluña, Oriol Puig, y 17 alcaldes de ayuntamientos de Cataluña visitaron los días 10 y 11 de diciembre de 2002 las instalaciones del IAC en Tenerife y La Palma, con la colaboración del Cabildo Insular de La Palma. Los políticos comprobaron la efectividad de la Ley del Cielo en Canarias, aprobada en 1988, que minimiza la contaminación lumínica.

Desde hace décadas, contemplar un cielo estrellado es privilegio de solo unos pocos. Las luces de ciudades y pueblos han superado en intensidad a la de los astros, privándonos de la posibilidad de observarlos. Sin embargo, esta situación no es inevitable, como se puede comprobar en Tenerife y La Palma. En estas islas se encuentran las instalaciones astronómicas del IAC, entre ellas los Observatorios del Teide y del Roque de Los Muchachos, por lo que es imprescindible una visión óptima del cielo. Para conseguirlo, el Parlamento aprobó unánimemente en 1988 la Ley de Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC. Con esta normativa se regulan, además de la iluminación de exteriores, la potencia radioeléctrica, las industrias contaminantes y el tráfico aéreo sobre los observatorios. Para asegurar su aplicación permanente, el IAC dispone desde 1992 de una Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo.

Además de su visita a distintos organismos oficiales, estos políticos también conocieron la Sede Central del IAC y el Observatorio del Roque de Los Muchachos. En el Observatorio pudieron conocer las distintas instalaciones telescópicas, entre ellas el Gran Telescopio CANARIAS. También pasearon por las principales ciudades de estas islas para comprobar cómo se previene que su iluminación “contamine” el cielo.

NORMATIVA CATALANA

Varios políticos catalanes ya visitaron en marzo de 2001 las instalaciones del IAC, con la intención de informarse sobre esta ley y “exportarla” a su comunidad. Apenas dos meses después, el 16 de mayo, se aprobaba la “Ley contra la Contaminación Lumínica de Cataluña”. La normativa catalana

presenta algunas diferencias respecto a la canaria, como es el caso de la división del territorio de su comunidad en cuatro regiones con diferentes niveles de exigencias de protección. Asimismo, mientras que la ley canaria pone el énfasis en preservar la observación astronómica, la catalana es de índole medio ambiental.

La contaminación lumínica no sólo repercute en la observación astronómica, sino que también implica un derroche de energía, menor confort visual y pérdida de seguridad (deslumbramiento). Por este motivo, las leyes que regulan este tipo de contaminación comportan un notable ahorro energético y mayor eficacia en el objetivo de la iluminación, con los beneficios que ello supone para la economía, nuestra seguridad y el medio ambiente. También tiene otras repercusiones ecológicas, como un efecto negativo en la flora y la fauna, cuyos hábitos de vida se regulan por la luz.

Además, esta ley no se preocupa sólo de lo que pueden ver nuestros ojos sino que también se refiere a otro tipo de radiaciones, como las ondas de radio. Esto es especialmente importante porque en los Observatorios se encuentran instrumentos que no “ven” al Universo, sino que lo “escuchan”: los radiotelescopios. Otro factor que puede afectar a la calidad del cielo es la contaminación atmosférica, por lo que la “Ley del Cielo” impide que se emplacen industrias con emisiones por encima de los 1.500 m de altitud. Por último, el espacio aéreo de los Observatorios está declarado zona de protección ecológica, por lo que no puede ser sobrevolado por ningún aparato.

Más información:

<http://www.iac.es/proyect/otpc/esp.htm>

Edmund Halley



Urania,
la musa de la
Astronomía
(Simon Vouet.
*Las Musas Urania
y Caliope.*
National Gallery
of Art)

Queridos amigos, hoy transcribo la entrevista que tuve el honor de realizar a Edmund Halley, que nació en Haggerston, cerca de Londres, en 1656. Le conocemos, sobre todo, por predecir el regreso del cometa que lleva su nombre, pero lo cierto es que realizó muchos otros valiosos trabajos en Astronomía y ... (sorpréndanse) también en Geofísica, Meteorología, Arqueología, Matemáticas o Historia de la Astronomía.



**Edmund
Halley**

URANIA: *Good morning*, Professor Halley, I'm really glad of having you here.

HALLEY: *Good morning*, Urania, yo también estoy encantado.

U: Para comenzar, ¿podría hablarnos un poquito de su infancia?

H: Oh, *yes*. Mi padre era un rico fabricante de jabones que, lamentablemente, perdió mucho en el gran incendio de London cuando yo era *10 años viejo*. Aun así pudo darme una buena educación, primero con un tutor privado, y luego enviándome a la St Paul's School.

U: Sabemos que ya entonces mostró usted un gran talento para las Matemáticas y la Astronomía. Con 17 años ingresó en el Queen's College de Oxford y empezó a trabajar con el Astrónomo Real John Flamsteed.

H: Vaya, sabía que iba a mencionarle... *Of course*, yo le asistí en sus observaciones... pero, si es posible, preferiría no hablar de esa persona.

U: Ya, entiendo... porque, aunque al principio Flamsteed le dedicó sus elogios, la verdad es que mantuvieron ustedes una profunda enemistad durante décadas, ¿me equivoco?

H: No, *you're right*. Su actitud inicial cambió pronto, probablemente por celos profesionales; y tener en contra al Astrónomo Real fue algo que siempre me perjudicó mucho.

U: Bien, bien, cambiemos de tema (al menos momentáneamente). Creo que usted no llegó a realizar los exámenes en Oxford, ¿qué sucedió?

H: Oh, *well*. Recibí el encargo de elaborar un mapa de las estrellas del hemisferio Sur, financiado, entre otros, por el rey Charles II, y me embarqué hacia la isla de St Helena, entonces la colonia inglesa más meridional. Aunque el *weather* fue muy malo, conseguí catalogar 341 estrellas y descubrí un cúmulo en Centauro. A mi regreso, el trabajo fue publicado, el rey me concedió la graduación en Oxford e ingresé como miembro de la Royal Society con 22 años.

U: Sabemos que en los años siguientes recorrió usted Europa, pasó un tiempo en Italia, regresó a Inglaterra, se casó, su padre falleció y tuvo diversos problemas legales y económicos... Pero vayamos hasta 1684, ¿puede contarnos en qué discusión con sir Christopher Wren y Robert Hooke se hallaba envuelto entonces?

H: Yo había demostrado que de la tercera ley de Kepler se deduce que la fuerza de atracción entre el Sol y un planeta disminuye con el cuadrado de la distancia entre ellos. Bien: Wren, Hooke y yo queríamos probar que tal fuerza implica órbitas elípticas, pero no lo lográbamos...

U: ...y se fue usted a Cambridge para visitar a sir Issac Newton.

H: Efectivamente. Él ya tenía la solución de nuestro problema, pero me dijo (y cuesta creerlo) ¡que había perdido los papeles con la prueba! Insistí mucho para que publicase todos sus resultados en los *Principia Mathematica*.

U: Sí, Professor Halley. Y debemos agradecerle que esa magna obra llegase a ver la luz, ya que pagó de su propio bolsillo la primera edición. Más tarde, cuando optó usted a la Cátedra Savilian de Astronomía en Oxford, Flamsteed (cómo no) se opuso firmemente... Entonces ejerció como editor de las *Philosophical Transactions* para la Royal Society. Por esos años realizó trabajos no astronómicos, ¿podría mencionar alguno?

H: Mmmmm, pues elaboré la primera carta meteorológica publicada, un mapa del mundo mostrando los vientos dominantes sobre los océanos. Y también unas tablas de mortalidad para la ciudad de Breslau, relacionándola con edad de la población.

U: Y llegamos ya a lo que le ha hecho famoso: un minucioso estudio de las órbitas de cometas realizado hacia 1685. Cuéntenos, por favor.

H: De acuerdo. Me di cuenta de que un cometa observado en 1531 y 1607 era realmente el mismo objeto, con un periodo de unos 76 años; *later*, incluso identifiqué otras apariciones anteriores. Y en 1705 me atreví a publicar una predicción: que dicho cometa aparecería *again* en diciembre de 1758.

URANIA ENTREVISTA A...

U: Como así ocurrió, efectivamente, el día de Navidad... aunque usted ya no pudo verlo. Seguramente sabe que hoy ese cometa lleva su nombre.

Pero sigamos: gracias a Newton tuvo usted un puesto en la Real Casa de la Moneda de Chester, y pronto volvió a sus viajes, ¿no es así?

H: *Yes, it is.* El rey William III me concedió el mando de un barco de guerra, para descubrir nuevas tierras en el Atlántico y determinar la longitud geográfica estudiando variaciones de la brújula. Ése era un trabajo que yo conocía bien y que condujo a la publicación de las primeras cartas con líneas de igual declinación. Luego investigué también las costas y mareas en el Sur de Inglaterra y viajé de nuevo por Italia.

U: En 1704, tras fallecer John Wallis, Catedrático Savilian de Geometría, ocupó usted su puesto. ¿Sabe qué dijo entonces Flamsteed?

H: *Of course I know!* que Mr. Halley, que hablaba, juraba y bebía brandy como un capitán de barco, estaba esperando la plaza de Wallis. *No comment.*

U: No se enfade, por favor. Y hablemos de su crucial descubrimiento de 1710.

H: *Well.* Estudiando un catálogo de Ptolomeo encontré que las estrellas tenían movimientos propios, que pude detectar en tres de ellas. He sabido después de la importancia de este hallazgo que confirmaba que las estrellas están esparcidas por el espacio.

U: Dos años más tarde, Newton y usted publicaron parte de las observaciones de Flamsteed, todavía incompletas, sin su aprobación. Y, obviamente, su relación con este último empeoró todavía más.

H: ¡*Of course*, porque Flamsteed pensaba que sus datos, obtenidos con instrumentos adquiridos principalmente por él, eran de su propiedad privada, mientras que yo opinaba que los trabajos del Astrónomo Real debían ser públicos!

U: *Anyway*, no deja de sorprenderme que usted, que actuó como mediador en diversas disputas entre colegas (como Hooke y Hevelius, o Newton y Leibniz), no fuera tan diplomático con Flamsteed. Finalmente, en 1720...

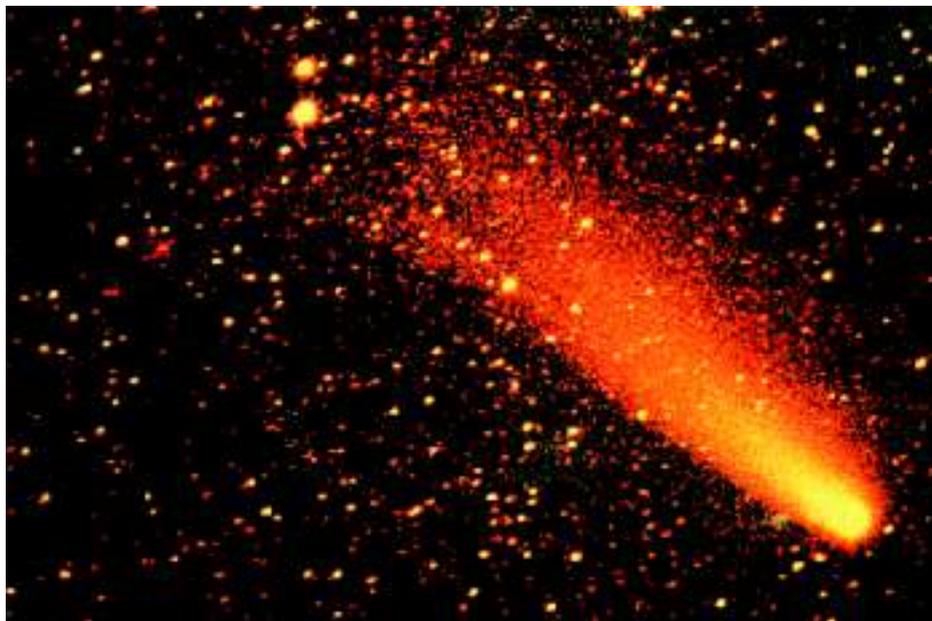
H: ...murió Flamsteed y yo le sucedí como Astrónomo Real. Eso sí: su viuda

vendió todos sus instrumentos para que yo no pudiera usarlos.

U: Professor Halley, su vida y obra son apasionantes... pero nuestro tiempo es limitado. Para terminar, ¿me permite una pregunta fácil? ¿Sabe cuándo regresará el cometa Halley?

H: ¡Claro! Después de su última visita en 1986, podrán verlo en 2062.

U: Realmente podrán verlo nuestros hijos y nietos. Y seguro



El cometa Halley. Imagen tomada el 18 de marzo de 1986, cinco días después del histórico encuentro con la sonda Giotto, obtenida con un teleobjetivo de 20 cm sobre el Telescopio Mons, en el Observatorio del Teide (Tenerife). © Mercedes Prieto y Mark Kidger (IAC).

que, entonces, le recordarán a usted con admiración y respeto. Ha sido un verdadero placer, Professor Halley. Hasta siempre.

H: El placer ha sido mío, Urania. *Good bye.*

Adaptación de una de las entrevistas imaginarias radiofónicas -realizadas en el marco del programa "Canarias Innova", del IAC y RNE en Canarias- entre Urania, la musa de la Astronomía, y distintos personajes históricos de la Ciencia. Colaboración de INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO (IAC/ULL).



Ciencia, divulgación y noticias del corazón



Antonio
Aparicio
(IAC/ULL)

«Y, entonces, ¿Marte pasará rozando a Júpiter?» Tenía esa interesante edad en que, siendo aún joven, se dispone ya de una abundante dosis de madurez y capacidad reflexiva. Esa edad en que el propio Dante se perdió en la selva oscura de la ignorancia donde, no obstante, se esconde el inicio del camino del conocimiento.



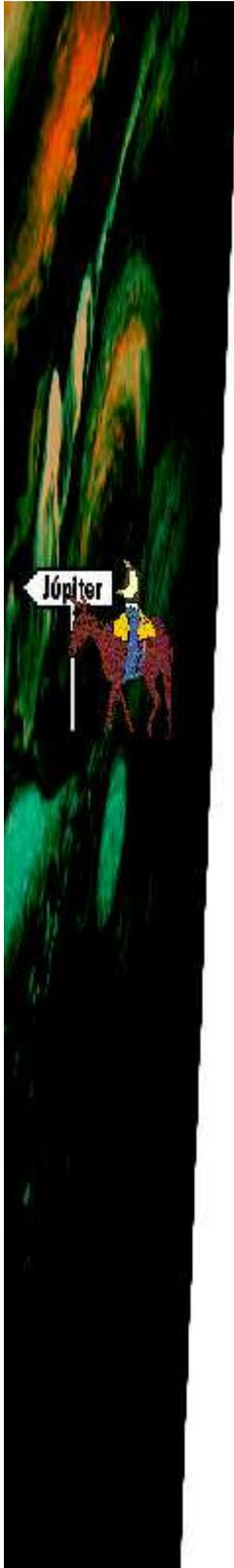


«Y, entonces, ¿Marte pasará rozando a Júpiter?» Preguntaba entusiasmado, con sus vivos ojos muy abiertos y moviendo una mano contra la otra, pero sin hacerlas chocar entre sí; desviándolas en el último momento para hacerlas describir una trayectoria rasante, una respecto a la otra, simulando las órbitas de Marte y Júpiter.

De buena gana le habría dado la razón. Tal era su entusiasmo. Pero yo era el científico, el experto, al que él entrevistaba para preparar la nota de prensa que, sobre la inminente alineación de planetas, le había encargado el periódico local granadino en cuya nómina se encontraba. No tuve más remedio. A mi pesar, le expliqué que Marte se encontraba muy distante de Júpiter, incluso durante la estupenda alineación que se avecinaba. No lo entendió. «Ven conmigo, asómate a la ventana», insistí yo. La ventana de mi despacho daba justo a una calle que subía unos 300 metros y que, al final, desembocaba en otra perpendicular. Llamé su atención sobre una farola que se encontraba frente a mi ventana, justo al inicio de la calle y le pedí que esperara unos minutos y no perdiera detalle. Al cabo, por la calle transversal que cruzaba 300 metros más arriba, pasó un furgón de reparto. En un momento dado, por unos instantes, el furgón quedó en la misma línea de visión que la farola, que, de hecho, lo ocultó parcialmente durante una fracción de segundo. Le pregunté entonces si le había parecido que hubiera habido riesgo de que el furgón chocara con la farola. Tras un momento de perplejidad me contestó que, evidentemente, no. Que el furgón había pasado a 300 metros de la farola y que la aparente proximidad momentánea entre ambos era sólo un efecto de perspectiva. «Bien», le contesté, «el caso de Júpiter y Marte es exactamente el mismo». Algo defraudado, tomó sus notas y se fue dándome cortésmente las gracias por la atención.

Al día siguiente compré el periódico y fui directamente a la reseña sobre el alineamiento planetario. «Expertos consultados de la Sociedad Astronómica indican que, a pesar de la proximidad de ambos planetas en este particular paso de danza cósmica, no hay riesgos de que choquen entre sí».

La divulgación de la ciencia es realmente difícil. Tan difícil como importante. Pienso, a menudo, que más importante, incluso, que a propia actividad científica. Tan importante y tan difícil que reo que debería ser tarea de un grupo de profesionales especializados que desarrollaran un proyecto concreto. Sin embargo, suele recurrirse casi siempre, bien a periodistas que desconocen



por completo los fines y procedimientos de la ciencia, bien a científicos que, aún expertos profesionales en su campo, no son sino meros aficionados cuando de divulgación se trata. Hay honrosas excepciones en ambos grupos. Pero, con demasiada frecuencia, los primeros fallan en su comprensión del problema científico y los segundos en su comprensión del medio informativo. Es lamentable, sobre todo para los segundos, porque al fin y al cabo, en cualquier caso, en la actualidad, el científico es un servidor de la sociedad y difícilmente puede desarrollar su tarea si la sociedad no comprende lo que hace. El profesional de la divulgación científica, idealmente un periodista con formación científica asesorado por un científico con formación periodística, es, en definitiva, imprescindible.

El joven de mi primer ejemplo parecía estar lejos de poseer una visión tridimensional del cosmos. Esto debería ser ya de por sí una limitación que lo excluyera del reportaje sobre un tema de ciencia, del mismo modo que su inhabilidad numérica lo haría inapropiado como crítico de bolsa o, su desconocimiento del inglés, como corresponsal en Londres. Sin embargo, mientras esto es obvio para cualquiera, no lo parece tanto en el caso de los planetas. Pareciera que, cuando se trata de un tema de ciencia, sobre todo si no tiene repercusiones para la salud humana, bastara con poner un titular llamativo para poder escribir cualquier cosa: «Inauguración de un gran telescopio solar en el Observatorio del Teide. La nueva lente es tan sofisticada que podrá observar el Sol las 24 horas del día». ¿Cómo es posible? Realmente, los chicos del IAC parecen capaces de cualquier cosa que se propongan, ¡hasta de ver el Sol de noche!

Existen, no obstante, abnegados periodistas especializados en temas de ciencia que son auténticos profesionales. Merecen toda mi admiración y agradecimiento: hacen algo de lo que quizá debiera ocuparme yo, pero para lo que me considero mal capacitado. Digo abnegados porque me parece realmente difícil, para un no especialista, nadar en el mar de confusión que nos rodea, como público, cuando se trata de información de prensa relativa a la ciencia.

«Perdone, Dr. Hernández, pero hay algo que no consigo entender. Si el universo es plano e infinito, ¿cómo es posible que la radiación de fondo sea el eco de la explosión que le dio origen? ¿Si no hay paredes, como se produce el eco?». El Dr. Hernández arqueó las cejas que ocultaba tras sus gafas. En la tarea que se



había impuesto de contribuir a la divulgación de la ciencia, se enfrentaba, una vez más, a una situación difícil. El periodista, un buen periodista, estaba contratado por un medio de difusión que sólo admitía noticias de calidad y que, aún a un nivel divulgativo general, llegaran al fondo de las cuestiones y fueran un reflejo adecuado de la realidad. El Dr. Hernández, como todos sus colegas comprometidos con la divulgación, se sentía muy cómodo dialogando con periodistas como éste. Pero, ¿quién sería el que tuvo la feliz idea de poner por escrito que la radiación de fondo era el «eco» de nada?

El Dr. Hernández salió airoso del atolladero. Pero, para ello, tuvo que empezar por contar a su interlocutor la anécdota en que Einstein es interpelado por un joven, en una recepción social, sobre la Teoría General de la Relatividad. Einstein se la explicó, tratando de evitar los aspectos más técnicos, pero el joven no entendió nada. En un segundo intento, trató de hacerlo todo más simple e intuitivo. De nuevo fracasó. Finalmente, tras una nueva simplificación, el joven exclamó entusiasmado: «ahora, ahora sí que lo he comprendido». Tras una breve reflexión, el viejo profesor, añadió: «lo malo, querido amigo, es que, lo que le he explicado ahora, no se parece a la Relatividad General».

Pero en nuestro singular mundo del conocimiento y la difusión de información existen peligros adicionales. Porque, si bien conocimiento y difusión son conceptos intrínsecamente positivos, pareciera que, superado un cierto umbral, la combinación de ambos pudiera llegar a tener efectos destructivos o, al menos, contrarios al fin pretendido.

- Simplicio: La prestigiosa revista Siglo M publica este mes un artículo del reputado Profesor Astucio, en el que demuestra los beneficios de la homeopatía.

- Prudencio: Pero hombre, ¿no ves que todo eso es una patraña?

- Simplicio: Yo no sé. Puede ser. Las vías del conocimiento son recónditas. Yo ni afirmo ni niego. Puede ser. ¿Por qué no?

- Prudencio: Pero, querido Simplicio, fíjate en que hay ocasiones en las que hay que tomar posición; en las que hay que afirmar o negar. Sin eso, es difícil que exista el conocimiento.

- Simplicio: Bueno, eso lo dices tú, que eres un cartesiano rejuicioso. Yo no juzgo a nadie.

Prudencio: Pero hombre, ¿qué tiene que ver Descartes en todo esto? A ver, supón que yo hago las siguientes tres afir-



maciones: (i) «esta tarde he cogido mi coche y he venido a verte»; (ii) «esta tarde he cogido el avión y, volando, he venido a verte»; (iii) «esta tarde he montado en mi burro adiestrado en volar con las orejas y, volando, he venido a verte». ¿Qué te parece? ¿Son todas equivalentes? ¿Me dirás que no puedes afirmar ni negar nada sobre la veracidad o falsedad de alguna de ellas?

- Simplicio: Mi querido Prudencio, estás loco. Está claro que una cosa es un burro volador, que es imposible, y otra la homeopatía.

Difícil situación la de Prudencio. Tanto como demostrar a un solipsista la existencia de la materia. Las cosas se vuelven aún más complicadas cuando hace acto de presencia la Metafísica, esa venerabilísima rama del conocimiento, la razón y la espiritualidad humanas. La naturaleza del Ser; el bien y el mal; el dios Jano mirando hacia lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño, en nombre de la esencia humana, que ocupa el centro; la Mecánica Cuántica y el pacifismo de Einstein entran en juego, sobre el tablero del disparate, para producir los efectos más absurdos e incomprensibles. Válgame el cielo si miento al decir que la congruencia del microcosmos y el macrocosmos me parece uno de los símbolos más bellos de la Metafísica y que yo mismo lo incorporo entre las creencias inexplicables de mi espíritu. Pero, ¿qué tiene que ver eso con la relación entre las distancias de los planetas al Sol y los números cuánticos de las órbitas de los electrones en el viejo modelo del átomo de Bohr? ¿Qué tiene que ver, máxime si el modelo de Bohr no es una representación del átomo mejor que el eco lo es del fondo de microondas? ¿Si la secuencia de distancias de los planetas al Sol no se relaciona, en modo alguno, ni siquiera mediante un símil remoto, con la cuantización presente en lo muy pequeño? ¿Por qué, y esto es lo que menos entiendo, hay que recurrir a la ciencia para explicar cosas de la concepción espiritual del mundo, que no tienen nada que ver con ella y que, por tanto, ni explica ni deja de explicar?

Tenemos ante nosotros una tarea difícilísima: la de difundir la ciencia entre la sociedad a la que servimos de un modo simple, claro y realista. Es necesaria la contribución de muchos y hay mucho esfuerzo ya empeñado. No vale cualquier cosa. Es imprescindible presentar la ciencia como es. Y es importante hacerlo porque puede que, a largo plazo, las vías del progreso del conocimiento en nuestra sociedad dependan de lo que ahora seamos capaces de transmitir.



Héctor
Castañeda
(IAC)

Nuevas tierras

No hay arte como el cinematográfico, capaz de crear nuevos mundos alternativos, sólo limitado por la imaginación de sus creadores. Pero, tal como dijo Pablo Picasso, «el arte es la mentira que nos hace comprender la verdad». La intención de esta sección es llamar la atención sobre aquellos momentos en que una buena recreación de la realidad nos provee, de manera inadvertida, de un mayor conocimiento científico.

En las últimas décadas, científicos e ingenieros han estudiado el problema de poder recrear literalmente una nueva Tierra. Existe en el idioma inglés una palabra, que podríamos traducir por “terraformar”, el acto de transformar la superficie de otro planeta en un medio habitable por humanos, creando una biosfera similar a la terrestre.

Es importante comprender que no se trata de una tarea trivial. Los astrónomos lo sabemos muy bien. El Sistema Solar está bien ubicado en la galaxia, no muy cerca del centro galáctico, donde el medio es más hostil para la vida por una mayor actividad energética, pero no muy lejos, donde habría una escasez de los elementos más pesados que sirven para construir los sistemas biológicos. La estrella que llamamos Sol tiene el tamaño correcto y brillo ideal para dar cobijo a la vida. La Tierra orbita en la llamada zona habitable, necesaria para albergar agua en estado líquido. El planeta Júpiter atrae asteroides y cometas, sirviendo como un escudo contra colisiones que provocarían periódicas extinciones masivas. La tectónica de placas causa una geografía activa, y el campo magnético nos cobija de las partículas de altas energías que nos bombardean desde el espacio. Vemos entonces que no es fácil poder recrear una nueva Tierra. El cine nos da ejemplos de métodos y consecuencias de esta acción, aunque en casi todos las películas se trata sóloamente el efecto de cambiar la atmósfera planetaria, dejando sin resolver muchas de las otras características enunciadas que hacen a un planeta habitable y la Tierra, un mundo muy particular.



Pero veamos algunos ejemplos. Para el caso de planetas en general, podemos elegir *Aliens. El regreso* (Aliens, 1986). El motor de la trama es el rescate de una colonia de ingenieros planetarios, que han tenido la desafortunada idea de establecerse en un planeta (como bien sabemos) extremadamente peligroso dada su población autóctona. Allí, de una manera casi realista, se nos muestran gigantescas fábricas que procesan la atmósfera del planeta para transformarlo en habitable, en un proceso que naturalmente lleva décadas. Razonable, pero seguramente muy caro e ineficiente.

¿Qué sucede con un caso más fácil de trabajar, nuestro vecino el planeta Marte? El comienzo de *Planeta Rojo* (Red Planet, 2000) explica que en el año 2057 la Tierra comienza a convertirse en un planeta en extinción. Al intentar evitar el fin de la civilización se inicia la terraformación de Marte. En principio, el plan que presenta la película es realista. Primero, armas nucleares de baja potencia son detonadas sobre el polo norte de Marte, liberando dióxido de carbono. Luego se envían sondas algas al planeta, para que transformen el dióxido de carbono en oxígeno. En este caso, la presión atmosférica podría incrementarse hasta llegar a cerca de la mitad de la existente a nivel de la superficie terrestre, creando al mismo tiempo un efecto invernadero que serviría para calentar la superficie del planeta. Si la temperatura se incrementara lo

suficiente, ésta podría exceder el punto de congelación del agua, derritiendo entonces la que se encuentra congelada en la superficie marciana (dejamos por supuesto el resto de los detalles técnicos para ser resueltos por los lectores).

Concluimos con algo muy familiar. El primer caso de lo que los ingenieros llamarían prueba de concepto nos tiene como protagonistas. Es lo que conocemos como cambio climático, que implica entre otros factores el calentamiento global de la Tierra. Una vuelta de tuerca de este tema se presenta en *Han Llegado* (The Arrival, 1996). Extraterrestres huyendo de la extinción de su mundo desde la estrella Wolf-336 a una distancia de 14 años luz, inducen que la atmósfera del planeta se vuelva cada vez más caliente e inhabitable, creando instalaciones especiales en países del tercer mundo. Enfrentado con el protagonista, su jefe, un astrónomo paranoico (pero que no refleja nuestra profesión!), un extraterrestre encubierto, afirma que «nosotros estamos acabando lo que ustedes empezaron». Así pues el deshielo de los casquetes polares, el cambio climático y el traslado de industrias altamente contaminantes a los países más pobres tiene una explicación lógica y escalofriante. Sabemos en realidad que el desarrollo incontrolado de las industrias que generan polución atmosférica, el derroche de energía y la emisión de dióxido de carbono generada por la actividad humana son los principales responsables de este problema. Pero acaso es un pensamiento consolador pensar que ese comportamiento irracional proviene del exterior.

PROYECTOS

otras emisiones de origen astrofísico (principalmente, la emisión de nuestra galaxia y de radiofuentes extragalácticas). El estudio de estos contaminantes de la radiación de fondo, tiene doble motivación: por una parte, es de interés intrínseco y, por otra, su caracterización es muy importante para cuantificar su contribución a las observaciones de la radiación de fondo y separar ambas componentes.

Con el fin de generar mapas a diferentes frecuencias de la radiación de fondo y de sus contaminantes, se diseñó el experimento COSMOSOMAS dentro del proyecto *Anisotropías del Fondo Cósmico de Microondas* del IAC. COSMOSOMAS cuenta con dos instrumentos, casi gemelos, COSMO10 (observa a 10 GHz, en dos polarizaciones ortogonales) y COSMO15 (observa a 13, 15 y 17 GHz). A la vista, parecen inmensos platos girando incesantemente sin una finalidad obvia. Lo cierto es que se trata de espejos rastreando el cielo en anillos de veinte grados de diámetro que en un día de observación cubren una banda del cielo de unos 7.000 grados cuadrados con una resolución de 1°.

En los mapas diarios no se aprecian anisotropías en la radiación de fondo ya que la magnitud de las mismas es muy pequeña y están enmascaradas por el ruido del sistema. Sin embargo, mediante la acumulación de observaciones de una misma región del cielo la importancia del ruido disminuye, mientras que la señal de la radiación de fondo, que es constante en el tiempo, se percibe cada vez mejor. El número de observaciones de la

misma zona del cielo necesarias para detectar estas fluctuaciones depende de la sensibilidad del instrumento; con COSMOSOMAS se requieren en torno a 200 días de observación de una misma zona. Actualmente se dispone de unos 130 mapas procesados a 13, 15 y 17 GHz, con lo que se ha obtenido un mapa para cada frecuencia con un nivel de ruido de unos 80 mK por haz (~165 mJy). Durante la espera se estudian las características de los datos con el fin de diseñar las técnicas de análisis estadístico idóneas que permitan a partir de las observaciones lograr la detección de anisotropías en la radiación de fondo y cuantificar la contribución de los contaminantes.

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

El término *asteroide*

¿Qué son los *asteroides*? Hasta hace un siglo se creía que estos objetos rocosos de nuestro Sistema Solar, pequeños planetas descubiertos dos siglos atrás, eran restos de un planeta mayor que se había disgregado. El hecho de que el material conjunto de todos ellos sea inferior a una milésima parte¹ la masa de la Tierra ha permitido descartar esa hipótesis, aunque también es posible que los asteroides sean el resultado de un sinfín de choques entre unos objetos originales de mayor tamaño. Sin embargo, ahora se piensa que probablemente sean trozos de materia que se condensó cuando se formaron los planetas, pero que lo hizo en pequeños fragmentos, no en grandes masas. Estos fragmentos se concentraron en el llamado *cinturón de asteroides* que gira alrededor del Sol. Veamos ahora cuál fue la génesis del propio término *asteroide*, del cual *planetoides*, *planetas menores*, *pequeños planetas* o *miniplanetas* pretenden ser sinónimos. Cuando fueron descubiertos, los astrónomos no sabían cómo llamarlos. Eran como planetas, pero no unos planetas convencionales. Su descubridor, Giuseppi Piazzi (1746-1826), sugirió el término *planetoides* o *cometoides*, basándose en que su movimiento en el Sistema Solar recordaba al de los planetas o al de los cometas. Pero el término no cuajó, aunque algunos astrónomos hoy lo usan (especialmente para referirse a los cuerpos más pequeños de este tipo dentro y fuera del Sistema Solar).

Fue el astrónomo inglés William Herschel quien primero propuso el término *asteroides*, basándose en el hecho de que estos objetos, dispersos entre las estrellas fijas, se asemejaban tanto a éstas que no podían distinguirse de ellas. «Si quisiéramos llamarlos planetas, agregaba Herschel, no podrían ocupar el espacio intermedio entre Marte y Júpiter con la debida dignidad»². También propuso *auratoides*, este último, que pronto cayó en desuso, basado en el griego *auratos*, que significa «invisible», ya que estos cuerpos no pueden observarse a simple vista, con la excepción del asteroide llamado *Vesta*³.

Al final eligieron *asteroides* por su apariencia estelar, del griego *aster*, que significa «estrella», con el sufijo *-oide*, que quiere decir «parecido», del griego *eidos*, «forma», aunque evidentemente los asteroides no son estrellas. Sin embargo, esta preferencia no se ha dado igual en otros idiomas, como contaba Abetti: «Las investigaciones posteriores le han dado toda la razón a Piazzi [a quien nunca le parecieron bien los razonamientos de Herschel sobre cómo llamar a estos objetos] y el nombre impropio de *asteroide*, a pesar de que se usa aún de cuando en cuando, se va olvidando cada vez más y queda el de 'pequeños planetas'»⁴. Hoy, tanto en inglés como en español,

asteroide es más común que *pequeño planeta*, aunque los dos términos se usan con frecuencia.

El astrónomo austriaco Joseph von Littrow (1781-1840) propuso ya tarde llamarlos *zenadeiros*, que resultaba de combinar los nombres griegos de Júpiter y Marte (de *Zeus*, en genitivo *Zenos*, y *Ares*). Con este nombre se indicaba la posición de los asteroides entre estos dos planetas.

Los asteroides eran objetos astronómicos completamente nuevos que necesitaban un nombre. ¿Qué tipo de sistema de nomenclatura había de seguirse? Después de todo eran planetas, y estaban situados en una órbita planetaria en el Sistema Solar. Por lo tanto, estaba claro que, al menos los primeros descubrimientos, debían llevar nombres clásicos, como los de los planetas «reales». En la práctica fue ese el sistema que se adoptó, pero eso es una historia para otro número de *IAC Noticias*.

CARMEN DEL PUERTO (IAC)

NOTAS

¹ *Ceres*, el mayor de los asteroides, es la 1/5.000 de la masa de la Tierra.

² ABETTI, Giorgio. *Historia de la Astronomía*. Trad. de Alejandro Rossi. Fondo de Cultura Económica. Breviarios 118. México-Buenos Aires, 1966, 2ª edición. Pág. 209.

³ ROOM, Adrian. *Dictionary of Astronomical Names*. Routledge. London, 1988. Pág. 31.

⁴ ABETTI, *op. cit.* Pág. 209.

PRÓXIMAMENTE...

ING-IAC JOINT CONFERENCE ON "SATELLITES AND TIDAL STREAMS"

La Palma. 26-30 mayo, 2002.

<http://www.iac.es/proyect/sattail/>



Diseño: Narciso Hernández.



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
(La Laguna, TENERIFE)

C/ Vía Láctea, s/n
E38200 - La Laguna (Tenerife)
Islas Canarias - España
Tel: 34 / 922 605 200
Fax: 34 / 922 605 210
E-mail: cpv@ll.iac.es
Web: <http://www.iac.es>

Oficina de Transferencia de Resultados de
Investigación (OTRI)

Tel: 34 / 922 605 186
Fax: 34 / 922 605 192
E-mail: otri@ll.iac.es
Web: <http://www.iac.es/otri>

Oficina Técnica para la Protección de
la Calidad del Cielo (OTPC)

Tel: 34 / 922 605 365
Fax: 34 / 922 605 210
E-mail: fdc@ll.iac.es
Web: <http://www.iac.es/proyect/otpc>

OBSERVATORIO DEL TEIDE
(TENERIFE)

Tel: 34 / 922 329 100
Fax: 34 / 922 329 117
E-mail: teide@ot.iac.es
Web: <http://www.iac.es/ot>

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS
(LA PALMA)

Apartado de Correos 303
E38700 Santa Cruz de la Palma
Islas Canarias - España
Tel: 34 / 922 405 500
Fax: 34 / 922 405 501
E-mail: adminorm@orm.iac.es
Web: <http://www.iac.es/gabinete/orm/orm.htm>

