



IAC NOTICIAS

Revista del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) N. 1-2003



Nebulosas planetarias

Última hora

Aniversario del Real Instituto y Observatorio de la Armada

El Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) lleva la responsabilidad, junto con el Observatorio de la Universidad de Copenhague, del Telescopio Meridiano automatizado Carlsberg (CMT), instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Además, tiene otro círculo meridiano gemelo emplazado en Argentina. En su conjunto constituye el dispositivo de astrometría más completo y avanzado del momento. Se utiliza para determinar las horas de tránsito y distancias cenitales de estrellas y planetas a su paso por el meridiano. Así, se confeccionan catálogos muy precisos de objetos celestes, se miden movimientos propios de las estrellas y se ajustan los relojes astronómicos.

Los orígenes del ROA se remontan al siglo XVIII. El insigne marino y astrónomo Jorge Juan, propuso al Marqués de la Ensenada la idea de instalar un observatorio en el Castillo de la Villa (Cádiz), sede de la Academia de Guardias Marinas. Con ello se pretendía hacer astronomía moderna y que los futuros oficiales de la Marina aprendiesen y dominasen una ciencia tan necesaria para la navegación. Como consecuencia de la propuesta de Jorge Juan, en 1753 nació el entonces llamado «Real Observatorio de Cádiz», como una dependencia anexa a la Academia de Guardias Marinas. A partir de entonces, el nuevo observatorio, el más meridional de Europa, fue ganándose un merecido prestigio en el contexto astronómico europeo, gracias a los importantes trabajos desarrollados por personajes como Luis Godin o Vicente Tofiño y al apoyo técnico y científico prestado a las expediciones ilustradas del último tercio del siglo XVIII.

Para conmemorar esta efeméride (el nacimiento de la Astronomía moderna en España), el Real Instituto y Observatorio de la Armada ha organizado una serie de actos y, en especial, unas jornadas científicas del 22 al 26 de septiembre de este año. Gracias a un puñado de marinos-astrónomos, la Astronomía arrancó con tanta fuerza y se puso a tan buen nivel en tan poco tiempo, que movilizó a la ciencia y a la tecnología ilustradas en España.

<http://www.roa.es/>

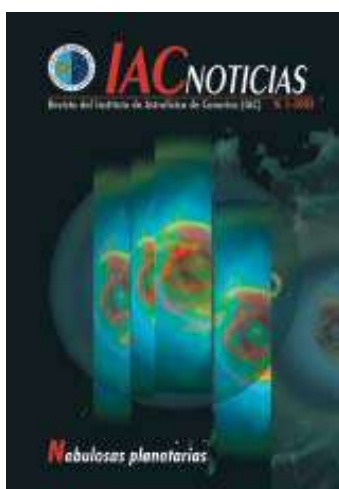


Semana de la Ciencia y la Tecnología 2003 (SCYT 2003)

Este año, coincidiendo con el 250 aniversario de la creación del primer Observatorio Astronómico en nuestro país (Real Instituto y Observatorio de la Armada, en San Fernando, Cádiz, 1753), y dado que las instalaciones astronómicas españolas están en primera línea internacional, la SCYT 2003 tendrá como temática central la difusión y conocimiento de las actividades desarrolladas por estos centros.

En el mes de mayo, el IAC presentó al Plan Nacional las propuestas de actividades que se desarrollarán en el ámbito local. Este año se ha querido centrar en la isla de La Palma, que alberga el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM). Con motivo de la SCYT se van a desarrollar diferentes actividades para la difusión y divulgación de la Astronomía, además de poner de relieve la importancia de la simbiosis entre esta instalación y la isla de La Palma.

En el ámbito nacional, el IAC colaborará con la FECYT (Fundación Española de Ciencia y Tecnología) en la propuesta y organización de actividades de difusión, que tendrán lugar en noviembre de este año.



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 Bonmati*

Colaboraciones: *Annia Domènech, Natalia R. Zelman y Oliver Expósito Molina*

Asesoramiento científico: *Luis Cuesta*

Asesoramiento técnico: *Carlos Martínez Roger*

Directorio y distribución: *Ana M. Quevedo*

Diseño original: *Gotzon Cañada, Carmen del Puerto e Inés Bonet*

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. 52.

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: Composición de imágenes de la zona central de la nebulosa planetaria NGC 6543, la Nebulosa del Ojo de Gato, obtenidas con el Telescopio Óptico Nórdico, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), por R. Corradi y D. R. Gonçalves (en 2002).

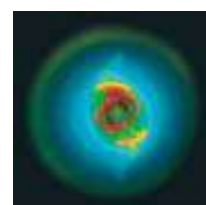
Nebulosas planetarias:

«Belleza en detalle»

En un artículo publicado en 1785, el astrónomo de origen alemán William Herschel, autor de famosos catálogos de nebulosas y cúmulos de estrellas, clasificó aparte un tipo de nebulosas que le parecían observacionalmente distintas del resto. Él las llamó *nebulosas planetarias* porque vagamente recordaban el disco verdoso de un planeta. Pero no son en absoluto planetas, ni tampoco nebulosas jóvenes en proceso de condensación para dar lugar a una estrella. Ahora sabemos que las estrellas de tipo solar, hacia el final de su vida, desprenden sus capas externas que, poco a poco, se extienden y diluyen confundiéndose con el medio interestelar, mientras que el resto de la estrella prosigue su evolución hasta convertirse en una *enana blanca*, un «cadáver estelar». En definitiva y a pesar de lo desacertado del término, una *nebulosa planetaria* es la fase última de una estrella, y también la de nuestro sol, dentro de 4.500 millones de años.



Denise R.
Gonçalves
(IAC)



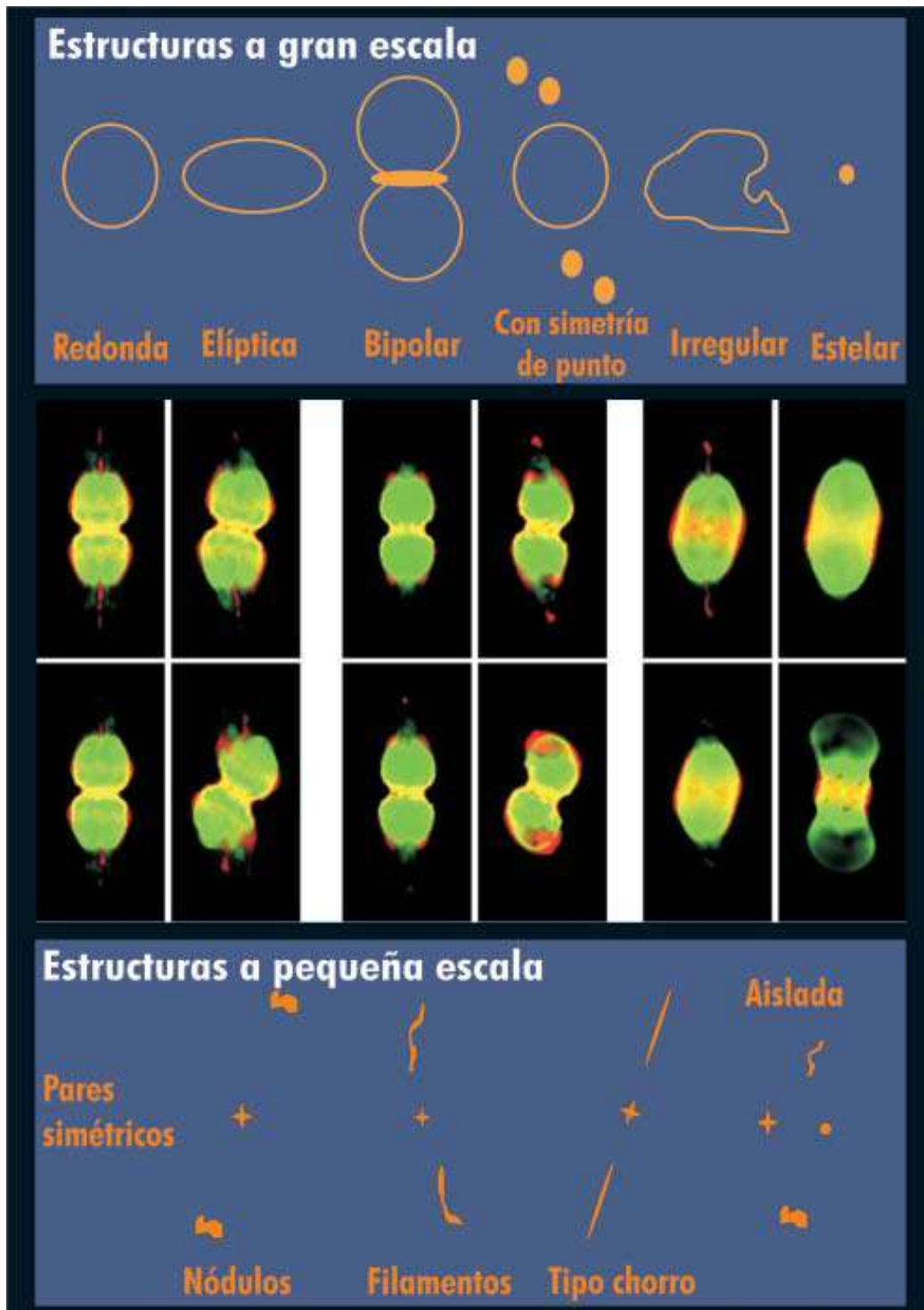


Figura 1: Recuadro superior: clasificación morfológica de las envolturas de las nebulosas planetarias. Recuadro del medio: Simulaciones de García Segura y López (2000), mostrando los diferentes tipos morfológicos de nebulosas planetarias, en algunos casos conteniendo micro-estructuras. En verde aparece la emisión debida a los fotones de alta energía de la estrella central y en rojo la debida a los choques. Recuadro inferior: esquema de los distintos tipos de micro-estructuras, dispuestas en pares simétricos o aisladas respecto a la estrella central.

Las nebulosas planetarias están compuestas de gas y polvo que circundan una estrella de tipo solar cuando se encuentra ya al final de su vida. La estrella central ilumina las nebulosidades, que se ven en todas las zonas del espectro electromagnético, desde ondas de radio hasta rayos-X. Al contrario que una estrella, que brilla como una banda de colores continua (luz blanca), una nebulosa planetaria emite luz en bandas mucho más estrechas, es decir, líneas de emisión (luz discreta y de diferentes colores). Por ello son fácilmente indistinguibles en el cielo cuando utilizamos un prisma en el telescopio y aparecen como un verdadero caleidoscopio. Precisamente, las imágenes de las nebulosas planetarias obtenidas con el Telescopio Espacial Hubble (HST) son de las más conocidas por el público por su belleza intrínseca.

Vientos estelares

Las estrellas de tipo solar, cuando llegan al final de su vida, expulsan grandes cantidades de materia a su entorno, al menos en dos tipos de episodios distintos de pérdida de masa. Primero, a través del viento lento (de una estrella AGB, o sea, de una estrella gigante), que tiene una velocidad de expansión de 10 km/s y un ritmo de pérdida de masa de 10^{-5} M_{\odot} /año; luego, vía el viento rápido, expulsado durante la fase inmediatamente posterior de la estrella central (es decir, el viento de una post-AGB), de 10^{-7} M_{\odot} /año, alcanzando hasta 2.000 km/s. Lo importante es que estos dos vientos surgen en el último millón de años de estrellas que viven hasta diez mil millones de años.

Desde los años ochenta, los expertos están cada vez más convencidos de que las nebulosas planetarias (PNe) son el resultado de la interacción de estos dos vientos estelares (idea propuesta por primera vez por S. Kwok, C. Purton

y P. Fitzgerald en 1978). La nebulosa planetaria nace cuando una estrella de tipo solar, en las últimas fases de su evolución, expulsa al espacio a través del viento lento las capas más externas de su atmósfera. Una vez que el núcleo de la estrella queda expuesto, los vientos estelares rápidos procedentes de este núcleo caliente y compacto barren el material previamente expulsado, modelando e ionizando la nebulosa naciente. La envoltura de la nebulosa resultante se expande a unos 25 km/s (velocidad intermedia entre la de los vientos que le dan origen), es más densa que los vientos estelares mencionados, tiene temperaturas alrededor de 1.000 grados y dura unos 30.000 años.

Cuando las nebulosas planetarias se observan con telescopios sencillos parecen redondas, similares a planetas, de ahí el equívoco de su nombre.

Sin embargo, las imágenes de gran resolución revelan que las nebulosas planetarias están constituidas por muchas estructuras.

A gran escala, aparecen halos más o menos redondos. En escalas intermedias, las envolturas pueden ser redondas, elípticas, bipolares, con simetría de punto o irregulares. A escalas mucho menores, hay una serie de micro-estructuras que presentan morfologías tan variadas como nódulos, filamentos y estructuras similares a chorros de emisión. En la **Figura 1** mostramos un esquema de las variadas estructuras (a gran y pequeña escala) de las PNe, y en la **Figura 2** algunas imágenes de nebulosas planetarias que contienen micro-estructuras.

Como se ha mencionado, las envolturas son originadas por la interacción de vientos; los halos, las estructuras más grandes de las nebulosas planetarias, están compuestos probablemente por gas expulsado durante las fases activas de la evolución estelar, previas a la compresión de la

«Una nebulosa planetaria nace cuando una estrella de tipo solar, en las últimas fases de su evolución, expulsa al espacio las capas más externas de su atmósfera, que posteriormente serán iluminadas y moduladas por la estrella central.»

«Cuando las nebulosas planetarias se observan con telescopios sencillos parecen redondas, similares a planetas, de ahí el equívoco de su nombre. Sin embargo, las imágenes de gran resolución revelan que las nebulosas planetarias están constituidas por muchas estructuras.»

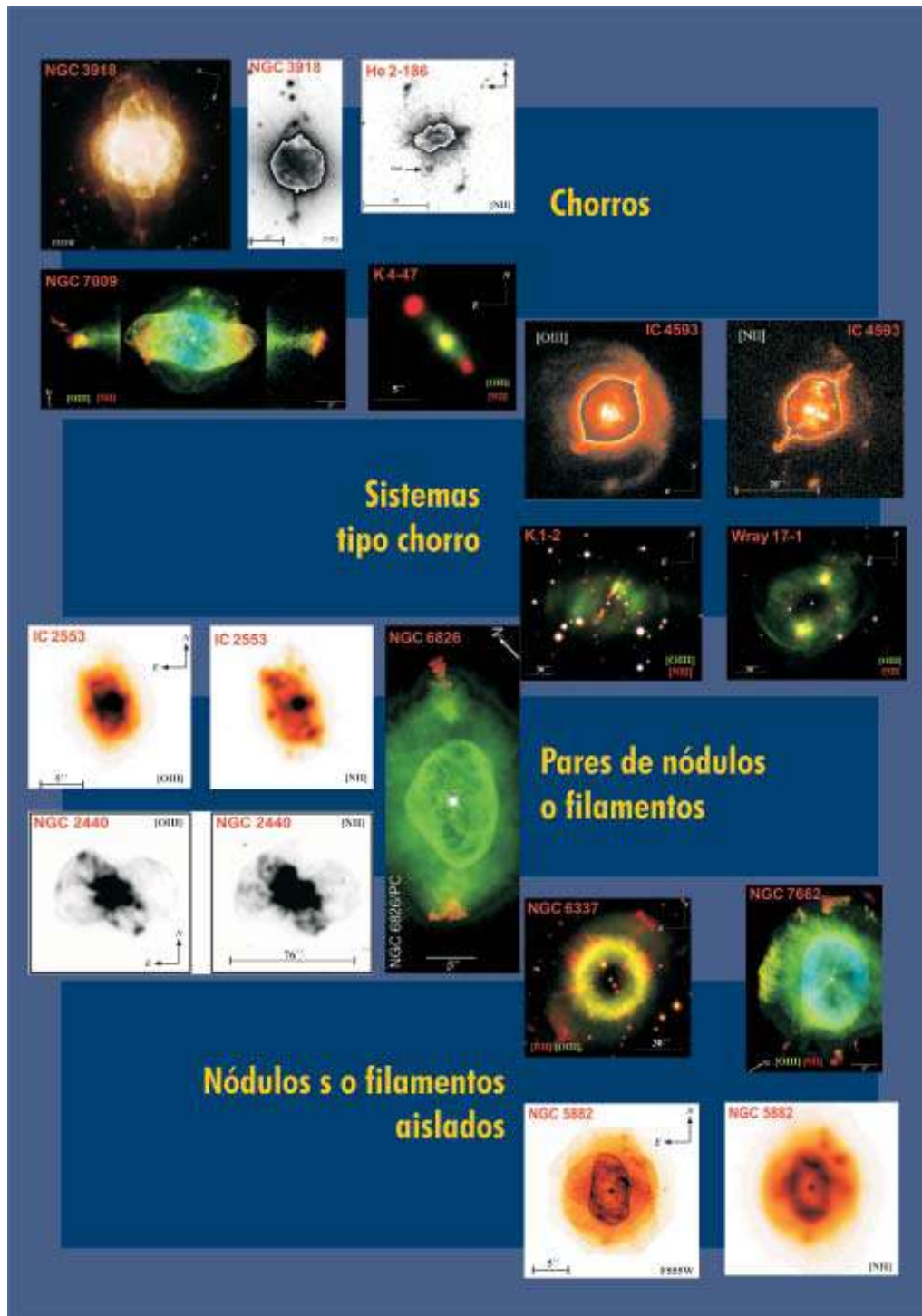


Figura 2: La mayoría de estas imágenes fueron obtenidas en los últimos cinco años por nuestro grupo, en distintos telescopios, y mayoritariamente con la luz del oxígeno doblemente ionizado (OIII) y del nitrógeno una vez ionizado (NII). Las imágenes F555W de NGC 3918 y NGC 5882 son del archivo del HST. Las de NGC 7009, NGC 6826 y NGC 7662 son de Balick y colaboradores (1998), y las de NGC 2440, de López y colaboradores (1998).

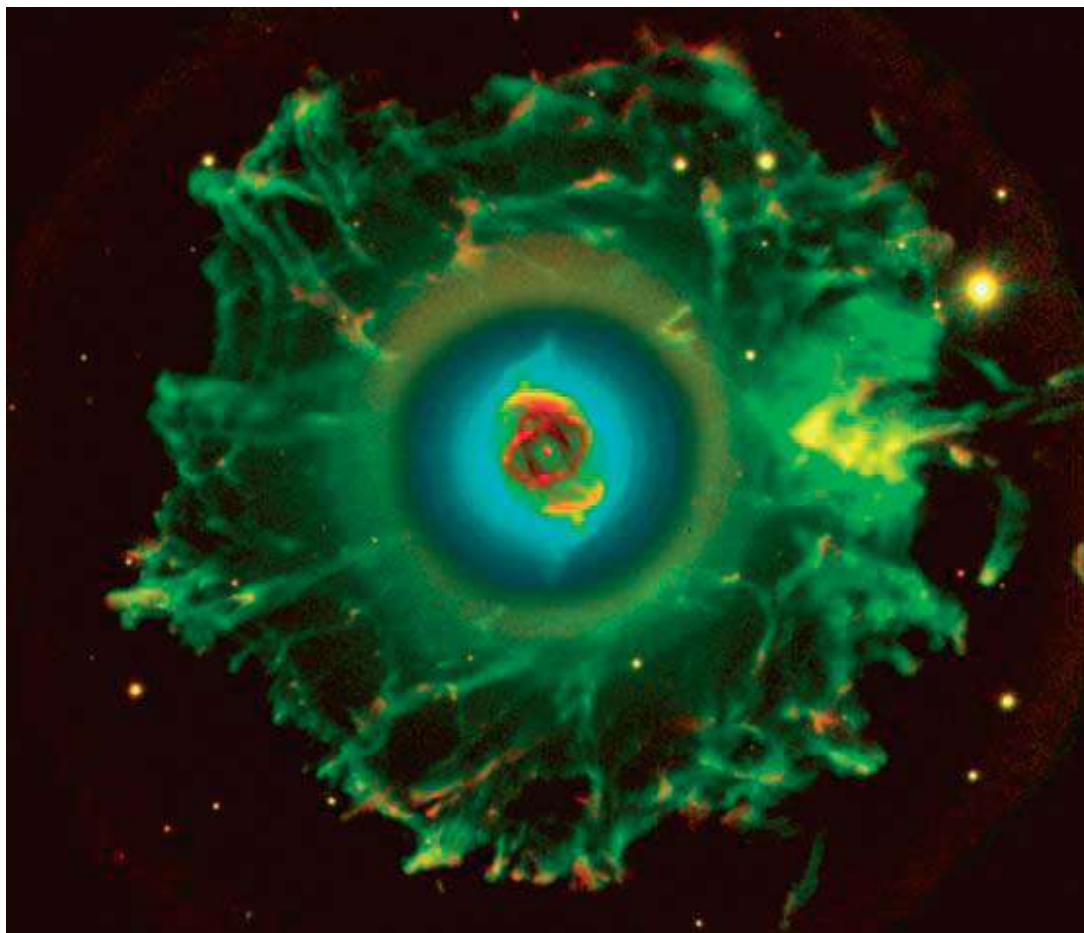


Figura 3: NGC 6543, la Nebulosa del Ojo de Gato, observada en 2002 con el Telescopio Óptico Nórdico, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), por R. Corradi y D. R. Gonçalves. La imagen capta la emisión de los átomos de nitrógeno una vez ionizado (coloreado en rojo) y de oxígeno dos veces ionizado (coloreado en verde y azul). El procesado destaca detalles en la parte interna brillante a la vez que revela los tenues anillos concéntricos y el halo filamentososo.

nebulosa (restos del viento lento AGB). Este gas estaría ahora iluminado por la estrella central caliente.

La Nebulosa del Ojo de Gato ó NGC 6543 (**Figura 3**), situada en la constelación del Dragón, muestra una gran variedad de estructuras internas simétricas, un halo filamentososo extenso, varios anillos concéntricos y un complejo juego de envolturas en el núcleo.

El intrincado juego de envolturas nebulares en el corazón de NGC 6543 (en rojo y amarillo en la **Figura 3**) podría tener unos 1.000 años de edad. Rodeando al núcleo se encuentra una serie de anillos concéntricos (en azul), cada uno de los cuales parece una burbuja de gas expulsada

en intervalos regulares de 1.500 años desde hace unos 18.000 años. Los filamentos más externos (verdes) podrían datar de hasta unos 60.000 años. Es probable que la masa del material estelar de esta nebulosa iguale a la masa de nuestro sol.

A pesar de que los expertos han dedicado mucha atención a las nebulosas planetarias y a sus estructuras, la complejidad de detalles que se encuentra en estos objetos continúa sorprendiendo. Por ejemplo, en el caso de NGC 6543, ¿qué nos dicen los filamentos externos? Tras expulsar series de burbujas de gas concéntricas, ¿qué provocó que la estrella liberara el conjunto de envolturas del corazón de la nebulosa? ¿Y qué genera los misteriosos chorros que parecen salir

de los dos extremos de los arcos elípticos (amarillo brillante) rodeando a las envolturas (rojas) en el núcleo de la nebulosa?

Chorros y otras micro-estructuras

Si analizamos la parte central de NGC 6543 (**Figura 4**), parece claro que la estructura parecida a un chorro es una entidad separada del núcleo de la nebulosa. De hecho, las estructuras a pequeña escala de las nebulosas planetarias habitualmente aparecen como entidades bien diferenciadas del resto de los componentes de la nebulosa, no sólo morfológicamente, sino también en términos de la luz que emiten. Mientras que las envolturas y los halos brillan mucho en la línea de emisión de oxígeno doblemente ionizado ([OIII], verde y azul en la **Figura 3**), las micro-estructuras brillan mucho más en el nitrógeno una vez ionizado ([NII], rojo en la **Figura 3**) y el oxígeno una vez ionizado ([OII]). Dada esta diferencia en el estado de ionización de unas y otras estructuras, las micro-estructuras también son conocidas

«Con telescopios capaces de obtener imágenes de alta resolución se están descubriendo muchas más micro-estructuras.»

como estructuras de baja ionización (LIS) (volver a ver la **Figura 2**).

Con telescopios capaces de obtener imágenes de alta resolución se están descubriendo muchas más micro-estructuras. Por ejemplo, las estructuras a pequeña escala pueden ser fácilmente estudiadas gracias al Telescopio Espacial Hubble. Sin embargo, el «asa» de NGC 7009 (**Figura 2 y Figura 5**) se conoce hace mucho tiempo (descubierto por L. Aller en 1936). Recientemente, dichas estructuras fueron bautizadas con apodos como FLIERs (*fast, low-ionization emission regions*; regiones de emisión de alta velocidad y baja ionización), por Balick y colaboradores en 1993; o BRETs (*bipolar, rotating, episodic jets*; chorros bipolares episódicos y rotantes), por López y colaboradores en 1995. Nombrar así a las micro-estructuras permite describir algunas de sus características físicas.

Las estructuras de pequeño tamaño tienen una gran variedad de apariencias y, además, pueden viajar con la misma velocidad que el medio en el cual se encuentran o bien expandirse de un modo peculiar. Hace un par de años, llevamos a cabo una detallada clasificación de las estructuras a pequeña escala y baja ionización de las nebulosas planetarias (D.R. Gonçalves, R. Corradi y A. Mampaso, 2001). Con este trabajo relacionamos, por primera vez, todas las nebulosas planetarias (alrededor de 50) con micro-estructuras, teniendo en cuenta sus tipos morfológicos y cinemáticos, así como los procesos físicos propuestos para su formación.

Entonces clasificamos LIS como: i) pares de nódulos o filamentos simétricos (ej: las estructuras en rojo en la imagen de NGC 6826, **Figura 2**); ii) pares de chorros (ej: extensiones negras y verticales de NGC 3918, **Figura 2**); iii) pares de estructuras similares a chorros (ej: extensiones rojas y diagonales de IC 4593 y K 1-2, **Figura 2**); y iv) estructuras aisladas (ej: nódulos y filamentos rojos que aparecen a la derecha del anillo central de NGC 6337; **Figura 2 y Figura 6**). Los pares de nódulos o filamentos y las estructuras aisladas viajan con altas o bajas velocidades con respecto a su entorno. En particular, los pares de chorros son aquellas estruc-



Figura 4: Parte central de NGC 6543, por R. Corradi y D.R. Gonçalves (en 2002). Aquí vemos una imagen en nitrógeno una vez ionizado de las estructuras internas de la nebulosa. El par de chorros es el rasgo más externo, orientado en dirección Norte-Sur.

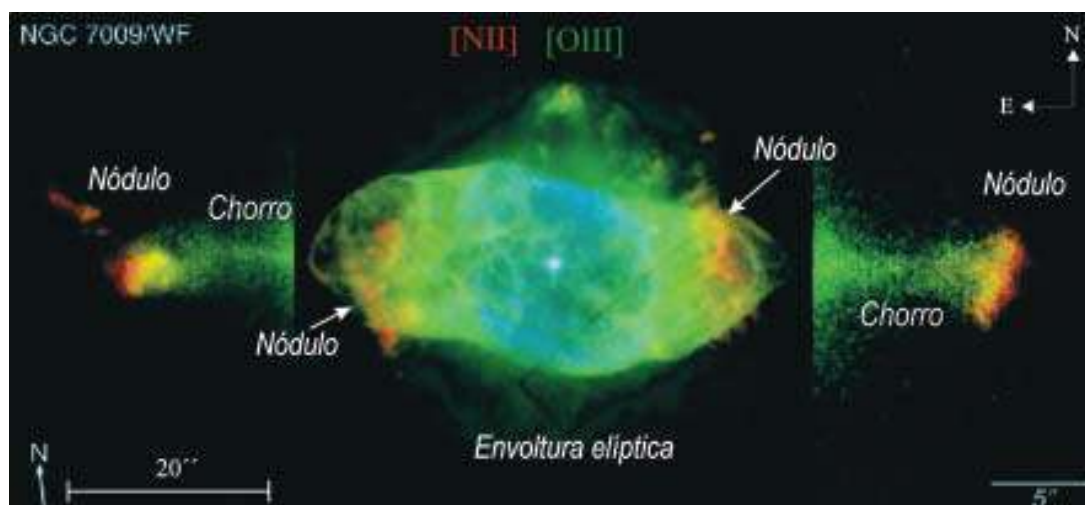


Figura 5: NGC 7009, la nebulosa de Saturno (Balick y colaboradores 1998). Éste es un prototipo de nebulosa planetaria con chorros, la cual está muy estructurada: una concha elíptica vagamente orientada este-oeste; dos pares de nódulos, uno interno y otro externo; y un par de chorros.

turas que se expanden supersónicamente. En cambio, los llamados pares de estructuras similares a chorros (**Figura 2**) tienen la misma velocidad que el medio que les circunda.

Demostramos que las LIS aparecen indistintamente en cualquiera de las clases morfológicas de nebulosas planetarias, indicando que los procesos que llevan a la formación de las LIS no están necesariamente relacionados con los procesos responsables de las distintas morfologías de nebulosas planetarias. Este análisis detallado de las micro-estructuras nos permitió descartar algunos mecanismos propuestos para explicar el origen de los distintos tipos de LIS. Mostramos que tanto las velocidades observadas como las ubicaciones de los sistemas aislados de LIS pueden ser razonablemente bien explicadas por condensaciones originadas en el viento lento, o sea, previas a la nebulosa propiamente dicha, o por inestabilidades locales.

Los modelos para chorros propuestos hasta entonces (interacción de los dos vientos citados anteriormente, con o sin la inclusión de efectos magnéticos, y considerando que la estrella central sea única o parte de un sistema binario) no siempre pueden explicar las características cla-

ve de los chorros observados, como sus edades cinemáticas y el ángulo entre el chorro y los ejes simétricos de la nebulosa.

Encontramos también que los pares de estructuras similares a chorros, caracterizados por velocidades de expansión relativamente bajas (parecidas a las de las envolturas principales de las nebulosas planetarias) no pueden ser explicadas por ninguno de los modelos existentes.

Los nódulos que aparecen en parejas simétricas y opuestas de baja velocidad podrían entenderse como la supervivencia de una condensación (simétrica) formada en el viento lento (fase AGB de la estrella central) o como estructuras que han experimentado un frenado considerable causado por el medio

circundante.

Muy recientemente, de hecho en julio de este año, finalizamos (D.R. Gonçalves, R. Corradi, A. Mampaso y M. Perinotto en 2003) los análisis de las densidades, temperaturas, excitación y química de uno de los chorros prototipos en nebulosas planetarias, el de NGC 7009 (ver **Figura 5**). Sorprendentemente, encontramos que nuestras observaciones de los chorros y nódulos en esta nebulosa planetaria no confirmaban las

«Sabemos que un 95% de todas las estrellas se convertirán en nebulosas planetarias.»

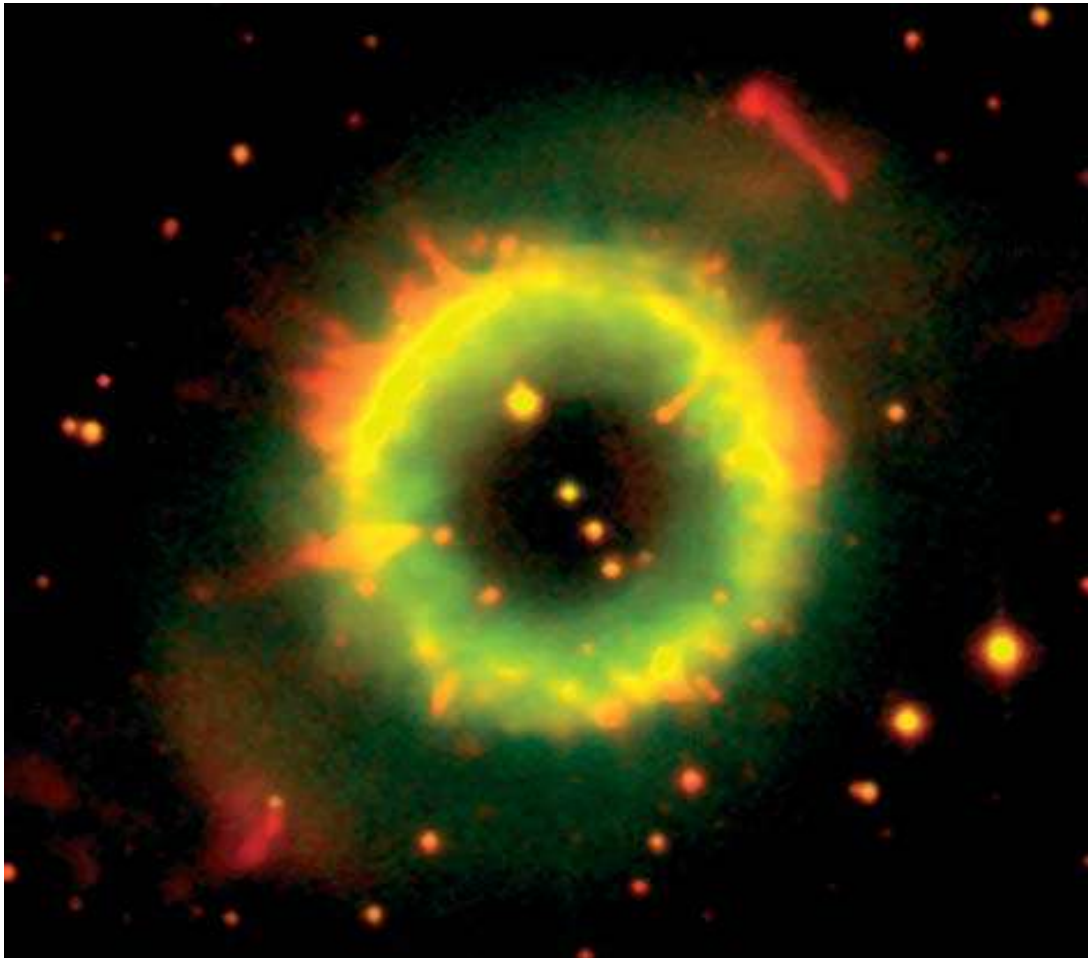


Figura 6: Nebulosa planetaria NGC 6337, obtenida con el New Technology Telescope, en La Silla (Chile), por Corradi y colaboradores en 2000. Se trata de una nebulosa bipolar vista de cara. Por lo tanto, la «cintura» que confina los dos lóbulos es el anillo verde que aparece superpuesto por los filamentos de baja ionización (rojo). Éstos son ejemplos de microestructuras aisladas probablemente formados por inestabilidades en el anillo.

densidades, excitación y química predichos por el modelo teórico.

La importancia de estos resultados radica en que nos dicen que incluso las micro-estructuras mejor estudiadas de las nebulosas planetarias no han sido bien entendidas por los expertos. Tal vez se ha malinterpretado la información procedente de los datos observacionales (respecto a formas, velocidades, grados de excitación, química, etc.) o bien se han aplicado procesos físicos incorrectos para explicar su formación. Sin embargo, puesto que estos procesos físicos son básicamente los mismos que se supone están en el origen de otros tipos de chorros astrofísicos (en objetos estelares jóvenes,

los chorros extragalácticos, etc.) y dado que el análisis observacional que usamos para las micro-estructuras es el usado habitualmente para las nebulosas planetarias, es obvio que nos enfrentamos a fenómenos muy complejos. Comprender cómo se forman y desarrollan las micro-estructuras es hoy en día un interrogante importante sobre la evolución de las estrellas similares al Sol.

Finalmente, sabemos que un 95% de todas las estrellas se convertirán en nebulosas planetarias. Por lo tanto, el hecho de que las nebulosas planetarias sean el destino común de muchas estrellas justifica el esfuerzo de conocer en detalle la física que existe detrás de ellas.

El enigma de la «Fuerza de Lorentz»

El matemático y físico alemán de origen ruso Hermann Minkowski (1864-1909), profesor de Einstein en la Escuela Politécnica de Zurich, introdujo la idea de que un suceso viene especificado por cuatro dimensiones, es decir, tres coordenadas espaciales y una coordenada temporal. Este espacio cuadrimensional se denomina hoy, en su honor, el «espacio-tiempo de Minkowski». El nuevo concepto fue decisivo para entender el trabajo del físico holandés Hendrik A. Lorentz (1853-1928), quien había obtenido unas expresiones para transformar las coordenadas espaciales y temporales de un suceso observado en un sistema de referencia en las coordenadas de otro sistema que se mueve respecto al primero con un movimiento rectilíneo y uniforme. Estas transformaciones, que prefiguraban la relatividad, son las famosas «transformadas de Lorentz». Pero Lorentz, que recibió el Premio Nobel de Física de 1902 por sus investigaciones sobre los efectos del magnetismo en los fenómenos de radiación, planteó a los físicos una ecuación que también lleva su nombre -la «Fuerza de Lorentz»-, enigma que ha tardado un siglo en resolverse.



Jesús González de Buitrago
(ULL/IAC)





Hermann Minkowski



Hendrik Lorentz

En el ámbito científico en general, y en especial dentro de la Física, no es frecuente encontrar problemas que se mantengan sin resolver durante un siglo. Un caso muy especial lo constituye la llamada «Fuerza de Lorentz», la cual describe el comportamiento dinámico de una partícula cargada moviéndose en un campo electromagnético externo. La conocida ecuación a que nos referimos fue enunciada por el físico holandés Hendrik Anton Lorentz en 1895.

Una característica fundamental de la ecuación de la Fuerza de Lorentz es que es válida en el contexto de la relatividad (antes de que la teoría de la relatividad fuese propuesta), resultando rigurosamente exacta incluso para velocidades cercanas a la de la luz. Por otra parte, y éste es el problema al que nos referimos, hasta hace algunos años, no había sido posible obtener dicha ecuación a partir de ningún principio fundamental, por lo que se consideraba una expresión *ad hoc*.

Controversia electrodinámica

El carácter aparentemente empírico de la Fuerza de Lorentz dejaba a la Electrodinámica (la

teoría que mejor conocemos) con un curioso cabo suelto que no ha dejado de ser objeto de numerosas controversias, incluso en libros de texto (un ejemplo puede encontrarse en el conocido libro de *Electrodinámica Clásica*, de J.D. Jackson).

El procedimiento habitual consiste en considerar dos observadores: uno en reposo, que ve una partícula sujeta a la acción de un campo puramente eléctrico, y otro que se mueve con una velocidad v . Desde el punto de vista de este segundo observador, la carga no sólo experimenta una fuerza eléctrica, sino también una fuerza electromagnética. Mediante las transformaciones de Lorentz podemos explicar la aparición de la fuerza electromagnética. Sin embargo, con este procedimiento sólo se recupera parte de la ecuación de Lorentz:

$$\frac{d\mathbf{u}^a}{dt} = \frac{q}{mc} F^a_b \mathbf{u}^b$$

siendo q y m la carga y masa de la partícula respectivamente, \mathbf{u}^b la velocidad y F^a_b el campo electromagnético.

El problema se mantuvo para mí insoluble hasta que pensé que la Fuerza de Lorentz podría estar íntimamente relacionada no con transformaciones de Lorentz habituales (rotaciones espacio-temporales finitas) sino con rotaciones e impulsiones infinitesimales. A continuación intentaré aclarar esta cuestión así como el camino seguido.

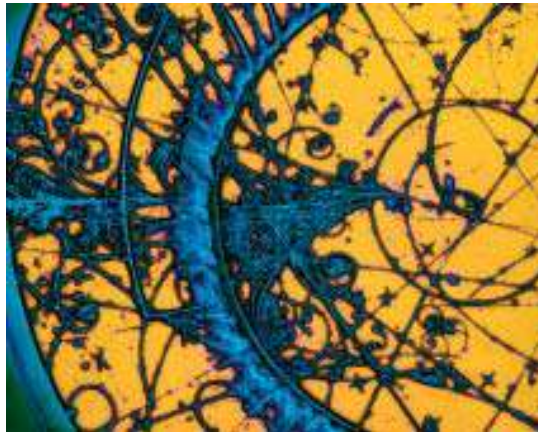
El espacio-tiempo de Minkowski

En el espacio euclídeo de tres dimensiones, si situamos un vector en un punto y efectuamos una rotación cualquiera de dicho vector encontramos que sus componentes, a lo largo de tres ejes de coordenadas mutuamente perpendiculares, cambian, pero la propia longitud del vector se mantiene inalterada.

Esto, que puede parecer obvio, constituye una propiedad fundamental del espacio euclídeo. De igual manera en el Espacio de Minkowski de cuatro dimensiones (tres componentes espaciales y una temporal) de la relatividad especial, la longitud de un vector (ahora con cuatro componentes) es una magnitud que permanece constante no solamente bajo rotaciones espaciales arbitrarias sino también cuando efectuamos «rotaciones» espacio-temporales que afectan a la componente temporal. Por supuesto, la propiedad anterior se extiende a cualquier vector, como la cuadrivelocidad o el cuadrimento, definido en el espacio de Minkowski.

Desde los tiempos de Newton, los campos se suelen definir a partir de la aceleración que producen sobre una cierta partícula. Sin embargo, en el caso del campo electromagnético, podemos hacer algo más que definir el tensor campo electromagnético a partir de la Fuerza de Lorentz. Supongamos una partícula moviéndose en el seno de un campo puramente magnético. Un campo de esta naturaleza no cambia la energía de la partícula y, por tanto, solamente altera las com-

ponentes espaciales de la cuadrivelocidad manteniendo constante su módulo. Algo de reflexión sobre el asunto nos induce a pensar que la evolución de la parte espacial del cuadrivector velocidad de la partícula puede describirse como una sucesión de rotaciones infinitesimales. De igual forma, cuando solamente tenemos un campo eléctrico, podemos visualizar el cambio en la cuadrivelocidad como una serie de impulsiones (desde el punto de vista geométrico, rotaciones espacio temporales o «boosts») infinitesimales que van cambiando la energía y la dirección del movimiento. En el caso general en que existan ambos tipos de campos, la evolución puede describirse en términos de impulsiones y rotaciones infinitesimales actuando sobre la cuadrivelocidad de la partícula.

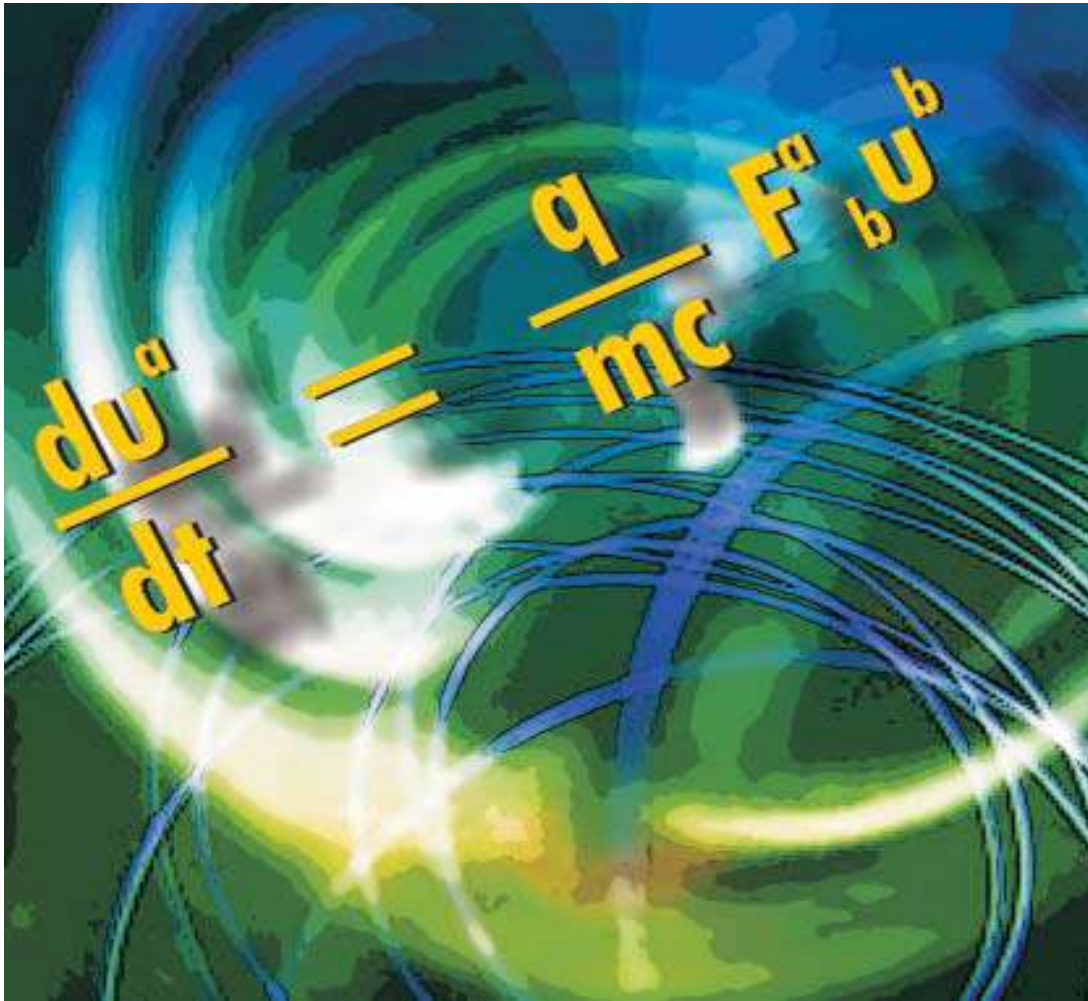


*Imagen de las trayectorias de las partículas seguidas en la BEBC, la Gran Cámara de Burbujas de Europa.
© CERN, Ginebra.*

Cuando adoptamos el punto de vista activo (se rotan los vectores no los ejes), en el espacio de Minkowski, las rotaciones espaciales y las impulsiones, o rotaciones espacio temporales, vienen descritas por un conjunto de seis matrices (tres para describir giros alrededor de los tres ejes coordinados espaciales y otras tres para las correspondientes impulsiones o «boosts»). El conjunto de estas matrices forman una representación de un grupo no

Abeliano llamado el «Grupo de Lorentz». En general, las seis matrices anteriores están asociadas a giros finitos. En nuestro caso, nos interesan los operadores matriciales que efectúan giros infinitesimales, los cuales pueden deducirse fácilmente considerando las propiedades de los elementos del Grupo de Lorentz cercanos al elemento unidad. Procediendo de esta manera, se obtiene un conjunto de seis matrices 4×4 muy sencillas que constituyen los generadores del grupo.

Anteriormente, habíamos descrito la evolución del cuadrivector velocidad de una partícula cargada en un campo electromagnético en términos de rotaciones e impulsiones infinitesimales. Esta imagen intuitiva debe ser expresada en len-



Simulación artística del «espacio-tiempo de Minkowski» y la «Fuerza de Lorentz». Autor: Gotzon Cañada.

guaje matemático. Intentaremos esbozar el camino que hay que seguir. Consideremos el caso sencillo de una partícula moviéndose en el plano X-Y en un cierto sistema de referencia en el que sólo existe un campo magnético dirigido según el eje Z. Una vez transcurrido un lapso de tiempo, que supondremos pequeño, la cuadrivelocidad de la partícula habrá sufrido un cambio que viene determinado por la actuación de un operador lineal directamente determinado por el generador correspondiente a un giro infinitesimal alrededor del eje Z multiplicado por un parámetro que cuantifica el giro. En el caso más general en que tengamos un campo magnético dirigido en una dirección arbitraria, el operador correspondiente se obtiene mediante el producto de los operadores que producen

giros infinitesimales alrededor de los tres ejes coordenados. A partir de aquí, se puede demostrar que el operador asociado a un campo electromagnético arbitrario (tensor campo electromagnético) queda determinado por el que resulta a partir del producto de los seis operadores asociados al conjunto de generadores del grupo de Lorentz. Una vez obtenido el tensor campo electromagnético, la Fuerza de Lorentz es una consecuencia inmediata. Lo que en un principio era una ley empírica se convierte en una consecuencia ineludible de la geometría del espacio-tiempo de la relatividad especial.

REFERENCIAS

J. Buitrago: (1995) *European Journal of Physics*, 16, 113

Filtros sintonizables:

La baza de OSIRIS

La investigación astrofísica y la tecnología afín son disciplinas tan estrechamente asociadas, que no podrían subsistir sin el avance mutuo. Actualmente, varios son los proyectos de instrumentación que se desarrollan en el IAC para apoyar, posteriormente, toda la Ciencia que quiere hacerse con ellos. Uno de estos instrumentos es OSIRIS, un sistema óptico para imagen y espectroscopía integrada de resolución baja e intermedia que formará parte de la instrumentación del Gran Telescopio CANARIAS (GTC). OSIRIS quiere ver las líneas del espectro en dos dimensiones con total definición, quiere ser tan preciso que pueda distinguir una línea del espectro sea cual sea su posición dentro del rango visible. Y podrá hacerlo sin tener que utilizar gran cantidad de filtros que compliquen su funcionamiento, porque dispondrá de filtros sintonizables. Un sistema que permitirá a OSIRIS convertirse en el ojo del cielo.

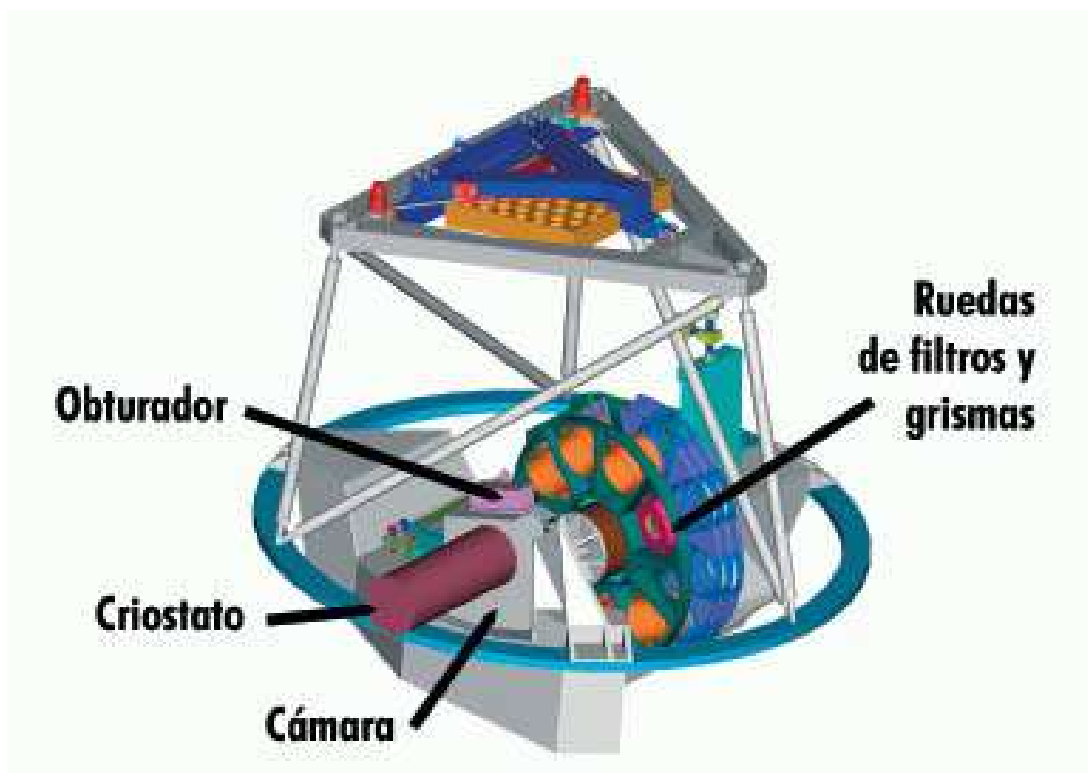


Jordi Cepa
(ULL/IAC)



Natalia R. Zelman
(IAC)





Dos perspectivas del diseño de OSIRIS. Diseño: Equipo del Proyecto.

Espectroscopía Integrada de Resolución Baja/ Intermedia (*Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy*), es un instrumento de Día Uno para el Gran Telescopio CANARIAS (GTC) que ha sido diseñado y está siendo construido en el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), con la participación del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM). Trabaja en el rango visible, es decir, con la luz que es capaz de percibir el ojo humano, y podrá obtener imágenes directas del cielo y realizar espectroscopía de varios objetos a la vez.

Todo su diseño se ha visto condicionado por uno sólo de sus componentes: los filtros sintonizables, que permiten observar de manera muy precisa una línea determinada del espectro de luz, situada en cualquier posición dentro del rango visible. Esto proporciona a OSIRIS una capacidad única con respecto a otros instrumentos para telescopios de gran tamaño.

Sistema óptico

OSIRIS trabajará en los modos de rendija larga y multi-objeto, cubriendo el intervalo de longitudes de onda entre 0,365 y 1,0 micrómetros, en un campo de visión de 7 arcmin x 7 arcmin en imagen directa, y de 8 arcmin x 5,2 arcmin en espectroscopía de baja resolución mediante el uso de grismas.

Los grismas son prismas (elementos que dispersan la luz generando haces de distinta longitud de onda o color en diferentes direcciones, con muy baja resolución y muy alta transmisión) en los que en una de las caras se raya un patrón, como en una red de difracción, para conseguir una mayor separación de los colores y además dirigir el color que más interese en una cierta dirección.

OSIRIS estará disponible tanto en modo de rendija larga (8 arcmin) como en modo multi-objeto

mediante el uso de máscaras en el plano focal, es decir, la luz puede penetrar en el instrumento sin ser controlada en su entrada o «tapando» aquello que no nos interese con máscaras, que son placas en las que se corta un agujero o rendija para que sólo nos llegue la luz del objeto de estudio.

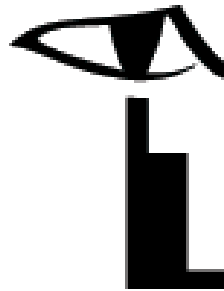
Mediante dos filtros sintonizables situados en la pupila del sistema óptico, será posible cubrir todo el intervalo de longitudes de onda, de forma equivalente a un número ilimitado de filtros interferenciales de banda estrecha e intermedia. Esto proporciona a OSIRIS ventajas como evitar el gasto de fabricar un gran número de filtros de banda estrecha, la uniformidad de la función de respuesta instrumental para todas las longitudes de onda y todos los anchos de banda y el uso del mismo camino óptico para todo el rango espectral.

Los filtros sintonizables ya han sido utilizados en telescopios de 4 m, pero constituyen una novedad en instrumentos para telescopios mayores de 4 m.

Un filtro móvil

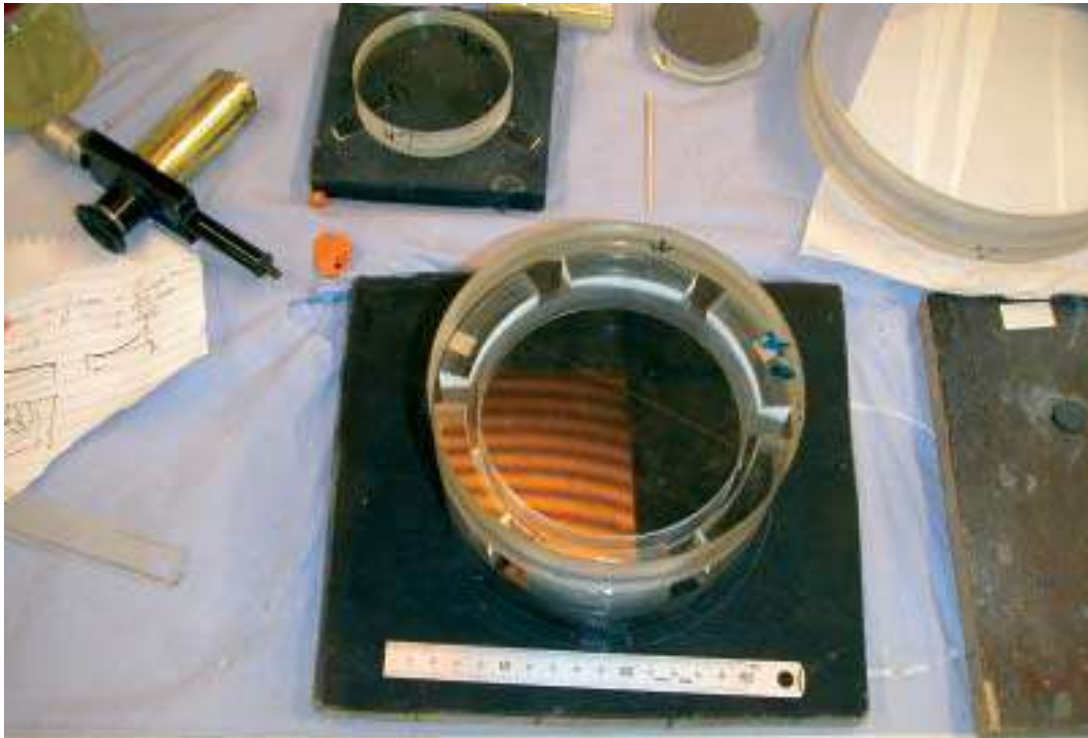
Los filtros de banda estrecha e intermedia convencionales suelen ser interferenciales, es decir, provocan la interacción de las ondas de luz que lo atraviesan. Están constituidos por lo que se denominan «cavidades fijas». Por este motivo siempre transmiten un rango constante tanto en longitud de onda como en ancho de banda.

En un instrumento como OSIRIS, para cubrir todas las longitudes de onda y anchos de banda utilizando filtros interferenciales, necesitaríamos unos cinco mil filtros. Ello implica una inversión en filtros más de treinta veces superior al coste del instrumento sin filtros. Además, dado que no sería posible que todos ellos estuvieran disponibles en el instrumento simultáneamente, sería preciso realizar frecuentes cambios de filtros.



Logotipo de OSIRIS.

«Todo su diseño se ha visto condicionado por uno solo de sus componentes: los filtros sintonizables, que permiten observar de manera muy precisa una línea determinada del espectro de luz, situada en cualquier posición dentro del rango visible.»



Óptica del filtro sintonizable azul ya pulida. Se ven los dos bloques de cuarzo fundido. En la actualidad, el filtro ya cuenta con los recubrimientos ópticos y se halla ensamblado en su envolvente mecánica listo para aceptación y pruebas.

Sin embargo, los filtros sintonizables son de cavidad variable y, con dos de ellos, cubrimos desde el ultravioleta próximo al infrarrojo próximo (0,360 a 1,0 micrómetros) con una gran variedad de anchuras de banda posibles.

Los filtros sintonizables están constituidos por dos bloques de cuarzo fundido (sílice fundido) cuya separación puede regularse a voluntad en cuestión de milisegundos con una precisión de nanómetros, manteniendo siempre un perfecto paralelismo entre las superficies de los bloques. Las superficies están pulidas con extrema precisión (mejor que la centésima parte de la longitud de onda) y llevan varios recubrimientos de diferentes materiales destinados a producir una superficie reflectante en la cara interna y otra antirreflectante en la externa.

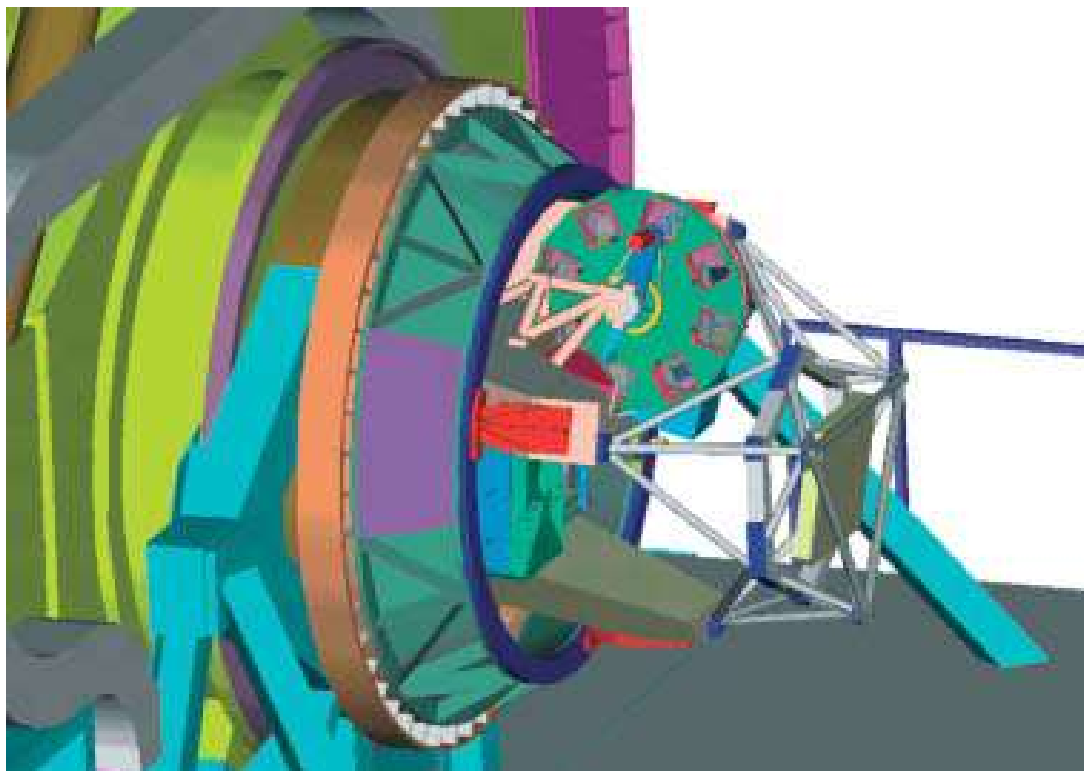
El rango de movimiento entre ambos bloques es de tan sólo 8 micrómetros, con una separación

mínima de 2 micrómetros y una máxima de 10. Todo un reto de precisión si tenemos en cuenta que una mota de polvo es mayor que un micrómetro.

El movimiento de los bloques se produce y se regula mediante tres soportes que se encuentran fuera del campo de visión, y que están constituidos por varias capas alternas de cristal y metal. La introducción de una diferencia de potencial entre las láminas de metal produce una alteración del tamaño de las piezas de cristal, lo que varía las distancias entre los bloques.

El aspecto externo de un filtro sintonizable de OSIRIS es el de un cilindro de vidrio y metal de unos 20 cm de diámetro por 10 de alto, y un peso de 12 kg, con varios enchufes para conectar distintos cables, controlar la separación de los bloques y regular su paralelismo. Estas características de tamaño, peso y cableado impi-

«Mediante dos filtros sintonizables situados en la pupila del sistema óptico, será posible cubrir todo el intervalo de longitudes de onda, de forma equivalente a un número ilimitado de filtros interferenciales de banda estrecha e intermedia.»



OSIRIS en el foco Nasmyth. Diseño: Equipo del Proyecto.

den su uso en otros instrumentos que no hayan sido específicamente diseñados con el fin de acoger estos filtros. Además, el tamaño relativamente reducido de su superficie óptica útil, limitado por la actual tecnología de fabricación, haría mucho menos eficiente su uso en otros instrumentos para telescopios de gran tamaño, de pupilas significativamente mayores que la de OSIRIS.

Dado que los filtros sintonizables son aparatos de alta tecnología y precisión, el instrumento OSIRIS se halla aislado del exterior mediante un carenado dentro del cual el aire se halla a una presión ligeramente superior a la atmosférica. De esta manera se mantienen dentro del instrumento unas condiciones estables de temperatura y humedad y se evita la entrada de polvo y suciedad así como la condensación de humedad en las superficies ópticas.

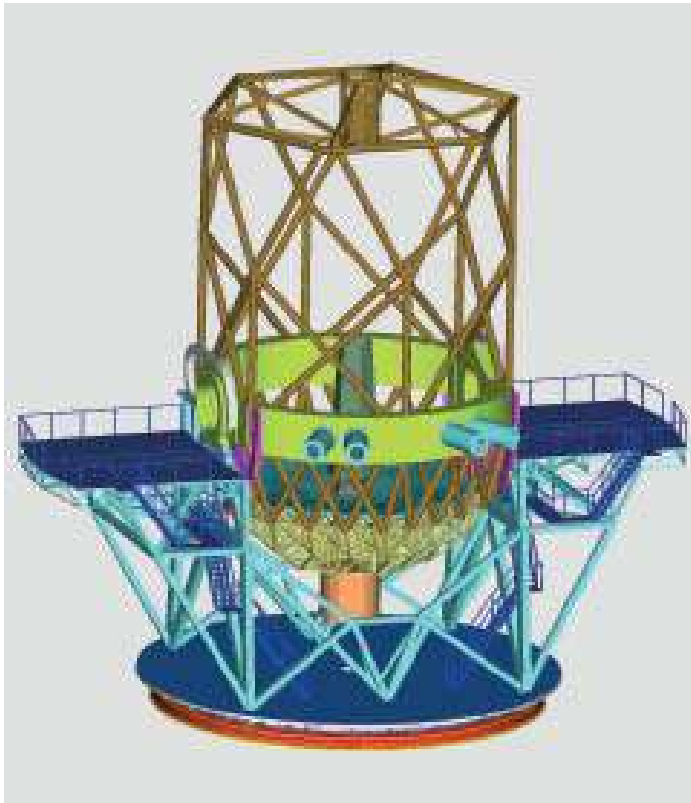
Los filtros sintonizables se están construyendo en una empresa británica, **ICOS**, especializada en la fabricación de este tipo de ele-

mentos. De los dos filtros sintonizables que utilizará OSIRIS, el azul se halla ya terminado y el rojo está en proceso de fabricación

El camino de la luz

La luz procedente del telescopio se refleja en un colimador de 60 cm, luego rebota en un espejo plano que dobla el haz y llega a las ruedas de filtros. Hay 4 ruedas, una con los filtros sintonizables y los grismas que está situada en la pupila, y otras 3 con filtros para espectroscopía, imagen en banda ancha y calibración.

La cámara consta de nueve lentes (tres dobletes y tres singletes). La última lente envía la luz al detector CCD, ubicado en un criostato. En realidad se trata de un mosaico compuesto por dos detectores (de 4.000 x 2.000 píxeles cada uno), sensibles al rojo y muy eficientes en el azul. Son un factor tres más gruesos de lo normal con el fin de corregir con más facilidad el ruido producido por la atmósfera terrestre, aumentando así la precisión.



Estructura del GTC con sus dos plataformas Nasmyth a ambos lados. En una de ellas se instalará el instrumento OSIRIS.

Programas científicos

El programa científico emblemático de OSIRIS es OTELO que, junto con COSMOS (programa científico para el instrumento de segunda generación del GTC, EMIR) realizará un cartografiado del cielo. Con OTELO se pretenden detectar unas 10.000 fuentes en emisión, recogiendo información incluso de cuando el Universo tenía un 10% de la edad actual.

OTELO será el cartografiado más profundo, detallado y numeroso realizado hasta la fecha. Proporcionará información esencial sobre la evolución de diversos tipos de galaxias, incluyendo cuásares y galaxias activas, sobre la formación estelar y la evolución química del Universo, entre otros objetivos científicos.

Más información:

<http://www.iac.es/proyect/OSIRIS/>
www.iac.es/gabinete/grante/report/3/r3.htm

Tabla sobre los REQUERIMIENTOS DE OSIRIS

Estación focal	Nasmyth en Dia Uno
Intervalo de longitud de onda	Diseñado para operar también en Cassegrain 0,365 – 1,0 micrómetros
Escala en el detector	0,125 arcsec/píxel
Campo de visión	7 arcmin x 7 arcmin (Imagen Directa) 8 arcmin x 5,2 arcmin (Espectroscopia)
Modo de Imagen	
Banda ancha	ugriz
Banda estrecha	Filtros sintonizables, con anchos de banda desde 3 a 54 Å
Modo de Espectroscopia	
Resolución espectral	500, 1.000 y 2.500
Rendija larga	8 arcmin
Número de Máscaras	13



LA EXPLOSIÓN DE *ro* DE CASIOPEA

La entrada en el nuevo milenio fue celebrada por la estrella «ro» (ρ) de la constelación de Casiopea (ρ Cassiopeiae) con una de las explosiones estelares más enigmáticas en el Universo pues la estrella no se llegó a destruir, lo que sí sucede en las supernovas. La grabación de la explosión estelar, fenómeno que por primera vez se observaba en directo, se realizó en el momento clave a finales del año 2000 desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, del IAC, con el telescopio “William Herschel”, de 4,2 m de diámetro. Tras dos años de investigaciones analizando los datos, los astrónomos que observaron esta espectacular explosión publicaron sus resultados, así como el modelo que explica la frecuencia de cincuenta años para el proceso, en un artículo especial de la revista *Astrophysical Journal* del mes de febrero. Estos resultados fueron anunciados en rueda de prensa por la *American Astronomical Society* en su reunión anual.

La estrella *ro* de Casiopea ya había sufrido otras dos explosiones a lo largo de los últimos cien años, en las que se comprendió de gran parte de su masa: sólo en este último episodio de ahora, que se prolongó durante dos meses, perdió lo equivalente a casi un 10% de la masa de nuestro Sol. Como se produjo a finales del 2000, los astrónomos la bauti-

zaron como “la explosión del milenio”. Tras el estallido, aparentemente la estrella se ‘recuperó’, volviendo al mismo estado en el que se encontraba antes del violento fenómeno, aunque observaciones recientes indican que la estrella ya se encuentra en un estado muy inestable no observado anteriormente.

Estrellas hipergigantes

Esta estrella, de color blanco, amarillo o rojo, según las fases, y una de las más luminosas y grandes que conocemos, pertenece a la clase de las hipergigantes, caracterizadas por sus velocidades de turbulencias supersónicas y de las que sólo se conocen unas diez en nuestra galaxia. Con una magnitud 5, es distinguible a simple vista en la constelación de Casiopea (en forma de uve doble). Es una estrella 400 veces mayor que el Sol y un millón de veces más luminosa. Se encuentra a 3 kiloparsecs o unos 10.000 años luz de nosotros, lo que nos informa del tiempo que la luz de la explosión ha tardado en su viaje hasta ser observada en nuestro planeta.

Según **Garik Israelian**, investigador del IAC y uno de los astrónomos del equipo internacional que ha observado esta estrella, la causa de las explosiones está relacionada con la gran masa de *ro* de Casiopea. “Cuanto más masiva es una es-

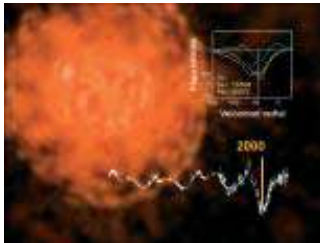


La estrella «ro» en la constelación de Casiopea. Imagen: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

LA ESTRELLA “RO” DE CASIOPEA, QUE EXPERIMENTA ESTE TIPO DE EXPLOSIONES CADA CINCUENTA AÑOS, PERDIÓ EN EL ÚLTIMO ESTALLIDO UNA MASA EQUIVALENTE AL 10% DE LA MASA DEL SOL.

EN ESTA OCASIÓN FUE GRABADO EN DIRECTO Y EN EL MOMENTO CLAVE POR UN EQUIPO INTERNACIONAL DE ASTRÓNOMOS CON EL TELESCOPIO “WILLIAM HERSCHEL”, DESDE EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS.

HASTA AHORA SÓLO SABÍAMOS DE OTRA ESTRELLA DE COMPORTAMIENTO SIMILAR: LA FAMOSA “ETA” CARINAE.



Simulación del momento de la explosión de la estrella «ro» de Casiopea. Imagen: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

EQUIPO INTERNACIONAL

Junto al investigador Garik Israelian, del IAC, forman parte de este equipo internacional astrónomos del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics de Cambridge en Massachussets (Estados Unidos), del Ritter Astrophysical Research Center de la Universidad de Toledo en Ohio (Estados Unidos), del SRON Laboratory for Space Research de Utrecht (Países Bajos), del Departamento de Astronomía de la Universidad de Oulu (Finlandia) y del Observatorio Astrofísico Especial de Nizhniy Arkhyz de Rusia.

El seguimiento de la estrella se llevó a cabo desde 1993 hasta la explosión del 2000-2001, realizándose cientos de observaciones. En ellas han participado el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma, España), el Observatorio de Ritter (Ohio, EE.UU.), el Observatorio Oak Ridge de Harvard (Massachussets, EE.UU.) y el Observatorio Astrofísico Especial de Rusia.

trella –explica-, más combustible posee para generar energía en su gigantesco ‘horno’ de fusión nuclear. Esto es lo que la convierte en una estrella muy luminosa y caliente; la gran luminosidad ejerce un efecto contrario al de la gravedad, llegando a provocar que algunas partes de la superficie de la estrella puedan salir disparadas.”

Explosiones periódicas

Los astrónomos han comprobado la regularidad de la variabilidad de la estrella, que experimenta grandes explosiones cada 50 años más o menos. Ya en 1893, se hicieron anotaciones sobre esta estrella. Pero fue en 1945 cuando ro de Casiopea expulsó una envoltura masiva y fría que la oscureció durante algunos meses. Sin embargo, entonces no se pudo estudiar con detalle al no disponer de las técnicas adecuadas. De modo que apenas se tiene información de las anteriores explosiones.

En cambio, a finales del 2000, la grabación de este fenómeno se realizó con un instrumento conocido como ‘espectrógrafo’, que puede analizar la luz que emiten las estrellas y separarlo en sus distintas frecuencias. En concreto se utilizó el espectrógrafo ‘Utrecht Echelle’, instalado en el Telescopio ‘William Herschel’, de 4,2 metros de diámetro y propiedad del Grupo de Telescopios ‘Isaac Newton’, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

En esta investigación se ha contado con la labor realizada por astrónomos aficionados de varios países, que realizaron obser-

vaciones fotométricas de esta estrella durante unos 300 días. Dadas las probabilidades de que esta estrella pueda sufrir una explosión de supernova en los próximos años, se invita a los astrónomos aficionados de todo el mundo a colaborar en su seguimiento. Un comportamiento similar podrían tener otras dos estrellas: la V509 Cassiopeiae o HR 8752 y la IRC + 10420.

“Si la estrella sigue al mismo ritmo de pérdida de masa –advierte **Garik Israelian**-, en unos diez años puede llegar a perder una cantidad equivalente a una masa solar y en cualquier momento puede explotar en forma de supernova o de hipernova. Creemos que las estrellas como ro de Casiopea son los primeros candidatos a supernovas o hipernovas y que, por tanto, podrían llegar a producir los fenómenos conocidos como GRB (explosiones de rayos gamma). Estudiar la variabilidad de este tipo de estrellas durante muchos años nos permitirá comprender los mecanismos físicos de pérdida de masa, los cuales finalmente determinan que una estrella masiva acabe como agujero negro o como estrella de neutrones”.

Hasta ahora sólo se conocía otro objeto estelar que sufriera unas explosiones tan violentas y con pérdidas de masa tan grandes. Se trata de la famosa estrella «eta» (ϵ) de la constelación de Carina o La Quilla (ϵ Carinae), que, por este motivo, es uno de los astros más conocidos, frecuente en libros de Astronomía, películas, etc... “Ahora –concluye **Garik Israelian**-, ambas estrellas tendrán que repartirse el interés de la comunidad científica.”

«LIRIS»: VER LO INVISIBLE

Un equipo interdisciplinar formado por investigadores e ingenieros del IAC realizó con éxito las primeras pruebas del espectrógrafo LIRIS (*Long-Slit Intermediate Resolution Infrared Spectrograph*), que ha sido construido en el IAC. Como describe el investigador principal, **Arturo Manchado**, «LIRIS es un instrumento que permitirá obtener imágenes en el infrarrojo y espectros de más de un objeto simultáneamente en este rango. Concretamente, podría observar hasta 25 fuentes de un mismo campo a la vez. Existen otros instrumentos similares, pero LIRIS es el único de estas características situado en el Hemisferio Norte.»

Con el fin de probar este instrumento, el equipo del proyecto se desplazó al Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), para instalarlo en el telescopio «William Herschel» (WHT), de 4,2 m de diámetro. Además, otros científicos siguieron de cerca la «primera luz» de LIRIS, lo que demuestra la expectación creada por este acontecimiento. «El éxito de las pruebas —explica **Mary Barreto**, jefe de proyecto— demuestra la capacidad del IAC para desarrollar instrumentación astronómica competitiva». Cuando finalice el periodo de pruebas, LIRIS pasará a ser uno de los instrumentos de uso común del WHT, de cuyo funcionamiento es responsable el *Isaac Newton Group* (ING). Éste es

el mayor telescopio que existe actualmente en los Observatorios del IAC.

La primera imagen que se obtuvo con LIRIS fue de la nebulosa planetaria NGC 2346, en la constelación del Unicornio (*Monoceros*), que como ya se sabía tiene una fuerte emisión en el infrarrojo. Los astrónomos la han bautizado como «Nebulosa de la Bailarina» por su apariencia. La prueba estrella, sin embargo, fue la detección con este espectrógrafo, en el infrarrojo, de un cuásar ya conocido, cuya luz proviene de cuando el Universo tenía aproximadamente 800 millones de años ($z = 6,4$). Este cuásar fue detectado por primera vez por el grupo *Sloan Digital Sky Survey* y fue observado con el telescopio Keck, de 10 m, situado en Hawái, y está considerado el objeto astronómico más lejano «visto» hasta ahora.

El instrumento es parte de la aportación española al ING. Existe un acuerdo entre el IAC y las instituciones *Particle Physics and Astronomy Research Council* (PPARC) y *The Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek* (NWO), que forman parte del ING. En virtud de este acuerdo, España aumenta el número de noches de observación disponibles en todos los telescopios del ING en la Palma.

Reto tecnológico

LIRIS tiene diferentes modos de funcionamiento. Por un lado



LIRIS en las instalaciones del IAC antes de su traslado.
Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC)

ÉXITO DEL PRIMER INSTRUMENTO INFRARROJO ESPAÑOL EN UN GRAN TELESCOPIO NOCTURNO.

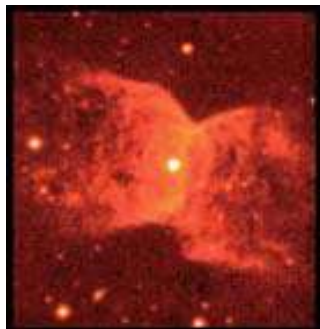
CONSTRUIDO POR EL IAC, EL ESPECTRÓGRAFO «LIRIS» HA SIDO INSTALADO EN EL TELESCOPIO «WILLIAM HERSCHEL», DEL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS.

LAS SOLUCIONES ADOPTADAS PARA SU DESARROLLO SUPONEN UN GRAN IMPULSO PARA EL IAC EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN QUE LLEVARÁ EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS (GTC).



Vista del WHT con LIRIS
(parte inferior).

Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC)



Nebulosa Planetaria NGC 2346 o
"Nebulosa de la Bailarina",
primera imagen obtenida por el
espectrógrafo LIRIS. Esta imagen
corresponde a la línea de emisión,
en 2,12 micras, del hidrógeno
molecular.

Procesamiento de imagen:
Almudena Zurita (ING).

actúa como cámara, a la que se le pueden adaptar distintos filtros para obtener imágenes. Por otro, funciona como espectrógrafo multiobjeto. Un espectrógrafo permite descomponer la luz en sus diferentes frecuencias (colores en el caso del visible). Una de las partes principales del instrumento es la rendija, elemento que permite seleccionar el objeto de estudio. La mayoría de los espectrógrafos tienen una única rendija y van apuntando a los objetos uno por uno. En este caso, la propiedad multiobjeto de LIRIS permitirá observar 25 objetos simultáneamente. Para ello, se diseñan unas máscaras que contienen este número de rendijas, situadas de tal manera que coincidan con los astros que se van a observar. Podrá incorporar 10 de esas máscaras simultáneamente, esto implica poder estudiar hasta 250 objetos en el mismo tiempo en que con rendija única se observan 10, sin tener que realizar ningún cambio en el instrumento.

Las principales dificultades que presenta la construcción de este espectrógrafo es el hecho de trabajar en el infrarrojo. Todos los cuerpos por estar a una cierta temperatura emiten radiación, pero en muchos casos nosotros no podemos verla porque está fuera del rango del visible, en concreto está por debajo del rojo en el espectro. Esto supone que para poder detectar la radiación infrarroja que nos llega de un objeto lejano se ha de eliminar la emitida por cada uno de los elementos que forman el instrumento e incluso el telescopio. Consecuentemente hay que trabajar a temperaturas extremadamente bajas para evitar las posibles perturbaciones.

La tecnología a bajas temperaturas es lo que conocemos como «criogenia». El detector debe enfriarse a $-220\text{ }^{\circ}\text{C}$, una temperatura difícil de alcanzar, ya que algunos componentes no pueden soportar varia-

ciones de más de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por segundo sin romperse. Después se ha de mantener con una estabilidad de una milésima de grado. Son muchos los problemas que conlleva trabajar en estas condiciones. El hecho de que la fabricación se realice a temperatura ambiente y después se enfríe lleva implícito que todos los materiales que lo forman se contraigan de formas distintas, la pintura salte, no se puedan utilizar lubricantes... un sinfín de problemas relacionados más con la alta tecnología que con la Astrofísica. El resultado ha sido un instrumento que pesa alrededor de 1.500 kg y lleva más de 1 km de cables en su interior.

Lo que el ojo no ve

El infrarrojo es una ventana del espectro que nos permite ver otros aspectos del Cosmos. En primer lugar se puede obtener más información de los objetos que ya conocemos en el rango visible del espectro electromagnético y en segundo, permite observar astros que sólo se pueden detectar en el infrarrojo. Algunos de los objetos astronómicos ocultos al visible son aquellos que están rodeados por nubes de gas y polvo. Estas nubes absorben parte de la luz que emite el astro, siendo más transparentes al infrarrojo. Por esta razón, la luz que nos llega sólo se ve en este rango. Así, con LIRIS se podrán observar nebulosas protoplanetarias, que resultan de una estrella que ha perdido la capa más externa, o regiones que tienen una activa formación estelar. Otra de las aplicaciones será la detección de planetas gigantes en proceso de formación. También los objetos muy distantes, como en el caso del cuásar detectado, muestran un espectro muy desplazado hacia el rojo y, por tanto, también serán candidatos para las observaciones con este instrumento.



EL ECO DE UNA ESTRELLA

Un astrónomo del Grupo Isaac Newton (ING), del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), y anteriormente investigador del IAC, ha obtenido imágenes espectaculares de la estrella V838 Monocerotis, de la constelación del Unicornio (Monoceros), con el Telescopio Espacial “Hubble”. Esta estrella llegó a ser la más brillante de nuestra galaxia cuando explotó a principios del 2002. La imagen forma parte de un estudio de investigación en el que participan astrónomos de diversas instituciones de Estados Unidos, de la Agen-

cia Espacial Europea y del Observatorio Astronómico de Padua-Asiago en Italia, además, del ING. Esta imagen fue publicada en la portada de la revista *Nature* el 27 de marzo.

V838 Monocerotis estalló en enero del 2002 y en pocas semanas su luminosidad aumentó 10.000 veces. La enorme cantidad de energía producida súbitamente por la estrella dio lugar a una enorme burbuja de luz que se expandía a gran velocidad y fue observada poco tiempo después de que explotara. El fenómeno, llamado “eco de luz”, es un evento extraño que raras ve-



Imagen de la estrella V838 Monocerotis, tras expulsar sus capas más externas, obtenida por el Telescopio Espacial Hubble el 17 de diciembre de 2002. © NASA, ESA y Howard Bond (STScI).



V838 MONOCEROTIS ESTALLÓ EN ENERO DEL 2002 Y EN POCAS SEMANAS SU LUMINOSIDAD AUMENTÓ 10.000 VECES.

LA REVISTA *NATURE* PUBLICÓ EN PORTADA UNA IMAGEN OBTENIDA CON EL TELESCOPIO ESPACIAL “HUBBLE” POR UN ASTRÓNOMO DEL GRUPO ISAAC NEWTON DE LA PALMA.



Secuencia evolutiva de la expansión de la estrella V838 Monocerotis. Imágenes obtenidas por el Hubble el 20 de mayo, el 2 de septiembre, el 28 de octubre y el 17 de diciembre de 2002.

© NASA, ESA y Howard Bond (STScI).

Más información:

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/2003/10/>

<http://oposite.stsci.edu/pubinfo/PR/2002/30/index.html>

ces se da y no está relacionado con las ya conocidas explosiones de novas.

Durante el eco de luz se puede ver directamente el movimiento de la luz mientras ésta se expande alejándose de la estrella e ilumina toda la materia que encuentra a su paso.

Una de las primeras imágenes detalladas de este eco de luz ya fue obtenida con el Telescopio "William Herschel", de 4,2 m de diámetro, el 28 de marzo del 2002. Las imágenes tomadas en fechas sucesivas utilizando el Telescopio Espacial "Hubble" revelaron la expansión del eco de luz, así como también la compleja estructura del gas y polvo que rodeaban la estrella. La secuencia de imágenes permitió a los astrónomos medir la distancia a la estrella (aproximadamente 20.000 años luz) y la cantidad de energía liberada en la explosión.

"En el momento de la explosión -comenta **Romano Corradi**, el astrónomo del ING que participa en esta investigación-, V838 Monocerotis llegó a ser temporalmente la estrella más brillante entre los 100.000 millones de soles que forman nuestra galaxia, la Vía Láctea. Pensamos que V838 Monocerotis es actualmente un sistema formado por dos estrellas cuya cercanía es probable que afectara a la evolución de ambas, conduciéndolas a consecuencias catastró-

ficas como la transferencia de gas de una a otra. Sin embargo, el origen de la explosión estelar observada en el 2002 es todavía misteriosa y se piensa que el caso de V838 Monocerotis constituye un nuevo tipo de explosión estelar."

El eco de luz irá desapareciendo lentamente mientras el brillo de la estrella volverá a su valor inicial, cuando se encuentra en su estado normal. Se prevé que «el eco se oirá» hasta el 2010. Pero, es en este breve periodo de su existencia (pocos años, comparado con la vida media normal de una estrella, que es de algunos miles de millones de años) nos proporcionará información crucial para entender mejor la vida de las estrellas en el Universo, y cómo interactúan entre ellas.

El ING es una entidad creada mediante acuerdo entre las siguientes instituciones: *Particle Physics and Astronomy Research Council* (PPARC), de Gran Bretaña, *Nederlandse Organisatie Voor Wetenschappelijk Onderzoek* (NWO), de Holanda, e Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), de España. El ING opera el Telescopio "William Herschel", de 4,2 m, el Telescopio "Isaac Newton", de 2,5 m, y el Telescopio "Jacobus Kapteyn", de 1 m. Estos telescopios están situados en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la Palma, perteneciente al IAC.



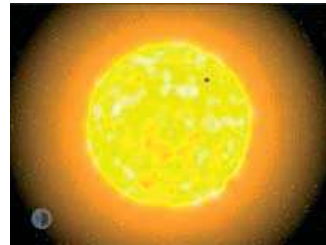
TRÁNSITO DE MERCURIO

Con motivo del paso de Mercurio por delante del disco solar, el pasado 7 de mayo, desde las 5:12h TU y hasta las 10:31h TU, se hizo un seguimiento del tránsito del planeta con distintos instrumentos situados en los Observatorios del IAC.

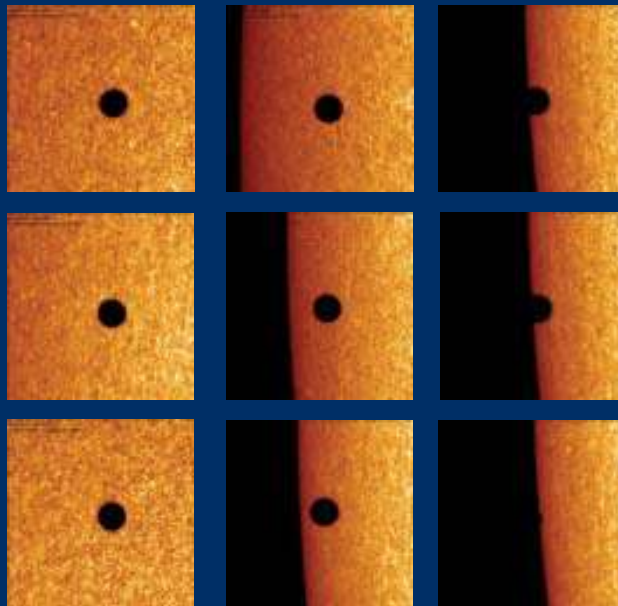
En el Observatorio del Teide, en Tenerife, el instrumento GONG que forma parte de la red internacional de Sismología Solar GONG (*Global Oscillation Network Group*), liderada por el Observatorio Solar Nacional (NSO) de Estados Unidos, siguió el tránsito junto con otros dos instru-

mentos situados en Australia y en la India.

En el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, se realizó un programa especial en el Telescopio Solar Sueco (SST), cuyas imágenes se pudieron ver en directo desde una página web. También se observó el fenómeno desde el Telescopio Abierto Holandés (DOT). Por su parte, la Agrupación Astronómica Isla de La Palma retransmitió el evento en Internet con ayuda de dos telescopios situados en las inmediaciones del Telescopio «Isaac Newton».



*Imagen simulada del tránsito de Mercurio por delante del Sol.
Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC)*



Secuencia de imágenes del tránsito de Mercurio obtenidas por el Telescopio Solar Sueco, perteneciente a la Real Academia de Ciencias de Suecia e instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma)

EL PASO DEL PLANETA POR DELANTE DEL SOL EL PASADO 7 DE MAYO FUE SEGUIDO DESDE LOS OBSERVATORIOS DEL IAC.

EL FENÓMENO COMPLETO DURÓ 5 HORAS Y 19 MINUTOS.

EN EL CASO DE MERCURIO, SE PRODUCEN 13 TRÁNSITOS CADA SIGLO.



Composición del tránsito de Mercurio en diferentes posiciones obtenida por el instrumento de la red GONG, instalado en el Observatorio del Teide.

Efemérides

Un «tránsito», en Astronomía, es el paso de un planeta interior sobre el disco solar. En esta ocasión la trayectoria de este planeta no pasó por el centro del Sol. El fenómeno completo duró 5 horas y 19 minutos. Desde Canarias no se pudo ver todo el fenómeno completo, ya que el Sol salía una hora después del primer contacto.

El disco de Mercurio es de 12", un 0,6 % del tamaño del disco solar y, por tanto, el fenómeno sólo fue observable con ayuda de telescopios. La técnica utilizada habitualmente es mediante la proyección del Sol sobre una superficie, nunca mirando directamente al Sol, lo que podría provocar serias lesiones oculares.

Las efemérides de un tránsito suelen darse en función de los instantes en los que se producen contactos entre el disco del planeta y del Sol. En total hay cuatro contactos, dos exteriores, que indican el inicio y final del tránsito, en los que los discos son tangentes por la parte exterior; y dos interior-

res, en los que el disco del planeta es tangente al disco solar por el interior. Otro dato importante es la posición de máximo acercamiento entre los centros del planeta y el Sol, que indica el momento máximo del tránsito.

Este tránsito, uno de los 13 que se producen cada siglo en el caso de Mercurio, fue visible en todas sus fases desde Europa, excepto parte de España y Portugal, desde Asia, excepto su extremo más oriental, y desde buena parte de África. Concretamente, en España, el fenómeno completo se pudo ver desde las islas Baleares y la mitad oriental de la Península.

Los tránsitos han sido, en el pasado, uno de los fenómenos astronómicos más valorados por los astrónomos para realizar medidas del Sistema Solar. Hoy en día es una oportunidad para involucrar a profesores de ciencia y alumnos en el estudio del Sol y las matemáticas. Con este fin, la red GONG está editando un CD-Rom con material de divulgación científica.

Más información:

GONG:

http://gong.nso.edu/mercury_transit03

Telescopio Solar Sueco:

<http://www.solarphysics.kva.se/>

Mercurytransit7May2003

Agrupación Astronómica

Isla de La Palma:

<http://www.ing.iac.es/PR/AAP>



TELESCOPIO LIVERPOOL

El pasado 7 de mayo tuvo lugar un acto de presentación del «Telescopio Liverpool» en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. Con 2 m de diámetro, es el telescopio que no precisa manejo humano directo más grande del mundo. En el acto se descubrió una placa en memoria de **Martin Suggett**, de los Museos y Galerías nacionales de Liverpool (Reino Unido), ya fallecido, quien desde el principio impulsó el proyecto del «Telescopio Liverpool».

Una de las particularidades de este telescopio, que pertene-

ce a la Universidad John Moores de Liverpool (Reino Unido), es su funcionamiento robótico, es decir, que puede ser dirigido de forma remota o ser programado para trabajar autónomamente. Además, la cúpula tiene un diseño innovador que permite abatirla por completo: al quedar totalmente abierto el telescopio, éste se mantiene a la temperatura exterior, evitando así los problemas de turbulencias. Otra de las características fundamentales de este telescopio es la calidad de imagen que se obtendrá con él. El primer instrumento que se ha montado es una cámara CCD que propor-



Exterior del «Telescopio Liverpool», instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC)



De izquierda a derecha, Mike Bode, Director del «Telescopio Liverpool», Michael Brown, Rector de la Universidad John Moores de Liverpool (Reino Unido), Francisco Sánchez Director del IAC, Abilio Reyes, Alcalde de Garafía, y David Fleming, Director de los Museos Nacionales de Liverpool. Foto: Luis Cuesta (IAC).

EL PASADO 7 DE MAYO SE PRESENTÓ EN LA PALMA EL «TELESCOPIO LIVERPOOL»: EL MAYOR TELESCOPIO ROBÓTICO DEL MUNDO.

ESTE TELESCOPIO, INSTALADO EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS, FUNCIONARÁ POR CONTROL REMOTO Y ESTARÁ ASOCIADO A UN PROGRAMA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA PARA ESCOLARES.



Interior del «Telescopio Liverpool».
Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC)

cionará una resolución de 0,135" por píxel.

Sobre su utilización, el 70% del tiempo pertenece al Reino Unido, el cual se repartirá entre la propia Universidad de Liverpool y el Consejo de Investigación en Física de Partículas y Astronomía (PPARC), organismo que gestiona el tiempo destinado a la comunidad británica. Además, un 5% del tiempo de observación estará reservado a estudiantes y aficionados británicos. El «Telescopio Liverpool» estará asociado al programa de Divulgación Social de la Ciencia y la Tecnología del Reino Unido. Las imágenes directas que se obtengan con este telescopio ilustrarán las charlas públicas del Museo y del Planetario de Liverpool. Profesores y estudiantes británicos también se beneficiarán del Programa para Escolares del «Telescopio Liverpool» pudiendo realizar prácticas con él. Una página web educativa facilitará la comunicación entre el telescopio y los colegios y escuelas universitarias que soliciten datos observacionales. Asimismo, se está desarrollando un programa de procesamiento de imágenes que permitirá a los alumnos trabajar con los datos requeridos.

En virtud de los Acuerdos Internacionales de Astrofísica, España dispondrá, como en los demás telescopios instalados en los Observatorios del

IAC, del 20% de uso del «Telescopio Liverpool», más un 5% en programas de colaboración internacional. A partir de 2004, cuando el telescopio esté operativo y se hayan establecido los procedimientos de utilización, se destinarán hasta 10 noches al año para programas españoles de divulgación.

En cuanto a la investigación científica, los principales objetivos son: el seguimiento de objetos o eventos celestes variables a diferentes escalas de tiempo, identificación y seguimiento de fenómenos impredecibles, como las supernovas, observaciones simultáneas con otros instrumentos terrestres o espaciales y, finalmente, mapeos a pequeña escala y seguimiento de los objetos que se descubran a partir de éstos.

Además de autoridades locales, investigadores, representantes del Observatorio del Roque de los Muchachos y del Comité Científico Internacional (CCI) de los observatorios del IAC, así como responsables del «Telescopio Liverpool», al acto asistieron: **Abilio Reyes**, Alcalde de Garafía, **Francisco Sánchez**, Director del IAC, **Michael Brown**, Rector de la Universidad John Moores de Liverpool (Reino Unido), y **Richard Wade**, responsable de la política astronómica del PPARC (Reino Unido).

Más información e imágenes:
<http://telescope.livjm.ac.uk/>



GALAXIAS ELÍPTICAS

Utilizando imágenes obtenidas con el Telescopio Espacial «Hubble», un equipo de astrónomos ha concluido que dos de los tipos más comunes de galaxias son diferentes versiones del mismo grupo de objetos. Durante mucho tiempo se ha pensado que las galaxias «elípticas enanas» y «elípticas gigantes», aunque tuvieran un nombre similar, eran morfológicamente galaxias muy distintas. Estos resultados, que aparecerán en la edición de junio de la revista *Astronomical Journal*, cambiarán fundamentalmente la comprensión que tenían los astrónomos sobre estos importantes componentes del Universo, haciendo más fácil entender cómo se forman las galaxias.

Hasta ahora, para el estudio de las «elípticas gigantes» se utilizaban como referente las galaxias más luminosas y más masivas (supergigantes), ya que eran más fáciles de detectar. En función de ellas se había establecido un modelo para cada tipo de galaxia elíptica: enanas y gigantes. Lo que se ha podido constatar en esta investigación es que las supergigantes son la excepción y que, en cambio, existe una continuidad morfológica entre las elípticas enanas y gigantes. Para llegar a estas conclusiones se han estudiado 200 galaxias de estos dos tipos y se ha profundizado en

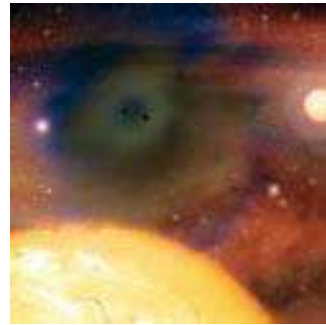
su estructura, dejando al descubierto la posibilidad de que las elípticas supergigantes tengan en su núcleo dos agujeros negros en proceso de fusión que hace que su estructura se aleje del resto de las «elípticas» ya unificadas.

«Esto ayuda a simplificar el Universo, porque reemplazamos dos tipos distintos de galaxias por uno solo», declara **Alister Graham**, autor principal del artículo, en la actualidad astrónomo de la Universidad de Florida y anteriormente del IAC, donde inició estas investigaciones. «Pero las implicaciones van más allá de la mera taxonomía astronómica. Los astrónomos habían pensado que los mecanismos de formación para estos objetos deberían ser diferentes, pero con esto se unifica el proceso de construcción».

Graham amplía este trabajo en otro artículo, que aparece en el mismo número de la revista astronómica, realizado junto con **Ignacio Trujillo**, del Instituto Max-Planck de Astronomía, en Alemania, y anteriormente del IAC, así como con **Peter Erwin** y **Andrés Asensio** ambos también del IAC.

Unificación de galaxias

Las galaxias, los bloques que forman el Universo visible, son enormes sistemas de estrellas ligadas por la gravedad. Exis-



Simulación de agujeros negros masivos en los núcleos de galaxias elípticas gigantes. Imagen: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

HASTA AHORA, LAS GALAXIAS ELÍPTICAS ENANAS Y GIGANTES SE CONSIDERABAN DE NATURALEZA DISTINTA. TRAS EL ESTUDIO DE 200 GALAXIAS DE LOS DOS TIPOS, LOS INVESTIGADORES CONCLUYEN QUE SE TRATA DE VERSIONES EXTREMAS DE UN MISMO TIPO DE OBJETO.

LAS ELÍPTICAS SUPERGIGANTES PODRIAN TENER EN SU NÚCLEO DOS AGUJEROS NEGROS EN PROCESO DE FUSIÓN QUE ALEJARÍAN SU ESTRUCTURA DEL RESTO DE LAS «ELÍPTICAS» YA UNIFICADAS.



Galaxia espiral barrada NGC 1300
© José Alfonso López Aguerri, M. Prieto, C. Muñoz-Tuñón, A. M. Varela y Jordi Cepa (IAC)

Nota de prensa
Universidad de Florida:
<http://www.napa.ufl.edu/2003news/galaxies.htm>

ten diferentes tipos y formas. Por ejemplo, la Vía Láctea, en la que reside nuestro sistema solar, es una galaxia «espiral», así llamada por su forma de disco al que va unida una estructura de brazos espirales. Otras galaxias se conocen como «irregulares» porque no tienen una forma distintiva. Pero tanto las «elípticas enanas» como las «elípticas gigantes» son los tipos más comunes.

En las pasadas dos décadas, los astrónomos habían considerado las galaxias «elípticas gigantes», que contienen cientos de miles de millones de estrellas, y las «elípticas enanas», que contienen menos de mil millones de estrellas, sistemas completamente distintos. Ésta era de alguna forma una distinción natural: no sólo porque las galaxias «elípticas gigantes» contienen más estrellas, sino porque además las estrellas están más agrupadas en los centros de estas galaxias. En otras palabras, la distribución total de estrellas parecía ser muy diferente.

Modelo matemático

Alister Graham y **Rafael Guzmán**, también de la Universidad de Florida, decidieron revisar las teorías aceptadas sobre este tema. Ambos analizaron imágenes de galaxias elípticas enanas tomadas por el Telescopio «Hubble» y combinaron sus resultados con los datos de unas de 200 galaxias, tomados previamente. El resultado de esta unión reveló que las propiedades estructurales de las galaxias elípticas varían de forma continua entre los dos tipos, que son versiones extremas del mismo tipo de objeto. «Por ejemplo, —explica **Rafael Guzmán**— si bien es cierto que los núcleos de las «elípticas gigantes» son más luminosos que los

de las «elípticas enanas», esta variación se produce de forma continuada de acuerdo con una ley universal común a ambos tipos de galaxias. La única excepción a esta regla la constituyen las galaxias elípticas gigantes más masivas (supergigantes)».

Según **Graham**, «en los años recientes un gran número de estudios han revelado que muchos de los núcleos de las galaxias elípticas supergigantes han sido vaciados de estrellas». Como se describe en el segundo artículo, publicado en colaboración con **Trujillo, Erwin** y **Asensio**, los astrónomos sospechan que los responsables son agujeros negros masivos, los cuales expulsan las estrellas que están en los alrededores, o también las devoran cuando están muy cerca del centro. De ahí la ausencia de estrellas que parece darse en torno a estos agujeros negros.

Hasta ahora, los núcleos de estas galaxias han sido tratados como distintas entidades respecto al resto de la galaxia. Efectivamente, han sido descritos con modelos que fallaban más allá de la región central. Sin embargo, recientes revelaciones de la estrecha conexión entre la masa del agujero negro central y las propiedades de las galaxias han permitido a **Graham** y su equipo presentar un nuevo modelo matemático capaz de describir simultáneamente la distribución de estrellas en ambas partes de la galaxia, interna y externa. «Solamente después de introducir las modificaciones de los núcleos, tras conectar el dominio del agujero negro con la estructura externa de la galaxia, ha sido posible unificar las poblaciones de galaxias gigantes y enanas», concluye **Graham**.



LA SUPERFICIE DEL SOL EN 3D

Con el nuevo Telescopio Solar Sueco (SST), instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, se han obtenido las imágenes de mayor resolución del «limbo solar» (límite de la parte visible del Sol). Físicos solares de la Corporación Lockheed Martin, el Centro Nacional para la Investigación Atmosférica y el Instituto para la Física Solar de la Real Academia de Ciencias Sueca las han analizado y han encontrado una gran variedad de estructuras. Sus resultados, los cuales se presentaron en el congreso de la Sociedad Astronómica Americana, en Baltimore, abordan teorías ya establecidas sobre cómo varía el brillo del Sol en escalas temporales de décadas. Estos cambios pueden tener influencia sobre el clima

de la Tierra y enmascarar las contribuciones humanas al calentamiento global.

«Hasta hace poco pensábamos que la fotosfera solar era una 'superficie' relativamente plana y uniforme, con alguna mancha solar ocasional» dice **Tom Berger**, investigador principal del estudio y físico solar en el Laboratorio Solar y de Astrofísica del Centro de Tecnología Avanzada Lockheed Martin, en Palo Alto (California). «Ahora, utilizando el nuevo Telescopio Solar Sueco (SST), de 1 metro, instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, hemos obtenido, por primera vez, imágenes de la estructura tridimensional de los 'gránulos' convectivos que cubren la fotosfera».

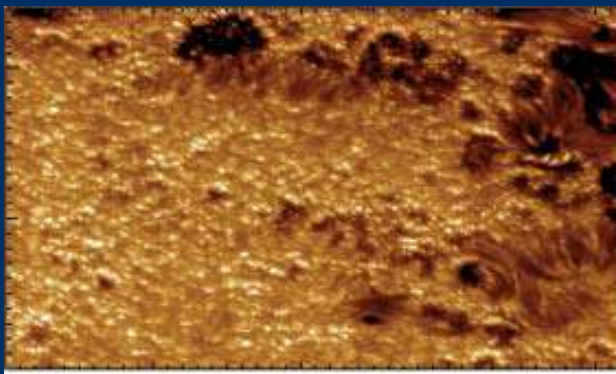


Imagen de una región solar activa cerca del borde del Sol tomada con el SST en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Se aprecia la estructura tridimensional de la fotosfera cuando se observa tan oblicuamente. Imagen tomada por Goran Scharmer y procesada por Mats G. Lofdahl, ambos del Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias de Suecia. © SST, ROYAC.



KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

EL NUEVO TELESCOPIO SOLAR SUECO, DEL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS, OBTIENE IMÁGENES DEL «LIMBO SOLAR» CON UNA RESOLUCIÓN DE 75 KM.

LAS MANCHAS SOLARES Y LOS «POROS» OSCUROS MÁS PEQUEÑOS SE VEN HUNDIÉNDOSE EN LOS BORDES DE LA GRANULACIÓN.

ESTE FENÓMENO, LLAMADO «DEPRESIÓN DE WILSON», HABÍA SIDO DEDUCIDO DE OBSERVACIONES DE MENOR RESOLUCIÓN DE GRANDES MANCHAS SOLARES, PERO NUNCA SE HABÍAN RESUELTO DIRECTAMENTE HASTA AHORA.



*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).
Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).*

Más información e imágenes:
<http://www.solarphysics.kva.se/>
<http://lmms.external.lmco.com/newsbureau/pressreleases/03.26.html>

La superficie solar consiste mayormente en una estructura celular irregular causada por las variaciones de temperatura. Las celdas, llamadas 'gránulos', son evidencias de la convección, que es el mecanismo mediante el cual se transporta el calor hasta la superficie, como sucede al hervir agua cuando las burbujas de aire suben desde el fondo. Cada gránulo solar tiene una superficie aproximada de dos veces la Península Ibérica. Con la resolución de 75 km del SST, las manchas solares y los «poros» oscuros más pequeños se ven hundiéndose en los bordes de la granulación.

Este fenómeno, llamado «depresión de Wilson», había sido deducido de observaciones de menor resolución de grandes manchas solares, pero nunca se habían resuelto directamente hasta ahora.

Los análisis preliminares de algunas de las imágenes se recogen en el artículo de **Bruce Lites** del NCAR, **Göran Scharmer**, de la Real Academia de Ciencias Sueca, y de **Alan Title** y **Tom Berger**, del Laboratorio Solar y de Astrofísica Lockheed Martin, que actualmente se encuentra en revisión para la revista *Solar Physics*.

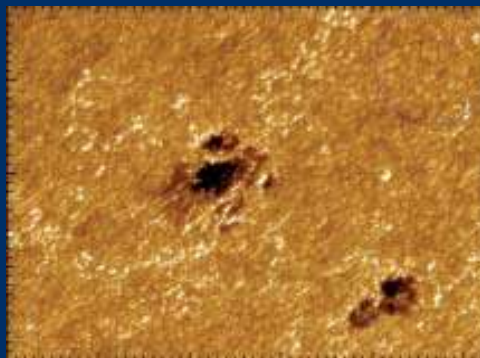


Imagen tomada por Luc Rouppe van der Voort, del Instituto de Astrofísica Teórica de la Universidad de Oslo (Noruega), y procesada por Mats G. Löfdahl, del Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias de Suecia, Tom Berger, del Laboratorio Solar y de Astrofísica de la Lockheed Martin de Palo Alto, California.

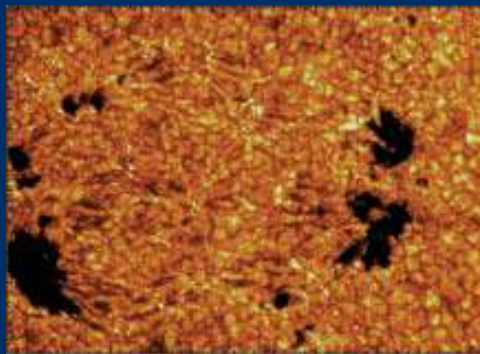


Imagen tomada por Tom Berger, del Laboratorio Solar y de Astrofísica de la Lockheed Martin de Palo Alto, California.

Comparación entre una imagen de una región solar activa cerca del borde y en el centro del disco. En la de arriba se aprecia la estructura tridimensional, especialmente cerca de las manchas, y las fáculas aparecen como gránulos brillantes, mientras que en la segunda se observan pequeños elementos magnéticos en las zonas entre gránulos.
© SST. ROYAC



Participantes en el Congreso Internacional de Astrofísica «Satellites and Tidal Streams». Foto: Javier Méndez (ING).

**Congreso Internacional de Astrofísica:
"Galaxias satélite y corrientes de marea galácticas"**



Cartel del congreso «Satellites and Tidal Streams». Diseño: Narciso Hernández.



Los Cancajos (La Palma). 26-30/05/03

Del 26 al 30 de mayo se celebró en Los Cancajos (La Palma) el congreso sobre *Satellites and Tidal Streams* (Galaxias satélite y corrientes de marea galácticas). El congreso fue organizado por el Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING) y el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y contó con el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Cabildo Insular de La Palma, el Ayuntamiento de Breña Baja y el Patronato de Turismo de La Palma.

El estudio de la formación de galaxias es uno de los temas claves de la astrofísica moderna. Los modelos cosmológicos actuales sostienen que la formación de estructuras en el Universo se realiza jerárquicamente, de tal manera que las galaxias se crean a partir de la agregación de estructuras más pequeñas. Por ejemplo, las galaxias más masivas se habrían formado a partir de la fusión de galaxias de menor tamaño, y éstas, a su vez, de otras aún más pequeñas o, incluso, de agrupaciones de estrellas.

A las galaxias que orbitan alrededor de otras de mayor masa, como la Luna gira alrededor de la Tierra, se las denomina «galaxias satélite». Cuando una galaxia satélite es engullida por la galaxia principal, proceso acuñado como «canibalismo galáctico», deja tras de sí una estela de materia llamada «corriente de marea galáctica».

El hecho de que en la actualidad se observen galaxias satélite y corrientes de marea es una demostración de que el proceso de formación jerárquica de galaxias continúa hoy día. Sin ir más lejos, en la Vía Láctea, la galaxia en la que nos encontramos, se ha detectado recientemente una corriente de



Participantes del congreso en el Telescopio «William Herschel». Foto: Javier Méndez.

marea asociada a la galaxia enana de Sagitario, la galaxia satélite más cercana a nosotros. Otro buen ejemplo de canibalismo galáctico tiene lugar en la galaxia de Andrómeda, la mayor del Grupo Local de galaxias. En ambos descubrimientos se utilizó el Telescopio Isaac Newton (INT), instalado en el Observatorio del Roque de Los Muchachos, en La Palma.

En el congreso, se presentarán los últimos resultados sobre materia oscura, ya que el estudio de la interacción gravitatoria de las galaxias con sus satélites proporciona pistas sobre las características y distribución de esta forma de materia dominante en el Universo.

Dentro de las actividades relacionadas con el congreso, el martes 27 de mayo tuvo lugar una rueda de prensa en el hotel H10 Taburiente Playa, sede del congreso. Además, el miércoles 28, Manuel Vázquez, investigador del IAC, pronunció una conferencia abierta al público en el Real Club Náutico en Santa Cruz de la Palma.

Más información:

Página web del congreso:

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

Nota de prensa: Canibalismo galáctico

<http://www.iac.es/gabinete/noticias/2001/mar08.htm>

Nota de prensa: *One ring to encompass them all: A giant stellar structure surrounding the Milky Way*

<http://www.ing.iac.es/PR/press/ras20030106.html>

Nota de prensa: *Our galaxy's «sister» is a cannibal*

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

Entrevistas realizadas por Bibiana Bonmatí (IAC). Fotografías: Bibiana Bonmatí (IAC) y Javier Méndez (ING).

BÚSQUEDA DE MATERIA OSCURA EN LA PALMA

En el congreso *Satellites and Tidal Streams*, los investigadores Josep Flix y Manel Martínez, del Instituto de Física de Altas Energías (IFAE) de Barcelona, y Francisco Prada, del IAC, presentaron el proyecto para la búsqueda de materia oscura con el telescopio de altas energías MAGIC (*Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov*).

En los últimos años se han propuesto diversos candidatos para formar parte de la materia oscura. En la actualidad se especula con algún tipo de partícula pesada que hubiera sobrevivido a la «Gran Explosión», es decir, que fuera lo suficientemente estable como para no haberse desintegrado hasta ahora. De las partículas conocidas, no hay ninguna que cumpla estos requisitos. Sin embargo, en las últimas décadas, se han desarrollado nuevas teorías de Física de partículas, las llamadas Teorías Supersimétricas, que además de explicar de manera unificada la naturaleza y las características de todas las partículas conocidas y ajustarse a los resultados experimentales obtenidos en los grandes aceleradores de partículas, predicen la existencia de un nuevo tipo de partículas de entre las cuales hay una que podría ser una candidata muy plausible: el «neutralino» (distinta del «neutrino», partícula que también ha sido candidata a materia oscura). Por ahora, no hay ninguna evidencia experimental directa de la existencia de estas nuevas partículas pero la teoría predice que podrán detectarse en el *Large Hadron Collider* (LHC), el gran acelerador de protones que se está construyendo en el CERN, en Ginebra, y que empezará a operar en el 2007.

Las Teorías Supersimétricas predicen también que, en altas concentraciones, los neutralinos pueden interactuar entre ellos, aniquilándose y dando como resultado radiación de muy alta energía (rayos gamma), que podría llegar a detectarse de una forma indirecta en la Tierra. Las simulaciones cosmológicas predicen que estos neutralinos habrían evolucionado y formado galaxias en el Universo que no podemos ver, pero sí «notar su presencia» debido al campo gravitatorio que generan.

MAGIC es un telescopio Cherenkov, que detecta luz visible producida por la radiación gamma al penetrar en la atmósfera. Con 17 m de diámetro, es el telescopio de este tipo mayor y más sofisticado del mundo, en el momento presente, y tiene las características necesarias para poder detectar la señal procedente de la aniquilación de los neutralinos. El telescopio, instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, empezará las observaciones este verano, y la construcción de otro telescopio similar está prevista para el año próximo. MAGIC es una colaboración internacional, coliderada por el Instituto Max-Planck de Astrofísica (MPI) de Munich y el IFAE de Barcelona, en la que participan 19 institutos de distintos países: Armenia, Alemania, Italia, España, Estados Unidos, Polonia, Suiza, Rusia, Ucrania y Finlandia.



RESULTADOS RELEVANTES SOBRE LA MATERIA OSCURA CON EL ESTUDIO DIGITAL DEL CIELO «SLOAN»

Un nuevo proyecto en el marco del llamado «Estudio Digital del Cielo SLOAN» (*Sloan Digital Sky Survey*, SDSS) ha proporcionado la prueba más directa de que las galaxias residen en el centro de gigantes concentraciones de materia oscura, las cuales pueden ser 50 veces más grandes que la galaxia misma. Este estudio da apoyo directo a las teorías astronómicas generalmente aceptadas sobre materia oscura. Francisco Prada, actualmente del IAC y del ING, junto con sus colaboradores de distintas instituciones de SLOAN, presentaron estos resultados en el congreso «Galaxias satélite y corrientes de marea galáctica». Aunque no puede ser observada directamente, se cree que la materia oscura constituye el 27% del total de la masa del Universo, comparada con sólo el 3% de la materia normal observada. El resto, de acuerdo con los modelos de estructura y evolución del Universo, consiste en energía y radiación oscuras. El estudio de la materia oscura «es importante porque es una medida directa de algunas de las propiedades predichas para este tipo de materia», explica el Prof. Anatoly Klypin, de la Universidad Estatal de Nuevo México. Prada y sus colaboradores de SLOAN observaron 250.000 galaxias de las catalogadas con el fin de encontrar buenas candidatas para un estudio de los efectos gravitatorios de la materia oscura. De los datos de este muestreo se identificaron 3.000 galaxias satélite -pequeñas galaxias orbitando a las galaxias grandes-, y se pudieron medir sus velocidades. Los investigadores determinaron la velocidad de cada galaxia satélite en relación con la galaxia a la que orbita midiendo el desplazamiento al rojo en la luz de los objetos. Teóricamente, la velocidad de una galaxia satélite debe disminuir cuando ésta se aleja del objeto que está orbitando debido a los efectos de la gravedad. En el caso de los planetas de nuestro sistema solar, donde hay demasiada poca materia oscura como para tener efecto gravitatorio, la disminución es rápida porque no hay masa entre los planetas y el Sol. Pero en las zonas exteriores de las galaxias, donde se cree que se acumula la materia oscura, la disminución de velocidad sería, si los modelos cosmológicos son correctos, mucho más gradual. «Nuestros resultados -señala Prada- implican la presencia de materia oscura. Los hallazgos proporcionan una fuerte evidencia que contradice la teoría de la gravedad alternativa *Dinámica Newtoniana Modificada* (MOND)». Controvertido desde que fuera propuesto en 1983, el modelo MOND elimina la necesidad de materia oscura en la explicación de la naturaleza del Universo, cambiando la ley de la gravedad en áreas tales como las «afueras» de las galaxias.



DAVID MARTÍNEZ DELGADO
 Instituto Max-Planck de
 Astronomía
 (Heidelberg, Alemania).
 Organizador del Congreso

Una de las preguntas fundamentales de la astrofísica moderna es cómo se formaron las galaxias que observamos hoy día. El modelo cosmológico para la formación de estructuras en el Universo es el de Materia Oscura Fría (CDM), que predice un escenario de formación jerarquizada de galaxias. Las galaxias enanas serían las primeras en formarse en el Universo para posteriormente fusionarse y formar las galaxias mayores. Las galaxias enanas satélite que observamos hoy día serían los objetos supervivientes de este proceso, y podrían ser considerados como los restos visibles de los «bloques de construcción» de las galaxias más masivas, como la nuestra.

La Vía Láctea y sus satélites nos ofrecen el laboratorio más próximo para estudiar estos satélites y poner a prueba algunas de las predicciones de este modelo cosmológico. Es interesante que el escenario de formación jerarquizada de galaxias propuesto por el CDM coincide a grandes rasgos con la teoría clásica de la formación de la Vía Láctea propuesta por Searle & Zinn en 1978. En la última década, las cámaras CCD de gran campo (como la instalada en el telescopio Isaac Newton en el Observatorio del Roque de los Muchachos) y los sondeos de gran escala (como el Sloan Digitalized Sky Survey - SDSS- o 2MASS) han proporcionado resultados sin precedentes en estudios de la

formación de nuestra Galaxia. Por primera vez se han detectado claramente subestructuras en el halo de la Vía Láctea, cuyo origen parecen ser los restos de galaxias enanas destruidas por la fuerza gravitatoria de nuestra Galaxia y que reciben el nombre de corrientes de marea galácticas (*tidal streams*).

La mayor corriente de marea conocida procede de la galaxia enana de Sagitario, descubierta en 1994. Hoy sabemos que esta galaxia forma una corriente que envuelve completamente a la Vía Láctea en una órbita polar, proporcionando un «test de partículas» natural para el estudio del halo de materia oscura de nuestra Galaxia. Sagitario no sólo contribuye a la construcción del halo con su componente estelar, sino que al menos 5 cúmulos globulares galácticos conocidos estuvieron asociados a Sagitario antes de su destrucción. A pesar de que esta corriente alcanza las regiones más remotas del halo de nuestra galaxia (situadas al menos una distancia de 50 kiloparsec del Sol, las observaciones del 2MASS...) han confirmado las predicciones teóricas de que esta corriente cruza el disco galáctico en las cercanías de la vecindad solar. Numerosos grupos se han puesto a la caza de estrellas de Sagitario en nuestras proximidades usando muestras muy extensas de estrellas con movimientos propios.

El estudio de la estructura de nuestra Galaxia y su sistema de satélites ha planteado también preguntas sin respuesta en el marco de la teoría del CDM. Aunque esta teoría reproduce con éxito la estructura a gran escala del Universo, sus predicciones no explican algunas de las observaciones realizadas a más pequeña escala en nuestro entorno más cercano. Por ejemplo, el número de galaxias enanas rodeando la Vía Láctea es un orden de magnitud más pequeño que el espectro de masas predicho por el CDM. Además, en el contexto del CDM, el halo Galáctico fue construido a través de la fusión de sistemas de baja masa, similares a las galaxias enanas. Sin embargo, los patrones de abundancia observados en los satélites de la Vía Láctea actuales son muy diferentes de los encontrados en las estrellas de campo del halo. Los «ladrillos» de la Vía Láctea serían entonces muy diferentes a las galaxias enanas que observamos hoy día en nuestro entorno. Otra controversia importante es el contenido en materia oscura de las galaxias satélites. Las observaciones de que algunas galaxias satélites están



Galaxia enana de Sagitario alrededor de la Vía Láctea.
 Composición: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

en proceso de destrucción por las fuerzas de marea de la Vía Láctea (como la galaxia Ursa Minor) sugieren que estos sistemas podrían ser más «frágiles» de lo previsto por el CDM, lo que pone restricciones a que estos sistemas estén rodeados de un halo muy masivo de materia oscura. El objetivo del congreso fue reunir a los mayores expertos en el tema (incluyendo algunos de los padres de la teoría del CDM y de las teorías de la formación de la Galaxia) para discutir todas estas discrepancias en un marco más próximo que el proporcionado por las publicaciones científicas.

Una de las conclusiones de este congreso es que la Vía Láctea y su sistema de satélites esconden todavía muchos secretos. Sólo en este año hemos asistido a grandes descubrimientos (ej. la corriente de marea en Monoceros) de los sondeos de gran campo, pero quizás lo mejor esté todavía por venir. Corrientes de marea desconocidas podrían ser descubiertas una vez que el SDSS sea completado. La búsqueda de los satélites «oscuros» (compuestos sólo por materia oscura) propuestos por el CDM sólo ha comenzado. Los telescopios de la clase 10 m permitirán estudiar la dinámica interna de los satélites de la Vía Láctea y «pesar» sus halos de materia oscura. La nueva generación de satélites astrométricos (GAIA, SIM, FAME) permitirán detectar nuevas galaxias destruyéndose en el halo y, quizás, en la vecindad solar.



RODRIGO IBATA
Observatorio de Estrasburgo
(Francia)

Una corriente de marea, ¿cómo se forma?
“Si observáramos la evolución de una galaxia enana cercana a otra gigante, veríamos que ésta en principio tiene una forma esférica. La masa de la galaxia gigante genera una fuerza gravitatoria que «estira» la galaxia enana en una dirección, de manera que se deforma gradualmente llegando a tener una forma elipsoidal. El siguiente paso de la interacción entre las dos galaxias es que las estrellas empiezan a desprenderse de la esfera inicial y se forma una corriente de estrellas que sigue la órbita de la galaxia enana alrededor de la galaxia gigante; esto es lo que se conoce como una «corriente de marea galáctica». Finalmente la galaxia enana se deshará totalmente y pasará a formar parte de la galaxia gigante, aumentando de esta forma su masa.”

●●● ¿Qué relación existe entre las corrientes de marea y las estructuras galácticas?
“Las estructuras de la galaxia, como el halo y

el disco, son mucho más grandes. En realidad, el halo ha podido ser formado por estas corrientes, que con el paso del tiempo se mezclan de forma que no quedan estructuras pequeñas y todo queda más bien homogéneo. De hecho, las corrientes de estrellas se pueden observar en las regiones exteriores de la galaxia más allá del final del disco, y es en esa zona donde se buscan este tipo de estructuras.

Las corrientes de marea nos permiten, entre otras cosas, deducir cómo es la forma del halo, que está formado principalmente de materia oscura. Por ejemplo en la corriente de marea de Sagitario observamos que describe un gran círculo alrededor de la Vía Láctea, por lo que podemos concluir que el halo de nuestra galaxia es esférico. Si no fuera así veríamos algo muy diferente, ya que habría una precesión de la órbita de la corriente de forma que el círculo se rompería.

En el halo hay muy pocas estrellas y la existencia de corrientes permiten medir el potencial de la masa invisible y medir el achatamiento del halo.”

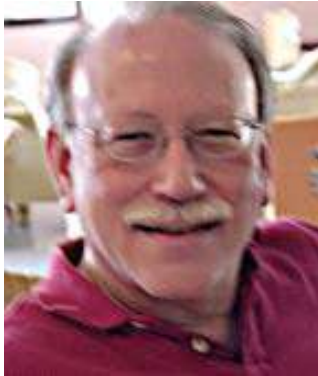
●●● Desde el descubrimiento de la corriente de marea de Sagitario en 1994, ¿Cuál ha sido el siguiente paso en el estudio de las corrientes de marea?
“Durante tres años hemos realizado un estudio exhaustivo de la galaxia de Andrómeda, una gigante muy próxima a la Vía Láctea, aproximadamente 2 millones de años luz. Lo que se pretendía era hacer un censo de las estrellas en el exterior de la galaxia para poder evaluar la cantidad de materia oscura que hay alrededor de Andrómeda. Para ello hemos utilizado un potente instrumento en el Telescopio «Isaac Newton» (INT), instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. Se trata de una cámara de gran campo, aproximadamente el tamaño de una Luna, con la que se han realizado 150 campos de Andrómeda, que ocupa 30° sobre el cielo –incluido el halo–, y se ha podido medir la luminosidad de estrellas individuales.

Este estudio nos ha permitido descubrir que existen unas subestructuras en el halo formadas por concentraciones de materia. Estas subestructuras se predicen en los modelos cosmológicos. Además hemos encontrado una corriente de estrellas gigantesca, que tiene una longitud de aproximadamente medio millón de años luz y que pasa por los polos de la galaxia.”



© Galaxia de Andrómeda. Richard Sword, Institute of Astronomy, Cambridge.

●●● Se sabe que la composición del halo de Andrómeda y de la Vía Láctea no son iguales ¿Cuál podría ser la causa?
“Efectivamente, las estrellas del halo de nuestra galaxia parecen ser más viejas y pobres metálicamente que las del halo de Andrómeda que son más metálicas; la metalicidad se refiere a la abundancia cualquier elemento más pesado que el helio. Si asumimos que tanto la Vía Láctea como Andrómeda se han formado por la destrucción de galaxias satélite que han pasado a formar parte, principalmente, del halo, probablemente la respuesta es que las galaxias enanas «engullidas» por Andrómeda eran metálicamente más ricas que las satélite de la Vía Láctea.”



JOEL R. PRIMACK
Universidad de California en
Santa Cruz (Estados Unidos)

La terminología de materia oscura fría (CDM, *Cold Dark Matter*), ¿cómo surgió?

“La terminología sobre materia oscura, fría, templada y caliente, fue utilizada por primera vez en una charla que di en Francia en 1983, y también por Dick Bond. Los dos estuvimos de acuerdo en que ésta era una terminología mucho mejor que la que se utilizaba anteriormente (materia oscura de largo recorrido libre y de corto recorrido libre). Después, todo el mundo utilizó esta terminología, pero, creo que nosotros la utilizamos por primera vez en la primavera de 1983, exactamente 20 años atrás.

El primer artículo⁽¹⁾ en el que se presentó una imagen de la teoría CDM fue realizado por George Blumenthal, Sandra Faber y yo, de la Universidad de Santa Cruz (California), en colaboración con Martin Rees, de Cambridge. En él aparecía lo que se considera como el primer mapa de materia oscura fría.”

••• ¿Qué características debe tener una partícula para ser una candidata a CDM?

“Lo más importante es que para que una partícula sea CDM ha de

haber tenido velocidades muy bajas durante el Universo temprano. Esta es la gran diferencia entre, por ejemplo, la materia oscura templada y la caliente.

Pero, en cualquier caso, la naturaleza de la partícula es completamente libre. Podría ser masiva, como las partículas supersimétricas WIMP (*Weakly Interacting Massive Particle*), que son mucho más pesadas que un núcleo de oro, o podría ser extremadamente ligera como el axión, que es mil millones de veces más ligero que el protón. Así pues, ya sean cientos de veces la masa del protón o millones de veces menor, todas ellas podrían ser candidatas a materia oscura.

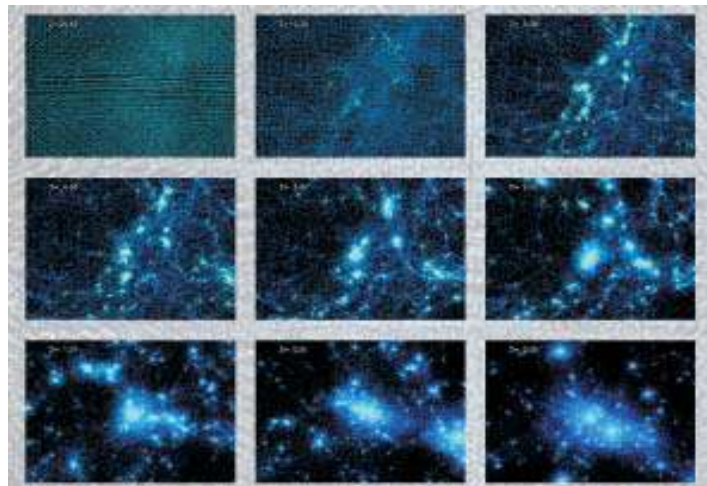
De hecho la CDM podría haber sido la componente de los agujeros negros primordiales, pero cualquiera que sea la partícula debería haber tenido una velocidad muy baja. La mayor parte de los científicos se inclinan por las WIMPs. Existe una pequeña evidencia de la supersimetría, que aunque no sea en absoluto convincente, es suficiente para que los físicos teóricos consideren que esta teoría empieza a tener sentido.

La física de partículas está poniendo mucho esfuerzo en la confirmación de estas teorías, aunque resulta muy costosa. Se está intentando comprobar en experimentos bajo tierra, en telescopios que buscan la radiación de aniquilación de las partículas, como MAGIC (instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma), y por supuesto en los aceleradores. Tan pronto como el LHC (*Large Hadron Collider*) se ponga en marcha, sabremos inmediatamente si estas ideas son correctas o no.

Otra de las razones por las que estas partículas supersimétricas masivas «gustan» es porque la física de partículas diseñó esta supersimetría sin relación alguna con la cosmología y la posibilidad de que éstas puedan ser el origen natural de la materia oscura, predicha por dos teorías que se han desarrollado independientemente, es una bonita posibilidad.”

••• ¿Qué papel desempeña la CDM en la formación jerárquica de galaxias?

“Antes de la teoría CDM se pensaba que la Vía Láctea se había formado por un proceso de acreción, esto fue propuesto en los 70, antes de la CDM que nació en los 80. Pero la idea de que todo en el Universo ha sido formado por



Simulación de la formación jerárquica de un grupo de galaxias, similar al Grupo Local, según el modelo de CDM. Realizada en el Centro Nacional de Aplicaciones Informáticas (EEUU) por Andrey Kravtsov (Universidad de Chicago)

acreción de materia, la idea pura de formación jerárquica es estrictamente CDM. Por tanto, CDM implica formación jerárquica y la evidencia experimental de que realmente el Universo se formó mediante este proceso favorece mucho la teoría CDM.

Por ejemplo en el caso de HDM (*Hot Dark Matter* o Materia Oscura Caliente), idea que fue popular algunos años antes del CDM, era justo lo contrario. Las primeras estructuras que se formaban eran supercúmulos que al fragmentarse creaban el resto de estructuras, como las galaxias. Esta idea de fragmentación no funcionó ya que se comprobó que los supercúmulos son muy jóvenes y se están formando ahora y las galaxias se formaron con anterioridad. Por esta razón, la CDM desplazó a la HDM.”

●●● ¿Se puede decir que la detección por absorción de rayos gamma de alta energía sería una prueba de la formación galáctica?

“No exactamente una prueba, pero si un camino en el estudio de la formación galáctica. La absorción de rayos gamma de alta energía se realiza porque este tipo de rayos se forman a partir de dos fotones de baja energía que interactúan dando lugar a un par electrón-positrón. Si podemos estudiar la cantidad de absorción, que depende básicamente de la energía de los rayos gamma y también de la distancia de la fuente, podremos medir cuánta luz hay en el Universo.

Los nuevos telescopios, como MAGIC, van a poder llegar a órdenes de magnitud menores en energía, y esto nos va a permitir mirar más lejos en la distancia porque son más sensibles. Además nos permitirá llegar a la parte óptica del espectro, que es donde se produce la mayor parte de la absorción. Así será posible descifrar exactamente cuántas estrellas han producido luz e incluso de aquellas que ya no existen porque han acabado su ciclo.”

He leído que tiene algunos artículos sobre la implicación cultural de la Cosmología ¿Cuáles son estas implicaciones?

“Existen muchas. Una de las más importantes está relacionada con la edad y el tamaño del Universo. La imagen bíblica, interpretada literalmente, da a la gente la idea de que todo el Universo tiene unos pocos miles de años y que el ser humano se creó en el sexto día, entonces ¡las personas son solamente seis días más jóvenes que todo el Universo! Creo que es importante para todos darnos cuenta de que el Universo tienen alrededor de 14 mil millones de años y que nosotros estamos aquí desde hace apenas 100.000 años.

Por otro lado, actualmente estamos en la mitad de la vida del Universo, y va a estar ahí durante otros muchos miles de millones de años, y el sistema solar también, ya que el Sol se encuentra en la mitad de su vida y todavía le restan otros 5 o 6 miles de millones de años. Por tanto, queda mucho futuro por delante, y si cuidamos la Tierra la humanidad podrá seguir avanzando en el conocimiento y disfrutando de la vida, ya que nuestro pasado es mucho más corto que el futuro.

Existen muchas historias que podría contar acerca de las implicaciones culturales de la Cosmología. Solamente voy a explicar una que creo es emocionante, interesante y sorprendente. Escribí un artículo con mi mujer, Nancy Abrams, llamado «La gravedad, el último principio del capitalismo»⁽²⁾. La idea es que la gravedad siempre genera regiones en las que la densidad crece en comparación con otras regiones. Es lo que los astrónomos llaman «regiones ricas». También existen otras regiones llamadas «pobres», en las que apenas existen galaxias, y que cada vez son más pobres. La razón es que las regiones ricas se expanden más lentamente y las pobres más rápidamente, en promedio. Así, las ricas siempre son más ricas y las pobres más pobres, y éste sería el último principio del capitalismo.

Sin embargo, en Astronomía lo que ocurre es que no todas las regiones muy densas llegan a ser un agujero negro, porque si colapsan, las velocidades aumentan y el colapso finalmente se detiene. Existen mecanismos del movimiento circular o, por ejemplo, con la materia oscura en galaxias, que hacen que finalmente lleguen a ser estables y mantenerse durante miles de millones de años. Esta estabilidad en los planetas es necesaria para la vida y para nosotros.

Esta analogía con el capitalismo es interesante porque todo parece ser igual, los ricos más ricos y los pobres más pobres y, ciertamente, es lo que ocurre en el mundo. Ahora el problema es que si no tenemos algo que se oponga, de la misma forma que el movimiento a la gravedad, llegaremos a un agujero negro económico y todo se concentrará provocando un colapso.

La cuestión es saber cuál es en Economía el equivalente al movimiento en la gravedad.”

●●● ¿Y cuál es ese elemento de equilibrio en Economía?

“No lo sé, ¡no soy economista, soy cosmólogo! La lección es que las cosas pueden ir mejor si nos preguntamos este tipo de cuestiones que mucha gente nunca se pregunta.”

(1) *Formation of Galaxies and Large-Scale Structure with Cold Dark Matter*, by G.R. Blumenthal, S.M. Faber, J.R. Primack, and M.J. Rees, *Nature* 311, 517 (1984).

(2) «Gravity, the Ultimate Capitalist Principle,» by Joel R. Primack and Nancy Ellen Abrams *Invited article for 15th anniversary issue of Tikkun magazine, Tikkun* 16 (5), 59-61 (Sept/Oct 2001).



EVA K. GREBEL
Instituto Max-Planck de
Astronomía
(Heidelberg, Alemania)

Usted participa en el proyecto SLOAN ¿En qué consiste? “Este proyecto tiene principalmente el objetivo de obtener imágenes y datos espectroscópicos de una superficie de 10.000 grados del cielo, lo que equivale a un cuarto aproximadamente, es decir un área enorme. La idea es profundizar en la investigación, limitando la luminosidad, y observar concretamente los objetos que se encuentran en este rango. Esta colaboración empezó hacia los años 90. Inicialmente sólo fueron universidades americanas e instituciones de investigación de este país. Pero actualmente el proyecto ha aumentado considerablemente el número de colaboradores y se han añadido instituciones de otros países. En la actualidad, aparte de las instituciones de Estados Unidos, participan dos centros en Alemania, entre ellos el mío, y también un instituto japonés.”

••• ¿Qué método de trabajo se utiliza? “En primer lugar, SLOAN toma imágenes del cielo simultáneamente en 5 bandas de longitudes de onda distintas. Posteriormente se reducen y se tratan mediante un software que determina qué tipo de objetos se ven en las imágenes, estrellas, galaxias, etc. Tras realizar una clasificación automática, se seleccionan los objetivos para realizar espectroscopía, que es el siguiente paso. El objetivo principal es realizarla en tantas galaxias o cúasares como sea posible. Esto es debido a que

inicialmente el programa científico estaba centrado en estudios extragalácticos para el estudio del Universo a gran escala, por ejemplo, para encontrar cúasares con alto desplazamiento al rojo. Pero tras descubrir las posibilidades de este sondeo, en la actualidad hay muchos proyectos que no estaban previstos inicialmente en los objetivos de SLOAN. Uno de ellos es el proyecto en el que participa David Martínez sobre estructura galáctica y, concretamente, sobre la estructura de la Vía Láctea, ya que obtenemos todos los datos de las estrellas. Uno de los aspectos especiales del sondeo de SLOAN es que aparte de las imágenes se pueden obtener espectros a partir de los cuales se pueden medir las velocidades de las galaxias, y estas velocidades ayudan a determinar la distancia a la que se encuentran. Así pues, lo que se obtiene finalmente es un mapa tridimensional del Universo.”

••• ¿Cuáles son los proyectos y los resultados obtenidos por SLOAN relacionados con este congreso?

“En mi opinión existen varios resultados, y uno de ellos ha sido el descubrimiento de corrientes de marea en la Vía Láctea. La primera fue la de la galaxia de Sagitario que aparentemente se está uniendo a la Vía Láctea y que fue descubierta en 1994. Esta corriente se pudo observar en el área del cielo cartografiada por SLOAN. Otro resultado es la nueva corriente de Monoceros en la Vía Láctea que ha sido descubierta con los datos de SLOAN. Las imágenes que se obtienen permiten ver de cerca galaxias enanas que orbitan alrededor de la Vía Láctea, estudiar cómo son perturbadas y destruidas por la Vía Láctea en la actualidad y observar las corrientes de marea que emergen debidas a esta interacción. Hasta ahora, sólo hemos encontrado unas pocas galaxias satélite, pero existen otras, las cuales aun no han sido encontrados por SLOAN, que podrían tener corrientes importantes. Uno de los proyectos en los que estamos trabajando, conjuntamente con David Martínez, es la búsqueda de corrientes en el halo de la Vía Láctea. De carácter más extragaláctico, ha sido la ponencia de Francisco Prada, en la que habló de las órbitas que realizan las galaxias satélite alrededor de otras gigantes. Estas órbitas vienen determinadas principalmente por la masa de la galaxia masiva, por tanto, si podemos tener información de estas órbitas o, de hecho, de las velocidades de las galaxias, podemos tener información de la masa de la galaxia gigante. Éstos son los que considero como resultados principales en conexión directa con el congreso. También se ha hablado sobre el efecto de microlente gravitatoria; en este caso se utilizan las galaxias como indicadores de la perturbación de la luz por efectos gravitatorios. Haciendo ciertas suposiciones acerca de la distribución de los objetos para las desviaciones mayores, que se pueden medir básicamente mirando galaxias distantes, y suponiendo que pueden ser perturbadas por las galaxias más cercanas, podemos tener una idea de la distribución de la masa del Universo. Para ello es necesario un amplio sondeo a gran escala del Universo, y éste es de hecho el principal trabajo realizado en SLOAN.”

••• ¿Por qué SLOAN tiene un impacto tan grande en este campo de la Astrofísica, más que otros proyectos?

“Básicamente porque en realidad el área cubierta es muy grande, y no tiene precedentes. Otro punto importante es que se realizan imágenes en distintas bandas de longitudes de onda, lo cual también es inusual comparado con otros proyectos existentes. Existen mapas celestes, de los años 50 y 60, realizados en placas fotográficas que cubren todo el cielo, y son buenos mapas, pero de resolución muy pobre y no llegan a tanta profundidad como en el caso de SLOAN. En nuestro sondeo, la magnitud límite es de 20, dependiendo de la banda de longitud de onda que se utiliza. En una banda como por ejemplo el rojo llega a 22,3. Actualmente es el proyecto con mayor sensibilidad. Otra ventaja es la combinación de imagen y espectroscopía; la mayoría de los sondeos tienen solamente espectroscopía o solo imagen, pero no combinan los dos.”



SIMON WHITE
Instituto Max-Planck de
Astrofísica de Garching,
Munich (Alemania)

Sobre el halo masivo predicho en la teoría CDM. ¿Cómo podemos saber qué galaxias lo tienen?

“Para poder detectar un halo galáctico debemos encontrar una observación suficientemente sensible que nos permita detectar masas muy distantes de los centros galácticos. Uno de los métodos que permite realizar este tipo de observaciones es mediante la deflexión de la luz descrita en la teoría gravitatoria. Para ello, se utilizan los efectos de lente gravitatoria. Otra manera es utilizando los movimientos de pequeñas galaxias o galaxias satélite, situadas cerca de las más masivas. Estos son los dos métodos que tenemos para medir las masas a larga distancia del centro de las galaxias.”

••• Según la teoría CDM, ¿deberían existir más galaxias satélite?

“La teoría CDM predice que debería haber más objetos «oscuros» dentro de esta parte de los halos alrededor de las galaxias, la cuestión es que el número de objetos visibles alrededor de la Vía Láctea o de las galaxias cercanas es demasiado pequeño y esto, en el fondo, significa que la teoría CDM es correcta. La mayoría de las galaxias satélite deberían no tener estrellas y es difícil entender por qué éste debería ser el caso.”

••• ¿La consecuencia de ello es que podrían existir algunas «galaxias oscuras», sin estrellas?

“De hecho, el término galaxia significa lo mismo que Vía Láctea, y la Vía Láctea tiene estrellas, entonces si no hay estrellas no se podría considerar una galaxia, es una cuestión de definición. Aunque dado que se cree que la mayoría de nuestra propia galaxia está compuesta de materia oscura, podríamos pensar que no necesitamos estrellas para que sea una galaxia. En cualquier caso, la teoría predice que deberían existir «grumos» de materia oscura y esto supondría en definitiva tener inicialmente otro material asociado con éste, y nosotros no sabemos todavía qué tipo de material es. Quizás hay material que está sólo en forma de gas y en tal caso se tendría que poder medir mediante radiotelescopios. Pero no aparece, la mayoría de estas acumulaciones no tienen ninguna estrella.”

••• Existe materia oscura en el exterior de la galaxia pero, ¿también podemos encontrarla en nuestro sistema solar?

“Ciertamente la materia oscura también existe en nuestro sistema solar, pero solamente en pequeñas cantidades. Por ejemplo, los científicos que quieren intentar detectar materia oscura directamente utilizan experimentos bajo tierra, debajo de montañas, donde esperan detectar la colisión de las partículas de materia oscura, con su aparato experimental. Por otro lado, el volumen total de partículas de materia oscura esperado en el Sistema Solar es muy pequeño y por tanto no tiene efectos en el movimiento de los planetas.”

••• Existen otras teorías que no se basan en la idea del CDM, por ejemplo la teoría MOND (*MODified Newtonian Dynamics*), ¿están completamente desechadas?

“El problema es que por el momento no existen teorías alternativas consistentes con la mayoría de los datos que se han obtenido. En cualquier caso, aunque no tengamos por seguro que la teoría CDM es correcta, tampoco tenemos una teoría alternativa para compararla. Concretamente, MOND es una teoría incompleta, ya que por ejemplo no puede ofrecer un modelo del Universo temprano, o tampoco puede describir cómo debería ser el Fondo Cósmico de Microondas.”

••• ¿Actualmente existe buen acuerdo entre las simulaciones de evolución galáctica y los datos experimentales?

“En algunos casos hay acuerdo y en otros no, los investigadores siempre tratan de orientarse hacia aquellos desacuerdos para entender por qué. Existen muchos temas de discusión acerca de qué datos observacionales están en desacuerdo con la teoría. Éste es un signo del problema fundamental que es que no se entiende completamente cómo se deben analizar los datos observacionales debidamente, o, quizás, existan efectos físicos adicionales relacionados con la materia oscura que hace que las observaciones sean diferentes de las esperadas.”

••• ¿Qué resultados de los que se han presentado en este congreso le han parecido más interesantes?

“Ha habido algunas observaciones nuevas interesantes. Yo estoy muy interesado en las observaciones en las que se han visto grandes nubes de gas alrededor de la galaxia de Andrómeda (resultados de Roberto Braun). Los datos se han obtenido mediante un amplio sondeo de un radiotelescopio, y muestran por primera vez grandes nubes de hidrógeno en la parte principal de esta galaxia de la misma forma que vemos nubes de hidrógeno en los alrededores de la Vía Láctea. La diferencia es que en nuestra galaxia no tenemos manera de estimar cuán lejos están estas nubes de hidrógeno, y en este caso, como están ligadas a la galaxia de Andrómeda, podemos determinar mejor la distancia y así entender mejor nuestra propia galaxia.”



JOSEP FLIX MOLINA
Instituto de Física de Altas
Energías (UAB-Barcelona)

Un telescopio como MAGIC, ¿cómo funciona a nivel técnico? ¿Y qué distingue a MAGIC de los otros telescopios de este tipo?

“Con la ayuda de satélites especializados, en las últimas décadas se ha podido detectar radiación que no podía ser medida directamente con instrumentos instalados en la superficie terrestre, ya que dicha radiación es absorbida en nuestra atmósfera. Además de las ventanas de energías ya exploradas en el visible y en radio, el Universo se ha hecho transparente para la mayor parte del espectro electromagnético. Desafortunadamente, en el rango de altas energías (*radiación gamma*) los satélites no gozan de un rendimiento óptimo, ya que su pequeña superficie de detección ($\sim 1 m^2$) junto a los espectros de los objetos emisores que son muy débiles para estas energías, los hace tener una limitación superior en la energía de detección de unos 10 GeV.

MAGIC es un telescopio diseñado para explorar la radiación gamma que proviene del Universo pero, en este caso, desde la superficie terrestre, detectando la radiación gamma por un método indirecto. Cuando la radiación gamma penetra en la atmósfera genera una “cascada” electromagnética, donde se crean miles de pares de

electrones y positrones que emiten luz Cherenkov (en el visible), ya que viajan a una velocidad superior a la velocidad de la luz en la atmósfera. Éste flash Cherenkov tiene una duración de unos pocos *nanosegundos* y se emite a unos 10 km. de la superficie de la tierra con una apertura angular de $\sim 1^\circ$. Así, en la superficie se obtiene una iluminación en una gran área que es del orden de $10^4 m^2$, lo que convierte a los telescopios Cherenkov en instrumentos muy sensibles a altas energías debido a esta gran área de colección. Una cámara con una matriz de fotomultiplicadores se coloca en el plano focal de un reflector parabólico proporcionando una resolución temporal capaz de detectar estos *flashes* de luz visible. Grandes telescopios Cherenkov son necesarios para conseguir minimizar la energía umbral de detección, ya que éste flash de luz es muy tenue. MAGIC es hoy por hoy el mayor telescopio Cherenkov, con un diámetro de 17 m, donde se han implementado innovaciones tecnológicas que lo llevarán a ser el telescopio Cherenkov con menor energía umbral de detección gamma (de 30 GeV hasta decenas de TeV), y por ello un instrumento único en su campo (hasta ahora, con esta técnica el umbral de detección con los telescopios actuales ronda los 300 GeV). La colaboración MAGIC está formada por un gran número de instituciones en todo el mundo, con una fuerte representación de España, Alemania e Italia. El telescopio está situado en el observatorio del Observatorio del Roque de los Muchachos y ha empezado a operar este mismo verano (2003).”

••• ¿En que consiste el proyecto que se quiere llevar a cabo con MAGIC en relación a la búsqueda de materia oscura?

“En los últimos años se han propuesto diversos candidatos para formar parte de esta materia. En la actualidad se especula con algún tipo de partícula pesada que hubiera sobrevivido a la «Gran Explosión», es decir, que fuera lo suficientemente estable como para no haberse desintegrado hasta ahora. De las partículas conocidas no hay ninguna que cumpla estos requisitos. Sin embargo, en las últimas décadas, se han desarrollado nuevas teorías de Física de partículas, las llamadas “Teorías Supersimétricas”, que además de explicar de manera unificada la naturaleza y las características de todas las partículas conocidas y ajustarse a los resultados experimentales obtenidos en los grandes aceleradores de partículas, predicen la existencia de un nuevo tipo de partículas de entre las cuales hay una que podría ser una candidata muy plausible: el «neutralino». Por ahora, no hay ninguna evidencia experimental directa de la existencia de estas nuevas partículas. Las Teorías Supersimétricas predicen también que, en altas concentraciones, los neutralinos pueden interactuar entre ellos, aniquilándose y dando como resultado radiación gamma, que podría llegar a detectarse con telescopios Cherenkov. Los espectros que se predicen para estas aniquilaciones se extienden hasta una decenas de GeV. Otros telescopios Cherenkov ya han observado a regiones del espacio donde se presume que existan altas concentraciones de materia oscura, como el centro de nuestra propia galaxia, galaxias cercanas (como *Andrómeda*), cúmulos estelares (como *Pal 13*) o incluso galaxias enanas que orbitan a nuestra galaxia y que se encuentran relativamente cerca de nosotros (como *Draco*, que se encuentra a una distancia 10 veces mayor que el centro de nuestra galaxia, pero 10 veces menor que *Andrómeda*). En todos estos casos no ha habido una detección positiva aún que se pueda atribuir a radiación procedente de neutralinos, ya que los instrumentos no son tan sensibles ni tienen un umbral tan bajo en la energía de detección como para explorar todo el rango de posibilidades predichas, pero sí que se han podido fijar límites experimentales tanto en la masa de estas partículas como en su densidad. Con MAGIC, el estudio de este tipo de radiación gamma procedente de las aniquilaciones de neutralinos, se va a llevar a cabo estas medidas con una precisión sin precedentes hasta el momento, ya que, de los telescopios Cherenkov actuales, es el más sensible y el que tiene un

umbral en la energía de detección más bajo, lo que lo convierte en el telescopio idóneo para este tipo de búsquedas de materia oscura supersimétrica. Para poder seleccionar los mejores objetos para este tipo de observaciones se tiene que estudiar la cantidad de radiación que se espera de estos objetos. El más «brillante» se tomará como candidato plausible para la primera observación. Los estudios previos, el análisis y los resultados de la observación conformarán la base de los estudios en materia oscura que estoy realizando conjuntamente con Francisco Prada (ING-IAC) y Manel Martínez (IFAE).”

●● Si se detecta el tipo de radiación predicha para el neutralino, ¿Existe la posibilidad de que sea debida a otro tipo de fenómeno?

“La búsqueda de éste tipo de señal ha de hacerse en zonas donde se predicen altas concentraciones de materia oscura (como nuestro propio centro galáctico o galaxias cercanas). Para poder determinar la naturaleza de la señal detectada hay que estudiar en detalle el fondo de radiación gamma en el campo de visión y así desacoplar la señal que se quiere estudiar. Es cierto que la forma del espectro predicha para la aniquilación de neutralinos tiene una forma específica y similar a la que se observa para otros objetos celestes. Hay que descartar, comparando con otras longitudes de onda, que la detección no procede de alguna fuente emisora gamma (como por ejemplo un púlsar). La acumulación de detecciones positivas con estas características en lugares donde se prevé que existan altas concentraciones de materia oscura, como en galaxias cercanas a la Vía Láctea, podrían respaldar la existencia de los neutralinos como soporte para la materia oscura.”

●● ¿Aparte de la búsqueda de materia oscura, a qué otro tipo de proyectos está destinado?

“Además de las posibilidades que MAGIC ofrece en el campo de la materia oscura, es competitivo en un amplio abanico de temas, como por ejemplo poder determinar el origen de los rayos cósmicos (protones, núcleos de helio, oxígeno, nitrógeno...) observando a los remanentes de supernovas. También es necesaria la caracterización del máximo número de Galaxias de Núcleo Activo a altas energías con mucho detalle para entender los procesos de emisión en la inmediata cercanía del agujero negro central, muy intensa y variable. MAGIC espera detectar del orden de un centenar de estas fuentes. Los púlsares son emisores gamma pero aún no se ha podido



Telescopio MAGIC, en el Observatorio del Roque de los Muchachos.
Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

detectar emisión pulsada a alta energía, que es esencial para discernir entre los diferentes modelos de emisión. Otra característica de MAGIC única en éste tipo de telescopios es que se puede orientar a cualquier posición en menos de 30 segundos, lo que lo convierte en el mejor instrumento para estudiar las explosiones de rayos gamma (GRBs) a altas energías. Otros campos de interés serían identificar la naturaleza de las fuentes no identificadas de EGRET (Energetic Gamma-Ray Experimental Telescope), medidas del horizonte de rayos gamma, determinación de parámetros cosmológicos, efectos de gravedad cuántica en medidas de invariancia de la velocidad de la luz y un largo etcétera.”

●● ¿Cuál es el futuro de la investigación de la física de altas energías en el Observatorio del Roque de los Muchachos?

“La colaboración MAGIC ha iniciado los trámites para la construcción de un segundo telescopio con características similares para el año próximo, ya que la observación conjunta mejorará la resolución espacial de detección. Existen otras grandes instalaciones Cherenkov en construcción tanto en el hemisferio Norte (VERITAS) como en el hemisferio Sur (CANGAROO y HESS), aunque con energías umbrales ligeramente superiores. Al ser un campo tan atractivo y abierto, construir una gran instalación muy sensible y con bajo umbral de detección gamma es de gran importancia para llegar a entender qué procesos son los responsables de los fenómenos violentos en esta parte del espectro electromagnético. No cabe duda de que el Observatorio del Roque de los Muchachos es un lugar ideal para la observación y podría llegar a albergar en un futuro próximo una gran instalación de grandes telescopios Cherenkov para la exploración del universo en radiación gamma.”



FRANCISCO PRADA
IAC/ING.
Organizador del Congreso

No hay alternativa. La materia oscura será identificada. Ésta es mi apuesta personal: la naturaleza de la materia oscura se determinará en los próximos 10 años. Tenemos ya un precedente, el neutrino. Esta partícula fue la primera que se propuso para materia oscura y que se pudo detectar. Debido a que su masa era del orden del electrón-voltio (eV) y que en el tiempo del desacople del plasma cósmico tenía velocidades relativistas, se la llamó «materia oscura caliente» (HDM). Pero la aplicación del HDM junto con el espectro de fluctuaciones de densidad primordial Zel'dovich era claramente inconsistente con la estructura a gran escala observada en el Universo.

Tras este primer intento, hace unos 20 años, se propuso la teoría de la «materia oscura fría» (CDM) para la formación de estructuras en el Universo. Este modelo sostiene que las partículas que forman la materia oscura deberían tener velocidades casi despreciables en el Universo temprano, en consecuencia debería tratarse de partículas masivas, con masas superiores a 10 GeV, de interacción débil (WIMPs). El actual paradigma de la teoría CDM y su variante Λ CDM (sugerida a partir de la observación del fondo cósmico de microondas y de las supernovas con alto desplazamiento al rojo) con baja densidad de masa ($\Omega_m = 0,27$) y densidad bariónica ($\Omega_b = 0,05$) dada por WMAP han sido

bastante satisfactorias en sus predicciones a gran escala, como la distribución de galaxias, las masas de los cúmulos y la evolución de la abundancia en los cúmulos, las abundancias y evolución de los bosques de Ly α y la normalización y forma del espectro de potencias en las anisotropías del fondo cósmico de microondas. Este modelo también explica satisfactoriamente los valores observacionales de la constante de Hubble y la edad del Universo. La formación jerárquica de estructuras es inherente a la teoría CDM: los objetos más pequeños colapsan primero, y después se unen formando galaxias gigantes, como la Vía Láctea.

En los años recientes, el modelo de CDM ha sufrido ciertas crisis debido a los serios inconvenientes que presenta a pequeña escala, como es la falta de galaxias satélite, el ajuste de las curvas de rotación, o la llamada «catástrofe» del momento angular. A pesar de todo ello la teoría CDM es de lejos el mejor modelo (si no el único), pues explica satisfactoriamente la formación de estructuras en el Universo tal y como hemos tenido oportunidad de comprobar en las presentaciones que fueron expuestas en el congreso «Galaxias Satélite y Corrientes de Marea Galácticas», en mayo, en La Palma. No obstante, la mayor crítica a la teoría CDM es que la naturaleza de esta «materia» continúa siendo desconocida. Me gustaría ver esto no como un problema, si no como una cuestión de tiempo. El tiempo es el principal parámetro que gobierna los descubrimientos científicos. Hay que ser pacientes. No hay duda de que la naturaleza de la materia oscura representa un reto para la Cosmología y la Física de Partículas.

Desde el punto de vista de la Física de Partículas, no hay una preferencia especial por ninguna de las candidatas no-bariónicas a materia oscura, conocidas como WIMPs. En el marco de la extensión supersimétrica (SUSY) del Modelo Standard, la partícula supersimétrica más ligera (LSP) es una candidata posible a materia oscura. Se espera que la LSP sea el neutralino (χ). Se tiene una creciente esperanza de que la materia oscura SUSY se encuentre mediante experimentos directos e indirectos, como la detección de rayos gamma que provienen de la aniquilación de neutralinos. Existe una posibilidad real de que la nueva generación de telescopios atmosféricos Cherenkov, como el caso del telescopio MAGIC, situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, encuentren la partícula que compone mayormente la materia oscura. Ésta es mi apuesta. El descubrimiento de materia oscura supersimétrica se dará antes de 10 años por medio de la detección directa o indirecta. No hay alternativa.

PD: Si pierdo esta apuesta, pagaré la comida de Navidad del 2013.



Participantes del Congreso en el Observatorio del Roque de los Muchachos.
Foto: Javier Méndez (ING).

El nacimiento y primeros pasos de las galaxias

POBLACIONES ESTELARES Y MATERIA OSCURA EN GALAXIAS (P3/94)

A. Aparicio, R. Carrera, C. Gallart, S. Hidalgo, A. Marín-Franch, A. Rosenberg

Colaboradores del IAC: C.P. Padilla, N. Noel

Las estrellas se agrupan en galaxias y éstas en grupos que cuando son muy grandes se denominan cúmulos. El proyecto del IAC "Poblaciones Estelares y Materia Oscura en Galaxias" investiga cómo se formaron y evolucionaron las galaxias. Para ello, estudia principalmente el Universo local, denominación que se refiere al Universo más cercano a la Tierra, incluyendo el Grupo Local, que está constituido por dos galaxias gigantes (Andrómeda y nuestra Vía Láctea) y entre treinta y cuarenta enanas.

La distancia de las galaxias a la Tierra determina en qué fase de su evolución pueden ser observadas. Esto es así porque la radiación que emiten y nos informa sobre cómo son, necesita más tiempo para llegar a la Tierra cuanto mayor es la distancia y, por tanto, de una galaxia lejana vemos su pasado lejano, no su presente. La investigación sobre el origen de las galaxias se puede enfocar desde dos perspectivas: estudiando galaxias muy lejanas o estudiando los componentes más antiguos de las galaxias próximas, como se hace en este proyecto. La radiación procedente de las galaxias más alejadas permite el análisis de forma directa de las propiedades de las galaxias primitivas. Sin embargo, su lejanía conlleva que los datos obtenidos sean confusos. En cambio, los componentes más antiguos de las galaxias cercanas dan información sobre cómo la galaxia se constituyó y evolucionó inicialmente. Es un método de estudio indirecto, a partir de "fósiles". Sin embargo, la proximidad de los objetos de estudio permite una mayor precisión en los datos que, a menudo, compensa esta limitación. En cualquier caso, tanto el estudio retrospectivo de galaxias cercanas como el de galaxias lejanas deben producir resultados compatibles, por lo que los modelos cosmológicos evolutivos para galaxias tienen que relacionar de un modo consistente el Universo Local con el Universo primitivo.

Se piensa que las galaxias pudieron originarse por procesos diversos: por colapso de gas, que genera estrellas y éstas se agrupan en galaxias; por choque y posterior fusión de galaxias ya constituidas o por acreción de galaxias satélites de la principal; son tres modelos para un mismo proceso y, probablemente, no son excluyentes sino que comparten responsabilidades.

La metodología del proyecto se basa en que los procesos de formación han tenido que dejar su huella en las características de las galaxias que nos rodean así como en la Vía Láctea. Como herramientas de estudio, se utilizan los cúmulos globulares, las galaxias satélites de la Vía Láctea y las galaxias irregulares enanas.



La imagen es de la galaxia NGC 3109, galaxia irregular enana del Grupo Local, situada a 4,5 millones de años luz. © IAC.

Los cúmulos globulares son los componentes más antiguos del Universo y consisten en densos agrupamientos de estrellas cuya edad relativa puede ser medida con bastante precisión. Poniendo en relación las edades y composición química de diferentes cúmulos, se puede reconstruir el proceso de formación de una galaxia. Nuestros resultados muestran que la generalidad de los cúmulos globulares de la Vía Láctea se formaron en un breve intervalo de tiempo: en menos de mil millones de años, lo que a escala del Universo es muy poco tiempo. Estos resultados concluyen que la Vía Láctea se formó en su mayor parte en un proceso rápido, que duró entre 500 y 1.000 millones de años, un 5% de su edad total.

Las galaxias satélites de la Vía Láctea pudieron haber contribuido con su masa a formar nuestra galaxia. De hecho, recientemente se ha encontrado que la galaxia de Sagitario, situada cruzando el plano de la Vía Láctea, está siendo engullida por ésta en lo que supone una prueba de esta hipótesis. Se piensa, por otro lado, que las galaxias enanas que ahora perviven son sólo las que escaparon a la destrucción que sufrieron las que se aglutinaron para dar lugar a las grandes galaxias.

Desde hace unos años, este grupo está desarrollando una línea de investigación dirigida al estudio de galaxias dentro y fuera del Grupo Local. Esta investigación se basa en un novedoso y complejo análisis de la débil señal producida por determinadas estructuras, permitiendo desde el estudio de las componentes más débiles de galaxias cercanas hasta resultados de recuento de galaxias ultradébiles muy lejanas en el Hubble Deep Field.

Material elaborado por ANTONIO MARÍN FRANCH, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

¿Dónde nacen las estrellas, cuándo envejecen las galaxias?

DISTRIBUCIÓN Y DINÁMICA DE POBLACIONES ESTELARES, GAS Y POLVO, Y FORMACIÓN ESTELAR EN GALAXIAS

(P5/94)

F. Garzón

P.L. Hammersley, A. Cabrera y T. Mahoney

Colaboradores del IAC: X. Calbet

Adentrarse en el estudio del Universo no significa necesariamente mirar más lejos. También puede ser mirar lo mismo que se había mirado antes pero de otro modo, en la mayoría de los casos gracias a una mejora tecnológica o a un cambio de perspectiva.

En el proyecto *Distribución y dinámica de poblaciones estelares*, los astrofísicos estudian cómo son y en qué modo se mueven las galaxias próximas, incluyendo la Vía Láctea, para determinar su origen y evolución. Entre sus objetivos está cartografiar nuestra galaxia. Saber dónde se agrupan las estrellas es el punto de partida para poder desarrollar posteriormente otras investigaciones. Por ejemplo, contar estrellas permite determinar las diferentes estructuras que constituyen la Vía Láctea ya que se puede asociar una densidad estelar con un componente de la galaxia (la barra, el anillo, el disco, el halo...). La absorción de la luz estelar por el polvo y el gas presentes en el medio, denominada extinción interestelar, dificulta el estudio de objetos lejanos o cuya emisión luminosa es débil. En la zona infrarroja del espectro, la extinción es menos intensa, lo que permite el estudio del disco e interior galáctico, normalmente muy afectados por este fenómeno al tratarse de un medio más denso.

Asimismo, se busca ver qué ocurre en las zonas de formación de estrellas en diferentes tipos de galaxias, principalmente espirales. Una galaxia espiral, por ejemplo nuestra Vía Láctea, se caracteriza por poseer múltiples brazos en los que se distribuyen las estrellas. En este proyecto se pretende diferenciar la actividad de la zona de los brazos respecto a la del disco. En estudios previos se obviaba esta distinción por restricciones de las técnicas de espectrografía habitualmente usadas. La espectrografía consiste en el análisis del conjunto de radiación -el espectro- de una estrella para determinar, entre otros parámetros, su composición química, temperatura, densidad o presión.

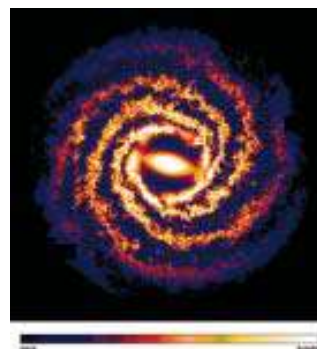
La formación más activa de estrellas en una galaxia ocurre en las regiones H II, donde el hidrógeno está ionizado, es decir, ha perdido carga negativa. Gracias a su dinamismo, estas áreas son una buena fuente de información sobre las particularidades de las estrellas que se están formando.

Dos de las galaxias analizadas han sido NGC 5457, cuyos brazos espirales son continuos y bien definidos, y NGC 4395, de brazos cortos, fragmentados y con poca definición respecto al disco de la galaxia. En la primera se ha visto una variación del contenido en metales que no se aprecia en la segunda, lo que hace sospechar una relación entre los brazos y la metalicidad. Otro resultado relevante es que en las galaxias jóvenes la densidad de estrellas es más pequeña que en las viejas.

Las imágenes han sido obtenidas mediante técnicas de banda estrecha, denominadas así porque se restringen a las bandas del espectro donde se encuentran las huellas de los elementos químicos. Estas huellas permiten estudiar de manera diferencial el brazo y el resto del disco de una galaxia, analizando parámetros como la extinción de estrellas, el contenido en metales, la temperatura, la masa con la que nacen las estrellas, o la edad de los cúmulos, que son grupos de estrellas próximas con un posible origen común.



Imagen en el infrarrojo cercano de la Vía Láctea, obtenida con el survey 2MASS (<http://www.ipac.caltech.edu/2mass>). La emisión está dominada en esta longitud de onda por la población de estrellas gigantes de tipo K del disco, lo que demuestra que este rango del espectro es ideal para trazar la distribución real de las estrellas en la galaxia, al estar menos limitados por extinción que, por ejemplo, en el óptico.



Descripción hipotética de la verdadera estructura de la Vía Láctea, incorporando las componentes más importantes ubicadas en el disco galáctico: brazos espirales, la barra y el anillo molecular.

Material elaborado por ANTONIO LUIS CABRERA LAVERS, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

Choque de galaxias en 3D

ESPECTROSCOPIA BIDIMENSIONAL CON FIBRAS ÓPTICAS DE GALAXIAS ACTIVAS

(P4/94)

E. Mediavilla

J.A. Acosta, A. Monreal y V. Motta

Colaboradores del IAC: B. García López

La Espectroscopía de Campo Integral es una nueva técnica instrumental que permite obtener un mapa en dos dimensiones de los espectros de un objeto extenso. Su ventaja frente a las técnicas tradicionales es que recoge simultáneamente las informaciones espacial y espectral, lo que garantiza la homogeneidad de los datos y hace que sea una herramienta útil para el estudio de cuerpos con morfología compleja.

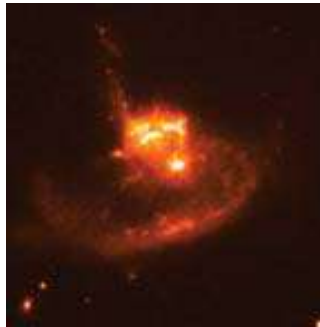
La información espacial consiste simplemente en tomar imágenes de los objetos. En cambio, la espectral requiere obtener su espectro -la relación entre la intensidad y la longitud de onda de la radiación emitida por el objeto- de tal modo que se puedan conocer datos como su estado de ionización, composición química, densidad electrónica, temperatura o distancia a la que se sitúa. En Espectroscopía de Campo Integral existen varios sistemas como micro-lentes, micro-espejos, fibras ópticas o una solución mixta. Los basados en fibras ópticas son los más flexibles y sencillos; en cambio, los de micro-lentes o micro-espejos requieren diseños ópticos particulares.

Es una técnica indicada en la observación de regiones de objetos extensos de tamaño relativamente pequeño, por lo que se ha utilizado en investigación astrofísica principalmente en el estudio de las regiones centrales de las galaxias. En un futuro próximo, se ampliará su uso con la entrada en funcionamiento de nuevos instrumentos para los grandes telescopios.

En el proyecto *Espectroscopía Bidimensional con Fibras Ópticas de Galaxias Activas* del IAC se utiliza esta técnica con diversas finalidades.

Por ejemplo, para el estudio de lentes gravitatorias, de regiones circunucleares en galaxias activas o galaxias Seyfert y de galaxias infrarrojas ultraluminosas o ULIRGs, con datos obtenidos utilizando INTEGRAL, un instrumento para espectroscopía bidimensional de fibras ópticas instalado en el telescopio "William Herschel", del Observatorio del Roque de los Muchachos.

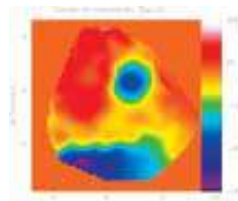
Las galaxias infrarrojas ultraluminosas o ULIRGs se caracterizan por una intensa emisión en el



Sección de 25x25 arcsec² de la imagen en el filtro F814W de WFPC2/HST de IRAS 12112+0305. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda.

infrarrojo causada por procesos de formación estelar o núcleos de galaxias activas que calientan el polvo presente en la galaxia, aunque todavía no se sabe en qué proporción lo hace cada uno. Su morfología peculiar es resultado de las fusiones e interacciones de galaxias. Podrían ser un paso intermedio entre la colisión de dos o más galaxias espirales y la formación de una galaxia elíptica o de un cuásar. Aunque ya han pasado casi veinte años desde su descubrimiento con el satélite IRAS, en la actualidad todavía no se conocen exactamente las condiciones iniciales necesarias para que surja una ULIRG, como pueden ser la orientación o características internas de las galaxias que van a chocar.

La información obtenida mediante los datos de INTEGRAL, junto con imágenes de archivo del Telescopio Espacial Hubble, permiten analizar la peculiar morfología de estas galaxias, tanto del gas ionizado como de la componente estelar. Por otro lado, con la ayuda de modelos de síntesis de poblaciones se está llevando a cabo un análisis de las regiones de ionización más importantes. Por último, INTEGRAL también permite obtener campos de velocidades y de dispersión de velocidades en dos dimensiones, muy necesarios para realizar el análisis cinemático de sistemas en interacción o en proceso de fusión como las ULIRGs.



A la izquierda, mapa de velocidad y de dispersión de velocidades para IRAS 12112+0305 obtenidos a partir del ajuste del perfil de H α a una única gaussiana. Aparece, superpuesto en contornos, la imagen del continuo en H α como referencia. Los ejes están centrados en núcleo Norte y la orientación es la habitual, con el Norte hacia arriba y el Este a la izquierda.

Material elaborado por ANA MONREAL IBERO, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

El nacimiento y primeros pasos de las galaxias

POBLACIONES ESTELARES Y MATERIA OSCURA EN GALAXIAS (P3/94)

A. Aparicio, R. Carrera, C. Gallart, S. Hidalgo, A. Marín-Franch, A. Rosenberg

Colaboradores del IAC: C.P. Padilla, N. Noel

Las estrellas se agrupan en galaxias y éstas en grupos que cuando son muy grandes se denominan cúmulos. El proyecto del IAC "Poblaciones Estelares y Materia Oscura en Galaxias" investiga cómo se formaron y evolucionaron las galaxias. Para ello, estudia principalmente el Universo local, denominación que se refiere al Universo más cercano a la Tierra, incluyendo el Grupo Local, que está constituido por dos galaxias gigantes (Andrómeda y nuestra Vía Láctea) y entre treinta y cuarenta enanas.

La distancia de las galaxias a la Tierra determina en qué fase de su evolución pueden ser observadas. Esto es así porque la radiación que emiten y nos informa sobre cómo son, necesita más tiempo para llegar a la Tierra cuanto mayor es la distancia y, por tanto, de una galaxia lejana vemos su pasado lejano, no su presente. La investigación sobre el origen de las galaxias se puede enfocar desde dos perspectivas: estudiando galaxias muy lejanas o estudiando los componentes más antiguos de las galaxias próximas, como se hace en este proyecto. La radiación procedente de las galaxias más alejadas permite el análisis de forma directa de las propiedades de las galaxias primitivas. Sin embargo, su lejanía conlleva que los datos obtenidos sean confusos. En cambio, los componentes más antiguos de las galaxias cercanas dan información sobre cómo la galaxia se constituyó y evolucionó inicialmente. Es un método de estudio indirecto, a partir de "fósiles". Sin embargo, la proximidad de los objetos de estudio permite una mayor precisión en los datos que, a menudo, compensa esta limitación. En cualquier caso, tanto el estudio retrospectivo de galaxias cercanas como el de galaxias lejanas deben producir resultados compatibles, por lo que los modelos cosmológicos evolutivos para galaxias tienen que relacionar de un modo consistente el Universo Local con el Universo primitivo.

Se piensa que las galaxias pudieron originarse por procesos diversos: por colapso de gas, que genera estrellas y éstas se agrupan en galaxias; por choque y posterior fusión de galaxias ya constituidas o por acreción de galaxias satélites de la principal; son tres modelos para un mismo proceso y, probablemente, no son excluyentes sino que comparten responsabilidades.

La metodología del proyecto se basa en que los procesos de formación han tenido que dejar su huella en las características de las galaxias que nos rodean así como en la Vía Láctea. Como herramientas de estudio, se utilizan los cúmulos globulares, las galaxias satélites de la Vía Láctea y las galaxias irregulares enanas.



La imagen es de la galaxia NGC 3109, galaxia irregular enana del Grupo Local, situada a 4,5 millones de años luz. © IAC.

Los cúmulos globulares son los componentes más antiguos del Universo y consisten en densos agrupamientos de estrellas cuya edad relativa puede ser medida con bastante precisión. Poniendo en relación las edades y composición química de diferentes cúmulos, se puede reconstruir el proceso de formación de una galaxia. Nuestros resultados muestran que la generalidad de los cúmulos globulares de la Vía Láctea se formaron en un breve intervalo de tiempo: en menos de mil millones de años, lo que a escala del Universo es muy poco tiempo. Estos resultados concluyen que la Vía Láctea se formó en su mayor parte en un proceso rápido, que duró entre 500 y 1.000 millones de años, un 5% de su edad total.

Las galaxias satélites de la Vía Láctea pudieron haber contribuido con su masa a formar nuestra galaxia. De hecho, recientemente se ha encontrado que la galaxia de Sagitario, situada cruzando el plano de la Vía Láctea, está siendo engullida por ésta en lo que supone una prueba de esta hipótesis. Se piensa, por otro lado, que las galaxias enanas que ahora perviven son sólo las que escaparon a la destrucción que sufrieron las que se aglutinaron para dar lugar a las grandes galaxias.

Desde hace unos años, este grupo está desarrollando una línea de investigación dirigida al estudio de galaxias dentro y fuera del Grupo Local. Esta investigación se basa en un novedoso y complejo análisis de la débil señal producida por determinadas estructuras, permitiendo desde el estudio de las componentes más débiles de galaxias cercanas hasta resultados de recuento de galaxias ultradébiles muy lejanas en el Hubble Deep Field.

Material elaborado por ANTONIO MARÍN FRANCH, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

¿Dónde nacen las estrellas, cuándo envejecen las galaxias?

DISTRIBUCIÓN Y DINÁMICA DE POBLACIONES ESTELARES, GAS Y POLVO, Y FORMACIÓN ESTELAR EN GALAXIAS

(P5/94)

F. Garzón

P.L. Hammersley, A. Cabrera y T. Mahoney

Colaboradores del IAC: X. Calbet

Adentrarse en el estudio del Universo no significa necesariamente mirar más lejos. También puede ser mirar lo mismo que se había mirado antes pero de otro modo, en la mayoría de los casos gracias a una mejora tecnológica o a un cambio de perspectiva.

En el proyecto *Distribución y dinámica de poblaciones estelares*, los astrofísicos estudian cómo son y en qué modo se mueven las galaxias próximas, incluyendo la Vía Láctea, para determinar su origen y evolución. Entre sus objetivos está cartografiar nuestra galaxia. Saber dónde se agrupan las estrellas es el punto de partida para poder desarrollar posteriormente otras investigaciones. Por ejemplo, contar estrellas permite determinar las diferentes estructuras que constituyen la Vía Láctea ya que se puede asociar una densidad estelar con un componente de la galaxia (la barra, el anillo, el disco, el halo...). La absorción de la luz estelar por el polvo y el gas presentes en el medio, denominada extinción interestelar, dificulta el estudio de objetos lejanos o cuya emisión luminosa es débil. En la zona infrarroja del espectro, la extinción es menos intensa, lo que permite el estudio del disco e interior galáctico, normalmente muy afectados por este fenómeno al tratarse de un medio más denso.

Asimismo, se busca ver qué ocurre en las zonas de formación de estrellas en diferentes tipos de galaxias, principalmente espirales. Una galaxia espiral, por ejemplo nuestra Vía Láctea, se caracteriza por poseer múltiples brazos en los que se distribuyen las estrellas. En este proyecto se pretende diferenciar la actividad de la zona de los brazos respecto a la del disco. En estudios previos se obviaba esta distinción por restricciones de las técnicas de espectrografía habitualmente usadas. La espectrografía consiste en el análisis del conjunto de radiación -el espectro- de una estrella para determinar, entre otros parámetros, su composición química, temperatura, densidad o presión.

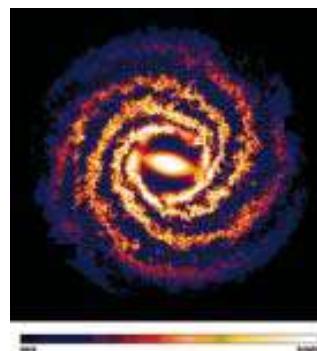
La formación más activa de estrellas en una galaxia ocurre en las regiones H II, donde el hidrógeno está ionizado, es decir, ha perdido carga negativa. Gracias a su dinamismo, estas áreas son una buena fuente de información sobre las particularidades de las estrellas que se están formando.

Dos de las galaxias analizadas han sido NGC 5457, cuyos brazos espirales son continuos y bien definidos, y NGC 4395, de brazos cortos, fragmentados y con poca definición respecto al disco de la galaxia. En la primera se ha visto una variación del contenido en metales que no se aprecia en la segunda, lo que hace sospechar una relación entre los brazos y la metalicidad. Otro resultado relevante es que en las galaxias jóvenes la densidad de estrellas es más pequeña que en las viejas.

Las imágenes han sido obtenidas mediante técnicas de banda estrecha, denominadas así porque se restringen a las bandas del espectro donde se encuentran las huellas de los elementos químicos. Estas huellas permiten estudiar de manera diferencial el brazo y el resto del disco de una galaxia, analizando parámetros como la extinción de estrellas, el contenido en metales, la temperatura, la masa con la que nacen las estrellas, o la edad de los cúmulos, que son grupos de estrellas próximas con un posible origen común.



Imagen en el infrarrojo cercano de la Vía Láctea, obtenida con el survey 2MASS (<http://www.ipac.caltech.edu/2mass>). La emisión está dominada en esta longitud de onda por la población de estrellas gigantes de tipo K del disco, lo que demuestra que este rango del espectro es ideal para trazar la distribución real de las estrellas en la galaxia, al estar menos limitados por extinción que, por ejemplo, en el óptico.



Descripción hipotética de la verdadera estructura de la Vía Láctea, incorporando las componentes más importantes ubicadas en el disco galáctico: brazos espirales, la barra y el anillo molecular.

Material elaborado por ANTONIO LUIS CABRERA LAVERS, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

Choque de galaxias en 3D

ESPECTROSCOPIA BIDIMENSIONAL CON FIBRAS ÓPTICAS DE GALAXIAS ACTIVAS

(P4/94)

E. Mediavilla

J.A. Acosta, A. Monreal y V. Motta

Colaboradores del IAC: B. García López

La Espectroscopía de Campo Integral es una nueva técnica instrumental que permite obtener un mapa en dos dimensiones de los espectros de un objeto extenso. Su ventaja frente a las técnicas tradicionales es que recoge simultáneamente las informaciones espacial y espectral, lo que garantiza la homogeneidad de los datos y hace que sea una herramienta útil para el estudio de cuerpos con morfología compleja.

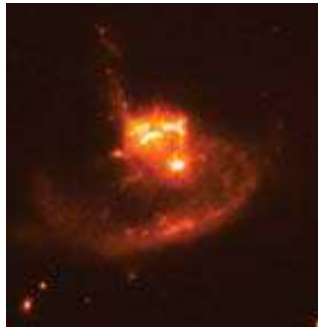
La información espacial consiste simplemente en tomar imágenes de los objetos. En cambio, la espectral requiere obtener su espectro -la relación entre la intensidad y la longitud de onda de la radiación emitida por el objeto- de tal modo que se puedan conocer datos como su estado de ionización, composición química, densidad electrónica, temperatura o distancia a la que se sitúa. En Espectroscopía de Campo Integral existen varios sistemas como micro-lentes, micro-espejos, fibras ópticas o una solución mixta. Los basados en fibras ópticas son los más flexibles y sencillos; en cambio, los de micro-lentes o micro-espejos requieren diseños ópticos particulares.

Es una técnica indicada en la observación de regiones de objetos extensos de tamaño relativamente pequeño, por lo que se ha utilizado en investigación astrofísica principalmente en el estudio de las regiones centrales de las galaxias. En un futuro próximo, se ampliará su uso con la entrada en funcionamiento de nuevos instrumentos para los grandes telescopios.

En el proyecto *Espectroscopía Bidimensional con Fibras Ópticas de Galaxias Activas* del IAC se utiliza esta técnica con diversas finalidades.

Por ejemplo, para el estudio de lentes gravitatorias, de regiones circunucleares en galaxias activas o galaxias Seyfert y de galaxias infrarrojas ultraluminosas o ULIRGs, con datos obtenidos utilizando INTEGRAL, un instrumento para espectroscopía bidimensional de fibras ópticas instalado en el telescopio "William Herschel", del Observatorio del Roque de los Muchachos.

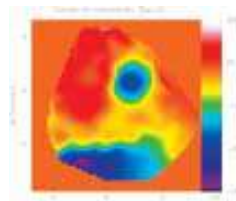
Las galaxias infrarrojas ultraluminosas o ULIRGs se caracterizan por una intensa emisión en el



Sección de 25x25 arcsec² de la imagen en el filtro F814W de WFPC2/HST de IRAS 12112+0305. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda.

infrarrojo causada por procesos de formación estelar o núcleos de galaxias activas que calientan el polvo presente en la galaxia, aunque todavía no se sabe en qué proporción lo hace cada uno. Su morfología peculiar es resultado de las fusiones e interacciones de galaxias. Podrían ser un paso intermedio entre la colisión de dos o más galaxias espirales y la formación de una galaxia elíptica o de un cuásar. Aunque ya han pasado casi veinte años desde su descubrimiento con el satélite IRAS, en la actualidad todavía no se conocen exactamente las condiciones iniciales necesarias para que surja una ULIRG, como pueden ser la orientación o características internas de las galaxias que van a chocar.

La información obtenida mediante los datos de INTEGRAL, junto con imágenes de archivo del Telescopio Espacial Hubble, permiten analizar la peculiar morfología de estas galaxias, tanto del gas ionizado como de la componente estelar. Por otro lado, con la ayuda de modelos de síntesis de poblaciones se está llevando a cabo un análisis de las regiones de ionización más importantes. Por último, INTEGRAL también permite obtener campos de velocidades y de dispersión de velocidades en dos dimensiones, muy necesarios para realizar el análisis cinemático de sistemas en interacción o en proceso de fusión como las ULIRGs.



A la izquierda, mapa de velocidad y de dispersión de velocidades para IRAS 12112+0305 obtenidos a partir del ajuste del perfil de H α a una única gaussiana. Aparece, superpuesto en contornos, la imagen del continuo en H α como referencia. Los ejes están centrados en núcleo Norte y la orientación es la habitual, con el Norte hacia arriba y el Este a la izquierda.

Material elaborado por ANA MONREAL IBERO, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

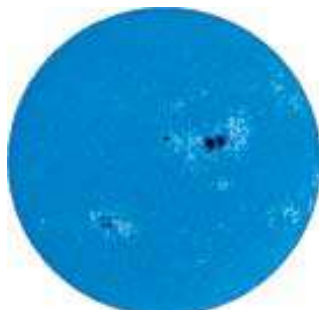


Imagen del disco solar obtenida con el Telescopio Simbiótico II, corregida de la variación centro borde por J.A. Bonet

Regiones activas solares

«Procesos de emergencia de regiones activas solares»

RICARD CASAS I RODRÍGUEZ

Director: Manuel Vázquez (IAC)

Fecha: 29/4/03

Dos son los tipos de estructuras que pueden ser observados en la fotosfera solar cuando es observada en luz blanca. Por un lado, aquellas que están ligadas al transporte de energía por convección y, por otro, las relacionadas con concentraciones de campo magnético. Es precisamente en éstas en las que se centra el interés de este trabajo, más concretamente en los procesos que acompañan su emergencia en la superficie del Sol.

El método de trabajo seguido consiste en el estudio de sus movimientos. Las técnicas del seguimiento de trazas y la espectroscopía son las técnicas empleadas en este trabajo. El seguimiento de trazas consiste en la determinación de las posiciones de la estructura a lo largo de su paso por el disco solar. Con esta información se determinan los movimientos transversales, perpendiculares a la línea de la visión, y otros parámetros relacionados, como pueden ser la

inclinación de los grupos. El análisis espectroscópico permite, mediante la medida del desplazamiento Doppler, la evaluación de dichos movimientos según esa línea de visión.

Los telescopios empleados para este trabajo son tres, todos ellos ubicados en el Observatorio del Teide (Tenerife): el Telescopio Newton al Vacío, el Telescopio Gregory-Coudé y el Telescopio Simbiótico, un telescopio que comparte la montura del Telescopio Newton al Vacío.

Como complemento al trabajo realizado, se aplicaron las técnicas de análisis a datos históricos, de principios del siglo XVII. Se trataba de los dibujos publicados por Galileo Galilei en su opúsculo «Istoria e Dimostrazioni intorno alle Macchie Solari e Loro Accidenti». Algunos de los principales resultados obtenidos son los siguientes: se señala un comportamiento diferenciado en la dinámica de las manchas anterior y posterior, tanto en los datos de los movimientos transversales como en los obtenidos con el método espectroscópico; la separación media entre los focos de un grupo aumenta linealmente con la edad, a partir del segundo día de vida, la velocidad de rotación residual parece depender del área máxima alcanzada por la región activa, excepto para las más pequeñas; la demostración de la presencia de enroscamiento en la mayoría de los procesos de emergencia observados; entre otros resultados. Finalmente se presenta en la memoria las principales perspectivas futuras del trabajo realizado.

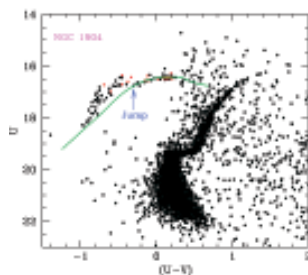


Diagrama color-magnitud en el que se indica el salto de luminosidad en las estrellas del cúmulo NGC 6752

Estrellas calientes

“Naturaleza de las estrellas calientes de rama horizontal en cúmulos globulares galácticos”

ALEJANDRA RECIO BLANCO

Director: Antonio Aparicio y Giampaolo Piotto

Fecha: 24/2/03

El objetivo de esta tesis es el estudio de las estrellas calientes de rama horizontal (HB) en cúmulos globulares Galácticos. Estas estrellas, cuyo origen aún es objeto de debate, pierden, en la fase de gigante roja, hasta dos veces más masa que las estrellas normales de HB y pueblan las llamadas colas azules en los diagramas color-magnitud de los cúmulos globulares.

En primer lugar, se ha analizado, mediante espectroscopía de alta resolución con UVES+VLT, las características rotacionales de 61 estrellas de HB, con temperaturas efectivas pertenecientes a los cúmulos M15, M79, M80 y NGC 2808. Dicho estudio ha revelado la existencia de una discontinuidad en la distribución de la velocidad de rotación con la temperatura. Esta discontinuidad parece coincidir con el comienzo de los procesos difusivos en la atmósfera de la estrella, que dan lugar a anomalías de abundancias en las estrellas más calientes: sobreabundancias de metales y disminución del helio.

En segundo lugar, con el objetivo de descifrar el origen de las estrellas calientes de HB se ha estudiado la dependencia de la extensión en temperatura de la rama horizontal con los distintos parámetros del cúmulo. Mediante un análisis multivariable de 63 diagramas color-magnitud, basados en fotometría B, V con el Telescopio Espacial «Hubble», se ha encontrado que dicha extensión en temperatura depende, no sólo de la metalicidad del cúmulo, sino también de la luminosidad total de éste, dejando abierta la posibilidad de otras dependencias de grado inferior. Por último, se ha encontrado una característica nueva de la rama horizontal extendida del cúmulo NGC 6752: un salto de luminosidad en las estrellas.



*Representación de la estructura de acrecimiento en un sistema SW Sextantis.
Autor Carlos Vaquero Rodríguez*

La población de variables cataclísmicas (VCs) con periodos orbitales comprendidos entre 3-4 horas está dominada por sistemas que presentan unas características espectroscópicas muy diferentes a las del resto de VCs. Esta acumulación de sistemas «discrepantes» en un intervalo de periodos tan pequeño -justo en el borde superior del «agujero de periodo» (donde se observa un déficit importante de VCs)- que no tiene explicación dentro del marco de la actual teoría de evolución de VCs. Esto hace que el estudio de los sistemas SW

Sex sea clave para el entendimiento de la evolución de las VCs, y de los sistemas binarios semiseparados en general. El objetivo de esta tesis es la búsqueda de pruebas observacionales que sirvan para constatar si los sistemas SW Sex son VCs magnéticas o no. En caso afirmativo, habría que incorporar el efecto del campo magnético de la enana blanca en la estructura de acrecimiento, es decir, en la forma en que el gas llega a ésta desde la estrella compañera. La tesis se basa en el estudio de 4 sistemas (WX Ari, LS Peg, V533 Her y V348 Pup). Se ha descubierto variabilidad en los flujos de las líneas con una escala de tiempo del 10% del periodo orbital en LS Peg, V533 Her y V348 Pup, así como pulsaciones con la misma escala en la curva de luz de WX Ari. Este comportamiento es típico de otras VCs magnéticas, que no muestran las peculiaridades de los sistemas SW Sex. Pero sin duda, el resultado más importante ha sido el descubrimiento de polarización circular variable en LS Peg, lo que constituye una prueba inequívoca de la presencia de una enana blanca fuertemente magnética (B~5-10 MG) en rotación asincrónica. Esta tesis pone de manifiesto que el campo magnético de la enana blanca probablemente juega un papel fundamental en la evolución de las VCs justo por encima del agujero de periodo, lo que sugiere que la evolución de las VCs magnéticas puede transcurrir por una vía diferente a la de las no magnéticas. Finalmente, se presenta el primer modelo cualitativo que es capaz de explicar el extraño comportamiento de los sistemas SW Sextantis, basado en las nuevas evidencias de acrecimiento magnético.

Variables cataclísmicas

«Estructura de acrecimiento en las variables cataclísmicas de tipo SW Sextantis»

PABLO RODRÍGUEZ GIL

Director: Ignacio González y Jorge Casares (IAC)

Fecha: 8/5/03



Imagen en H α de la galaxia NGC 4395. © B. Cedres/NOT.

Formación estelar

«Parametrización de la formación estelar en galaxias espirales»

BERNABÉ CEDRES EXPÓSITO

Director: Jordi Cepa (IAC)

Fecha: 9/5/03

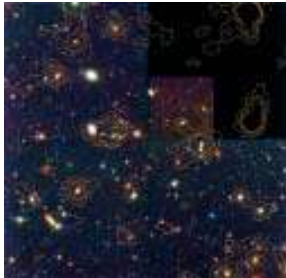
En esta tesis se presentan los resultados de un estudio comparativo de la formación estelar que tiene lugar en dos galaxias espirales distintas: una flocluenta (NGC 4395) y una de gran diseño (NGC 5457).

Para ello, se obtuvo una serie de imágenes en banda estrecha en diferentes líneas de emisión de las regiones H II: H α , H β , [O II], [O III], [S II], [S III] y sus respectivos continuos. Comparando con la realización de espectroscopía de rendija, las imágenes proporcionan flujos de todas las regiones del campo, evitando los problemas de selección, calibración en flujo y corrección de apertura de los espectros, y permiten hacer

comparaciones estadísticas brazo/interbrazo sin invertir tanto tiempo de observación, minimizando tiempos de posicionado de la región en la rendija.

A partir de los datos obtenidos se obtuvieron las extinciones por polvo, tamaños, anchuras equivalentes en H α , excitaciones y metalicidades de las regiones H II, y la temperatura efectiva de los cúmulos ionizantes.

No se encontraron diferencias sustanciales entre las propiedades de las regiones H II del brazo y del interbrazo para la galaxia de gran diseño. En cuanto a la galaxia flocluenta, se ha establecido que esta presenta, en comparación con NGC 5457, una extinción por polvo más pequeña, un menor tamaño de las regiones, una menor anchura equivalente en H α , posiblemente debida a una diferente función inicial de masa (FIM), una alta excitación, y que carece de gradientes radiales acimutales de metalicidad o temperatura.



Contornos de fuentes detectadas a 15μ por ISO superpuestos a la imagen visible del HDF Norte (Aussel et al 1999)

Poblaciones extragalácticas

«Estudio de las poblaciones extragalácticas a partir de muestreos en el infrarrojo y rayos X»

EDUARDO A. GONZÁLEZ SOLARES

Director: *Ismael Pérez*

Fecha: 18/6/03

El objetivo principal de esta tesis es el estudio de la emisión infrarroja de núcleos activos de galaxias y su relación con las galaxias con formación estelar intensa así como su contribución al fondo infrarrojo.

Las observaciones en el infrarrojo medio son fundamentales para comprender la evolución del Universo, ya que nos proporcionan una visión de la formación estelar no oscurecida y que se encuentra oculta en el resto de las longitudes de onda. Para clasificar las fuentes infrarrojas se utilizan cartografiados en rayos X para detectar de forma independiente los núcleos activos de galaxias oscurecidos.

En esta tesis se ha utilizado el cartografiado realizado por el satélite ISO en el infrarrojo medio y lejano. Se describe la identificación de dichas fuentes con objetos en la banda visible, así como las propiedades en el visible de las mismas. Tras la identificación en el visible se realizan observaciones espectroscópicas de las mismas. Una pequeña parte del área observada en el infrarrojo ha sido el objetivo de un cartografiado profundo en rayos X. Se describe este cartografiado así como las observaciones profundas en el visible e infrarrojo cercano realizadas para detectar el mayor número posible de los objetos responsables de esta emisión en rayos X.

La emisión en el infrarrojo medio de fuentes detectadas en rayos X no parece ser debida a la presencia de un núcleo activo. Cuando se realiza la correlación de fuentes de rayos X con fuentes infrarrojas más débiles aparece una población de objetos en los que su emisión infrarroja si es consistente con la presencia de un núcleo activo.

Se concluye también la necesidad de cartografiados más profundos en el infrarrojo medio y más amplios en rayos X para mejorar nuestro conocimiento de la contribución de los núcleos de galaxias activas a la emisión en el infrarrojo medio.



Ejemplo de ajuste de las FBS superpuesta a la Imagen de Campo Profundo del Hubble (HDF)

Fluctuaciones de brillo superficial

“Fluctuaciones de brillo superficial en Astrofísica: más allá de la magnitud límite”

ANTONIO MARÍN FRANCH

Director: *Antonio Aparicio*

Fecha: 4/6/03

En la fotometría superficial de una galaxia, situada lo suficientemente lejos como para permanecer no resuelta, se observa una fluctuación de píxel a píxel debida a la distribución espacial de las estrellas de la galaxia. En este fenómeno se basa el concepto de Fluctuaciones de Brillo Superficial (FBS). A esta fluctuación también contribuye la distribución espacial de otros objetos presentes en la imagen, como cúmulos globulares de la galaxia, estrellas de campo, galaxias de fondo... Las diferentes variantes de la técnica de las FBS se basan en el estudio detallado de la fluctuación producida por un tipo concreto de objetos.

En esta tesis se ha aplicado la técnica de las FBS a distintos campos de la astrofísica extragaláctica. En primer lugar, se ha desarrollado un estudio de sistemas de cúmulos globulares en galaxias elípticas situadas en el cúmulo de galaxias de Coma. En este contexto, se ha medido la frecuencia específica de cúmulos globulares (número de cúmulos globulares por unidad de luminosidad de la galaxia) en 17 galaxias elípticas de Coma con diferentes magnitudes y situadas a distintas distancias del centro del cúmulo, no encontrándose ninguna relación entre la frecuencia específica y la magnitud de la galaxia anfitriona o las propiedades del entorno de la misma.

Por otra parte se ha considerado un conjunto de 20 regiones de campo y, con la finalidad de «observar» cúmulos globulares intergalácticos, se ha analizado la señal de las FBS de fondo. Los resultados obtenidos no son compatibles con la existencia de una población de cúmulos globulares intergalácticos en Coma.

A su vez, y empleando un conjunto de diagramas de poblaciones estelares y FBS sintéticos desarrollados en esta tesis a partir de la librería de evolución estelar de Padua, se ha caracterizado la población estelar no resuelta de la galaxia enana irregular DDO 165, aportando además una estimación de su distancia.

Finalmente se ha determinado el extremo ultradébil de la función de recuento diferencial de galaxias en el *Hubble Deep Field* mediante la aplicación de una nueva variante de la técnica de las FBS. Ésta ha sido la primera vez que se utilizan las FBS para estudiar galaxias de fondo y que se «observa» una población de galaxias hasta magnitud 31.



LIRIS tras su instalación en el WHT del ORM (La Palma).
Foto: Miguel Briganti SMM (IAC)

Espectroscopía multirrendija LIRIS

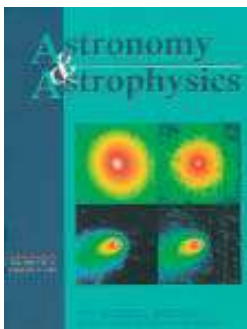
“Tasa de formación estelar en galaxias a $0.5 < z < 1.1$ (3/4).
Un caso para el espectrógrafo infrarrojo multi-rendija LIRIS”
CARLOS H. DOMÍNGUEZ TAGLE-PAREDES
Director: Arturo Manchado y Francisco Prada
Fecha: 10/2/03

Esta tesis se desarrolla en el área de investigación en instrumentación astronómica y abarca dos proyectos estrechamente relacionados, uno científico y otro instrumental. Ambos proyectos están enmarcados en la explotación científica del modo de espectroscopía multirrendija de LIRIS. Este instrumento es un espectrógrafo multi-rendija en el infrarrojo cercano construido en el IAC para instalarlo en el Telescopio «William Herschel (WHT)».

El proyecto científico de esta tesis se centra en el estudio de galaxias con desplazamiento al rojo y se basa en la selección de una muestra de galaxias del *Hubble Deep Field* y *Flanking Fields* para su posterior estudio con LIRIS. La muestra se ha seleccionado basada en las luminosidades publicadas en catálogos y su comparación con modelos de síntesis de poblaciones estelares. Como resultado de una serie de observaciones piloto con espectrógrafos del infrarrojo cercano, se ha obtenido el primer espectro de una de las galaxias de la muestra, detectando la línea de emisión *H α* con una buena razón de señal a ruido.

La parte instrumental de esta tesis se centra en las técnicas de espectrografía infrarroja, para poder observar la muestra de galaxias. El trabajo se lleva a cabo como parte del desarrollo del modo de espectroscopía de LIRIS, el análisis de la sensibilidad del instrumento, la caracterización del detector y el diseño de las máscaras multi-rendija. Se realiza un estudio completo de las magnitudes límite en los modos de operación imagen y espectrografía, tanto para objetos puntuales como para extensos. Los resultados obtenidos son muy novedosos en algunos parámetros y se encuentra que la operación del detector es muy competitiva al compararla con los detectores de otros espectrógrafos del infrarrojo cercano.

IMAGEN ASTRONÓMICA



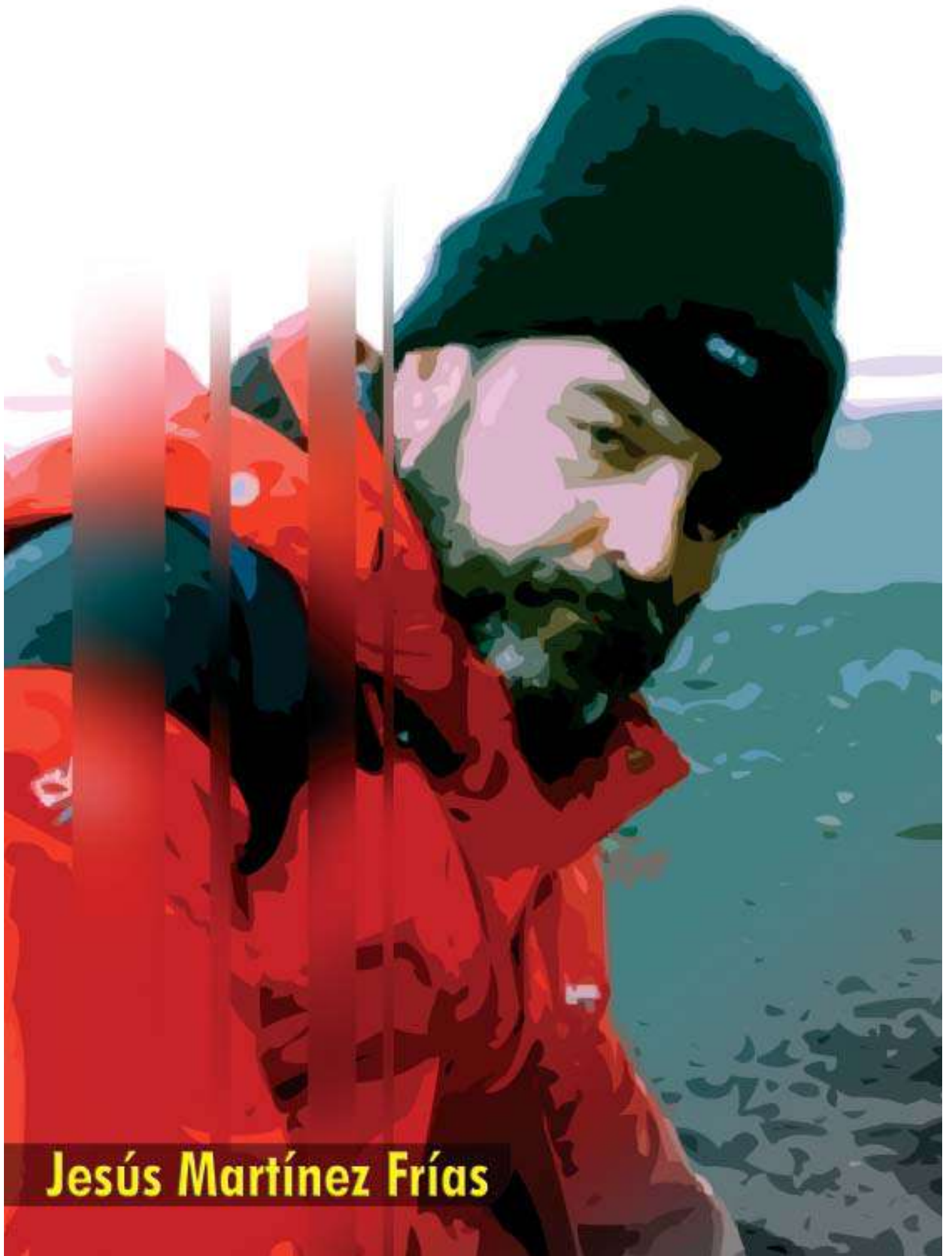
Portada de la revista Astronomy & Astrophysics (Febrero 2003), imágenes del cometa 21p/Giacobini-Zinner obtenidas con el telescopio IAC-80, del Observatorio del Teide (Tenerife). El artículo está firmado por los investigadores del IAC Alex Oscoz, Javier Licandro y Verónica Motta, junto con L. Lara, un colaborador del Instituto de Astrofísica de Andalucía.

Cometa Giacobini-Zinner

El cometa 21P/Giacobini-Zinner (G-Z) pertenece a la familia de Júpiter y tiene una órbita relativamente estable. Pese a que es un cometa de período corto (6,6 años), no fue descubierta hasta el año 1900 por el astrónomo francés Michel Giacobini y posteriormente fue redescubierta por el alemán Ernst Zinner en 1913, de ahí su nombre. Por otro lado, es el «progenitor» de la lluvia de estrellas conocidas como Dracónidas, que aunque no tiene una actividad extremadamente alta se puede observar en los meses de octubre. En 1985 se convirtió en el primer cometa «visitado» por una nave espacial. La *International Cometary Explorer (ICE)* voló a través de la cola de gas del cometa y estimó el diámetro de su núcleo, que es de aproximadamente 2,5 km de diámetro, en la parte más ancha.

Desde hace tiempo se sabe que el cometa G-Z es inusual en muchos aspectos. Las abundancias moleculares detectadas se consideran anómalas comparadas con las de otros cometas. En concreto, las abundancias de C_2 y C_3 relativas al H_2O son del orden de 10 veces menores que la composición cometaria «normal». Una de las hipótesis sugeridas sobre estas anomalías es que esta disminución estaría asociada con la región de formación en la nebulosa solar, más concretamente con la zona del Sistema Solar llamada cinturón de Edgeworth-Kuiper.

Las observaciones del equipo formado por investigadores del IAC se realizaron con el telescopio IAC-80, instalado en el Observatorio del Teide, entre el 8 de noviembre y el 10 de diciembre de 1998. Durante esas fechas el cometa tenía magnitud 9 y una distancia de perihelio de 1,03 AU. En el estudio se obtuvieron imágenes CCD del gas y polvo de la coma, en las fases del pre y postperihelio.



Jesús Martínez Frías

JESÚS MARTÍNEZ-FRÍAS



Laboratorio de Geología Planetaria del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)

Jesús Martínez-Frías, jefe del Laboratorio de Geología Planetaria (LGP) del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), impartió el pasado 23 de febrero una conferencia con el título «Meteoritos y Astrobiología», en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, como una actividad complementaria a la exposición «Meteoritos» que albergaba el Museo entre el 19 de febrero y el 20 de abril. Esta conferencia también se enmarcaba dentro del programa de doctorado «Exobiología» que se estuvo desarrollando durante el curso académico 2002-2003 en la Universidad de la Laguna, y en el que participaba el Instituto de Astrofísica de Canarias junto con los Departamentos de Biología y Geología.

METEORITOS Y ASTROBIOLOGÍA Los orígenes del Sistema Solar

METEORITOS Y ASTROBIOLOGÍA

Los orígenes del Sistema Solar

ENTREVISTA CON JESÚS MARTÍNEZ-FRÍAS



¿Qué información aporta el estudio de los meteoritos a la Biología?

“Los meteoritos han caído desde siempre en nuestro planeta, y son portadores de información de otros lugares del Sistema Solar, e incluso de su formación. La primera vez que se propuso que los meteoritos tenían un origen extraterrestre fue en 1794 por mediación de Chiandí. Por esta idea fue apartado de los círculos científicos y sociales de su época, e incluso el famoso químico Lavoisier criticó duramente su teoría afirmando que «la caída de piedras del cielo es físicamente imposible».

La unión de meteoritos y la Astrobiología es importante por cuatro razones fundamentales:

- 1.- El material del que están formados da información de la composición primigenia de la nebulosa protosolar y de los diversos procesos por los cuales fue pasando hasta la formación de los planetas.
- 2.- Además, algunos de los meteoritos provienen directamente de asteroides o de otros planetas, como Marte o la Luna, obteniéndose importante información sobre la composición química de dichos objetos.



Impacto de un meteorito sobre la Tierra. © NASA.



Siderito extraterrestre de 232 kg caído en el Sáhara hace 70 años. Propiedad del Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife. Foto: Luis Cuesta (IAC).

- 3.- Los impactos de grandes meteoritos en épocas pasadas parecen estar ligados a extinciones en masa. Pero por otro lado fueron de vital importancia para la formación de la primitiva atmósfera terrestre al liberar el gas que se había condensado bajo la superficie al enfriarse la corteza.
- 4.- Por último, también es importante para la exploración astrobiológica de Marte.”

¿Qué diferencias hay entre meteorito, meteoro y meteorioide?

“Un meteoro es el trazo fugaz que observamos en el cielo, provocado por la entrada de granos de polvo en la atmósfera. Estos granos de polvo, cuyos tamaños medios son del orden de micras, «excitan» el gas circundante, y como consecuencia se obtiene el fenómeno luminoso conocido

como «estrella fugaz». Si el objeto es lo suficientemente grande como para alcanzar el suelo y es recogido, tenemos un meteorito. Antes de entrar en la atmósfera, estos objetos son llamados «meteoroides», y provocarán estrellas fugaces muy brillantes (bólidos) que pueden ser observados desde una zona muy amplia de la superficie.”

¿Cuántos tipos de meteoritos existen?

“Los meteoritos pueden clasificarse en tres tipos. Por un lado, tenemos el *polvo interplanetario*, a veces también conocido como «*micrometeorito*», que puede provenir de asteroides, de cometas

(como en las famosas lluvias de estrellas) o cósmico (de la nube primigenia o de fuera del Sistema Solar). Se estima que caen varias toneladas al mes de material extraterrestre en forma de polvo interplanetario. Una de sus características más notables es la aparición de los denominados GEMS, vidrio embebido con sulfuros de metales.

Otro tipo de meteoritos son los *asteroidales*, que se pueden subdividir en tres clases: los formados principalmente de piedra (lititos o aerolitos), de metales, predominando el hierro (sideritos) y los que son una mezcla de ambos tipos (siderolitos). Por supuesto, de cada uno de ellos aparecen más subdivisiones, formándose una extensa nomenclatura meteorítica. Los lititos, por ejemplo, se subdividen en condritas (poseen pequeñas inclusiones de estelas de olivino, que es un silicato de magnesio y hierro, denominadas cóndrulos) y acondritas (sin cóndrulos). Se encuentra una clara correspondencia entre estas clases y algunos asteroides, pudiéndose afirmar que algunos de ellos son meteoritos gigantes. Así, 3 Juno es un enorme siderolito, 4 Vesta una acondrita (subtipo de los lititos) basáltica, 228 Bamberg es una condrita carbonácea y 433 Eros una acondrita normal.



El tercer tipo de meteoritos se denominan de tipo *planetario*, porque sus orígenes están en planetas rocosos, sobre todo de Marte o la Luna, que al ser golpeados por un meteorito grande eyectan trozos de material al espacio, que luego pueden caer sobre nuestro planeta. De los más famosos de esta clase está el meteorito ALH84001, que proviene de Marte.”

Condrita. Propiedad del Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife. Foto: Luis Cuesta (IAC).

¿Dónde están? ¿Cómo se reconocen?

“Se han llevado a cabo varias expediciones internacionales para buscar meteoritos en zonas con poca vegetación y donde se produzcan pocos cambios climáticos, como en la Antártida o el desierto de Atacama (Chile), donde la estabilidad del lugar permite la acumulación de meteoritos durante un largo período de tiempo, aumentándose la probabilidad de encontrarlos. Las morfologías y texturas de los meteoritos son muy variadas. Existe una compleja metodología de análisis que permite caracterizar y clasificar cada nuevo meteorito, además de descartar las piedras que tienen un origen terrestre. También se pueden hacer estimaciones de la edad del ejemplar usando algunas relaciones entre isótopos radioactivos.



Se ha estimado que, al año, caen sobre la Tierra unos 26.000 meteoritos con una masa mayor de 100 gramos. El 70% cae en los océanos, y el 30% restante aparece distribuido regularmente por la superficie. Suelen caer por la tarde o por la noche, como consecuencia de la combinación de los movimientos de rotación y traslación de la Tierra. Los meteoroides que entran en la atmósfera durante el día suelen salir rebotados fuera del planeta. Aunque como hemos visto se encuentran más fácilmente en la Antártida, por cada 3 meteoritos que caen en este lugar han caído 4 en el Ecuador. Esto también se debe a los propios movimientos de la Tierra.”

Cóndrulo Dar al Gani 862, encontrado en Libia en 1999. © SaharaMet 1999.

METEORITOS Y ASTROBIOLOGÍA **Los orígenes del Sistema Solar**

ENTREVISTA **CON JESÚS MARTÍNEZ-FRÍAS**



¿Qué son los cráteres meteoríticos?

“Planetas como Mercurio, Marte o la Luna, además de la mayoría de los satélites de nuestro sistema planetario poseen cantidad de cráteres de impacto, pruebas irrefutables de que la actividad meteorítica ha sido constante durante la evolución del Sistema Solar y aún no ha cesado. Hasta hace unos 25 años se pensaba que todos los cráteres de la Tierra eran debidos al vulcanismo, pero ya hemos demostrado que esto no es cierto, siendo capaces de identificar alrededor de 150 cráteres de impacto en la superficie terrestre. Uno de los más famosos, sin duda por su espectacularidad, es el Cráter Meteor en Arizona, con un diámetro de 1.300 m y profundidad de 175 m. Se estima que tiene unos 25.000 años de edad. También es famoso el Cráter Ries, en la cuenca de Nördlingen (Alemania), de 12 km de ancho y producido por el choque de un meteorito vítreo hace unos 15 millones de años. En el lugar se ha hallado un material compuesto de cristales de cuarzo y carbono, denominado “suevita”, que se cree se formó durante las altas presiones y temperaturas que sucedieron al impacto.”

¿Por qué no son tan evidentes los cráteres de impacto sobre nuestro planeta?

“La respuesta es muy sencilla: la Tierra posee un potente mecanismo de remodelación de la superficie terrestre, las placas tectónicas, que borra en varios cientos de millones de años los cráteres. Además, esta acción se combina con los efectos de la erosión por agua, hielo y viento. Estos mecanismos no tienen lugar en Marte o la Luna. También era importante la vegetación que ocultaba el cráter, pero gracias a los ingenios espaciales esto ha dejado de ser un problema, al igual que cráteres sumergidos bajo el agua. Puede que una de la mejores muestras de este tipo sea el recientemente descubierto cráter Chicxulub, junto a la península del Yucatán, y que se cree fue el responsable de la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años. Este cráter, muy borrado pero aún detectable, tiene 170 km de longitud, aunque algunos científicos creen que alcanza los 300 km.

La extinción de los dinosaurios ha sido la última de al menos 10 extinciones masivas producidas con anterioridad. Ésta se produjo en el denominado límite cretácico/terciario (K/T), que además corresponde en los estratos geológicos con una fina capa de iridio, un material raro en la Tierra y abundante en algunos meteoritos. Precisamente, ésta fue la prueba con la que se pudo afirmar

que fue un gran meteorito el responsable de la extinción del 70 % de las especies vivas, incluidos los dinosaurios. También se tienen evidencias de extinciones en la frontera entre el jurásico y triásico, entre el pérmico y el triásico (fue la que extinguió a los trilobites), en el devónico y en el cámbrico. El estudio de estas extinciones parecía sugerir un ciclo periódico de entre 25-30 millones de años, por lo que se especuló que podía existir una estrella enana compañera del Sol que perturbara cada cierto tiempo

*Cráter Meteor en el Norte de Arizona. El impacto se produjo hace 25.000 años por un meteorito de 50 m, a 40.000 km/h. El cráter mide 1.300 m por 175 m de profundidad.
© Meteor Crater Enterprises, Arizona.*



la Nube de Oort (los restos de la formación de nuestro sistema planetario, a medio año-luz) y enviase una gran cantidad de cometas hacia las regiones interiores. Pero esta supuesta estrella compañera, conocida con el nombre de la diosa griega de la venganza, Némesis, nunca se encontró, incluso al realizarse observaciones minuciosas en su búsqueda. La teoría más aceptada actualmente sobre este posible ciclo es que las perturbaciones en la nube de Oort son debidas al paso del Sistema Solar por las grandes nubes moléculas situadas en el plano de la Galaxia, algo que sucede aproximadamente cada mismo intervalo de tiempo.”

¿Ha habido meteoritos importantes en el siglo XX?

“Durante el siglo XX se han ido sucediendo los impactos meteoríticos en la Tierra. Quizás el más famoso fue el caso de Tunguska, en la Siberia rusa, en 1908. La explosión y el resplandor de luz se pudo observar a miles de kilómetros de distancia. En 1910 una expedición viajó al lugar para estudiar lo sucedido. Encontraron los árboles arrojados radialmente, mucha agua pero ni rastro del meteorito, que ni siquiera dejó un cráter. Análisis posteriores sugieren que el causante del suceso fue un trozo de cometa, que además explotó en el aire. En 1920 se descubrió en Hoba (Namibia) un enorme meteorito de casi tres metros de alto y de 60 toneladas de peso. El 30 de noviembre de 1954, una mujer fue golpeada por un meteorito. En España se tienen evidencias de dos impactos seguros: en Ojuelos Altos (Córdoba) y en Cangas de Onís (Asturias). En total, se conocen 25 meteoritos caídos en territorio español.”

¿Qué ha supuesto el caso de ALH84001?

“Gracias a los estudios de los cerca de 400 kg de material que los Apollo trajeron de la Luna, se han podido reconocer 26 meteoritos provenientes de nuestro satélite. Sin embargo, dentro de la clase de meteoritos planetarios los más famosos son los que provienen de Marte. Sólo se han podido identificar 26 meteoritos marcianos (en realidad son 14, algunos provienen del mismo objeto). Se sabe que provienen de planeta rojo por el estudio de las relaciones entre los compuestos químicos encontrados en ellos, que descartan su procedencia terrestre o lunar, siendo parecidas a las que existen en Marte.

Dentro de los meteoritos marcianos, el más importante ha sido el etiquetado ALH 84001 (ALH proviene de Allan Hills). Se encontró en la Antártida en 1984, y se sabe que es de Marte porque la composición química de los gases atrapados es similar a la atmósfera marciana, medida por las sondas Viking en 1976. Se cree que proviene de un asteroide que chocó con Marte hace 16 millones de años, y que estuvo orbitando en el Sistema Solar interior hasta caer hace 13.000 años. Se trata de un ortopiroxeno, un mineral relativamente frecuente en la Tierra. Posee carbonatos, un tipo de precipitados que se crean en presencia de agua. De aquí se pudo deducir que en la antigüedad pudo existir agua líquida en Marte.

El segundo gran descubrimiento que se realizó con este meteorito fue el hallazgo, dentro de los carbonatos, de estructuras parecidas a fósiles de microorganismos de origen bacteriano. Pero se demostró que estas estructuras podrían formarse sin necesidad de seres vivos. Un nuevo análisis en la década de los noventa reveló la presencia de cadenas de cristales magnéticos que no habrían sobrevivido fuera de un organismo vivo. Estas estructuras se parecen a las que dejan las bacterias *Magnetospirillum* para orientarse en su búsqueda de oxígeno. Este descubrimiento causó un gran revuelo a escala mundial, dividiendo a la comunidad científica internacional e iniciando un debate que aún no se ha cerrado.

Lo que sí parece cada vez más cierto es que Marte tuvo un ciclo hidrológico parecido al terrestre. Incluso se sospecha que el hemisferio norte del planeta albergó un gran océano. Algunos astrobiólogos han llegado a afirmar que, en caso de existir este océano, y gracias al potente vulcanismo que antaño caracterizó a Marte, podría haber surgido la vida en fuentes hidrotermales, como sucede en los océanos de la Tierra. El debate continúa: ¿existió vida en el Planeta Rojo?”



Magacriometeoro.
© Seprona-J.M. Frías.



Chimenea hidrotermal submarina.
© The American Museum of Natural History.

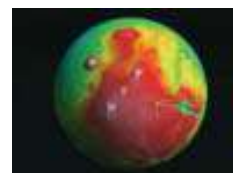
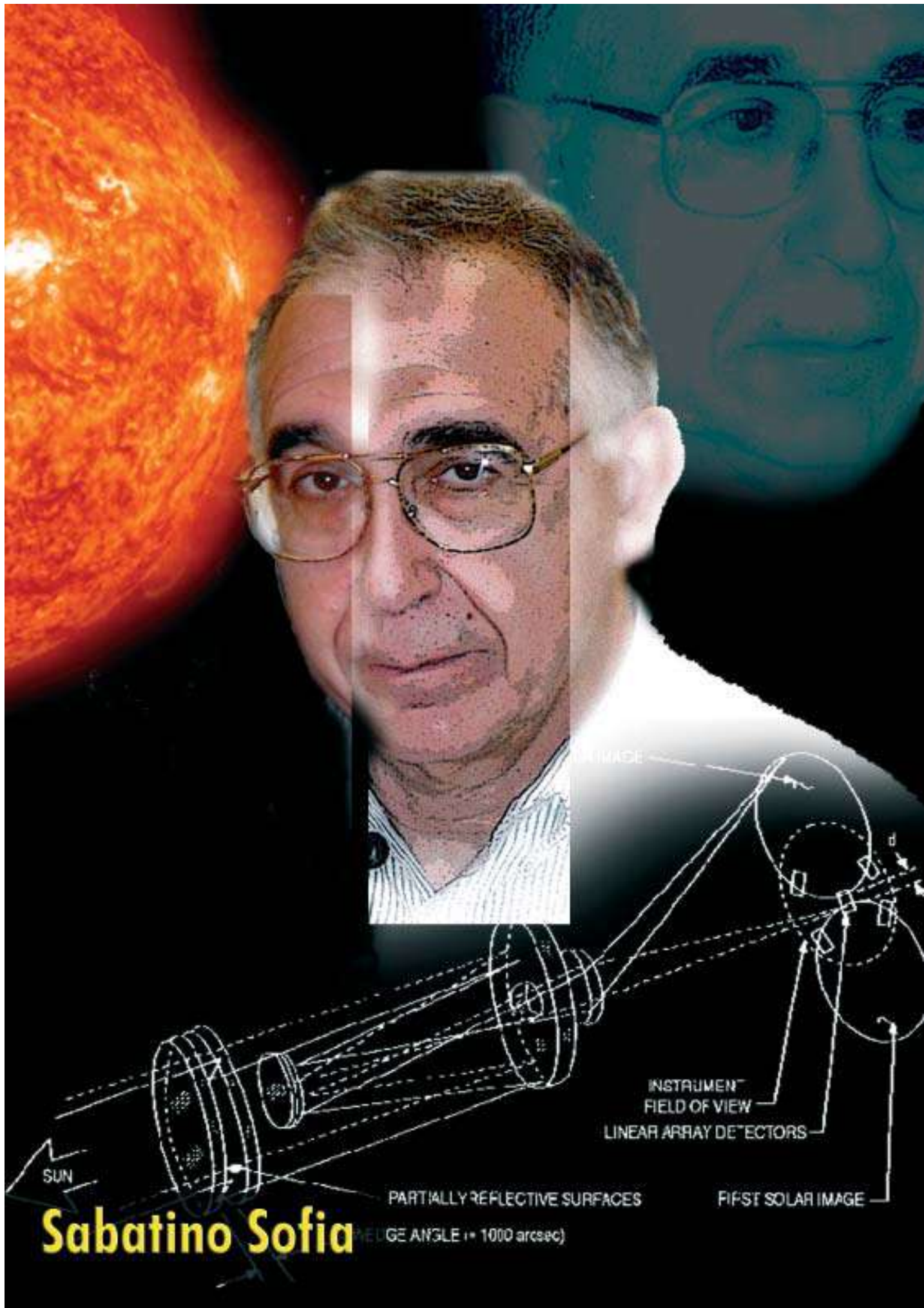


Imagen de Marte.
© NASA.

ÁNGEL R. LÓPEZ SÁNCHEZ (IAC)



Sabatino Sofia

PARTIALLY REFLECTIVE SURFACES

INSTRUMENT
FIELD OF VIEW
LINEAR ARRAY DETECTORS

FIRST SOLAR IMAGE

WEDGE ANGLE (≈ 1000 arcsec)

SABATINO SOFIA



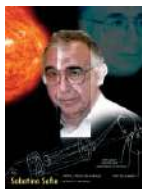
Departamento de Astronomía de la Universidad de Yale (Estados Unidos)

En marzo de 2003, el Profesor Sabatino Sofia, miembro del Departamento de Astronomía de la Universidad de Yale (EE.UU.), visitó el Instituto de Astrofísica de Canarias. No era la primera vez, también había participado en la Euroconferencia «The Solar Cycle and Terrestrial Climate», celebrada en Tenerife en septiembre de 2000. Durante su última estancia en el IAC, impartió dos conferencias: una de carácter divulgativo en el Museo de la Ciencia y el Cosmos -que transcribimos a continuación en forma de entrevista adaptada- y un seminario para los científicos del IAC. Su campo de investigación es la variabilidad del interior solar, tema abordado desde el punto de vista teórico y observacional, así como el estudio de los posibles efectos climáticos que estas variaciones pueden tener en la atmósfera terrestre.

EL INTERIOR DEL SOL Variabilidad y efectos climáticos

INTERIOR DEL SOL **Variabilidad y efectos climáticos**

ENTREVISTA CON SABATINO SOFIA



¿Por qué estudiamos el Sol?

“Al fin y al cabo, el Sol sólo es una de alrededor de trescientos mil millones de estrellas que forman parte de nuestra galaxia, y existen miles de millones de galaxias en el Universo. Sin embargo, el Sol es para nosotros un astro muy especial porque es *nuestra* estrella, y responsable última de nuestra existencia. De esta estrella cercana nos llega prácticamente toda la energía de que disponemos, sin la cual la vida sobre la Tierra sería imposible y el mismo planeta no existiría. Visto desde este punto de vista antropocéntrico, es importante estudiar el Sol. Pero podríamos citar otros tipos de razones por las que los seres humanos nos esforzamos por comprender cómo funciona: estudiamos el Sol por motivos culturales, porque es fuente de ciencias básicas y porque tiene importantes efectos directos sobre la Tierra.

Desde la remota antigüedad, se ha adorado al Astro Rey, al ser dador de luz y calor. Desde tiempos inmemoriales, su recorrido diario a través del cielo ha fascinado al hombre, mitificándolo como dios y sirviendo de base para crear una útil herramienta, el calendario, una vez desarrollados los conceptos de hora, día y año. Ha sido un referente único para conceptos filosóficos y religiosos, se han escrito poemas, libros y canciones sobre él. Se ha representado en esculturas, pinturas y edificios importantes. La cultura de las diferentes civilizaciones a lo largo de nuestro mundo rebosa de referencias al Sol.

Si nos situamos en el punto de vista científico, nuestra estrella ha sido fuente de ciencias básicas a lo largo de toda la Historia. Aparte de su utilidad calendárica, sirvió para demostrar que nuestro planeta no era plano, sino esférico. Ya en la antigua Alejandría macedónica, Eratóstenes llegó a calcular el radio de la Tierra gracias a la sombra que los obeliscos egipcios proporcionaban a distintas latitudes. Fue entonces cuando se comprendió que girábamos alrededor de él, y no viceversa. Sin embargo, el modelo heliocéntrico fue postergado, y durante más de mil años la hipótesis geocéntrica de Ptolomeo fue la aceptada (o la impuesta). Copérnico, Brahe, Galileo y Kepler recolocaron el Astro Rey en el lugar que le correspondía, provocando el cambio de paradigma científico más importante de la Historia, y abriendo camino a la exitosa teoría de la Gravitación Universal de Newton. En la actualidad, el Sol continúa siendo vital para el estudio de los fenómenos físicos. Uno de los grandes logros de la Astrofísica es la comprensión del ciclo de vida estelar, y el conocimiento de que, dentro de 1.000 millones de años, nuestra estrella emitirá tanta energía que la vida en la Tierra será imposible, transformándose paulatinamente en una gigante roja. Pero el fin último del Sol, dentro de unos 4.500 millones de años, será una nebulosa planetaria, en cuyo interior descansará una enana blanca. La física de plasmas, la magneto-hidrodinámica y la física nuclear se han desarrollado gracias al esfuerzo de entender cómo funciona el Sol. Un gran éxito fue encontrar la fuente de energía de las estrellas, la fusión termonuclear, en la que cuatro núcleos de hidrógeno se funden para proporcionar uno de helio, y energía. Este tipo de energía nuclear por fusión es eventualmente la solución al problema energético al que el mundo se precipita.

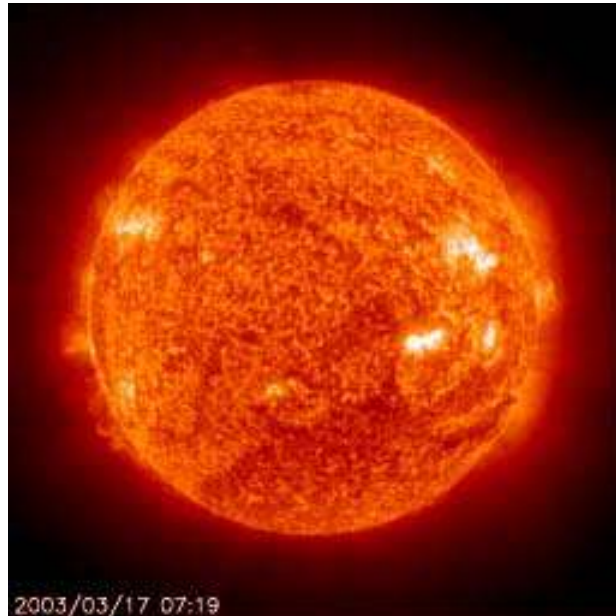
Más recientemente, el Sol ha sido banco de pruebas para la física de partículas, sobre todo para el estudio de los escurridizos neutrinos. En las últimas décadas del siglo pasado se pensaba que esta partícula elemental, de la que existen tres clases y aparece muy involucrada en los procesos de fusión nuclear, no tenía masa. Las dificultosas detecciones de neutrinos provenientes del Sol no concordaban con las cantidades teóricas predichas por los modelos solares: eran tres veces menor de lo esperado. Los físicos de partículas sostenían que el problema era de los modelos astrofísicos del interior solar; los astrofísicos argüían que el fallo era de los modelos de partículas. Recientemente se ha demostrado que el neutrino tiene masa, propiedad que hace que el neutrino pueda «cambiar» entre sus tres clases posibles. Científicamente, este fenómeno se conoce como *oscilaciones de*

neutrinos. Como nosotros detectamos mayoritariamente sólo un tipo de neutrino (el neutrino del electrón), el factor tres de las observaciones solares es correcto. El problema está resuelto.”

¿Qué efectos tiene el Sol sobre la Tierra?

“Los efectos del Sol sobre la Tierra son evidentes. Continuamente recibimos su luz. Algunos fotones alcanzan la superficie terrestre: son los que nos proporcionan la vista en el rango óptico del espectro. Otras radiaciones son absorbidas, como la poderosa radiación ultravioleta. Una fina capa de ozono es capaz de retener este tipo de luz, protegiendo la vida. Las partículas más energéticas del viento solar también llegan a las inmediaciones terrestres, pero son desviadas por el campo magnético terrestre. En los momentos de máxima actividad solar, estas partículas son capaces de destruir satélites y matar astronautas en órbita. El campo magnético terrestre es más débil en los polos, por donde se cuelan estas partículas energéticas, dando lugar a las famosas auroras boreales y australes. Las pequeñas variaciones en el Sol debido al ciclo solar de 11 años hacen calentar más la atmósfera terrestre. Ésta se expande, alcanzando mayores alturas, y «frenando» a los satélites que se encuentran en órbitas bajas. Si el descenso de velocidad es muy acusado, pueden llegar a caer hacia la superficie. Por este motivo, los satélites deben empujarse hacia fuera cada cierto tiempo. Actualmente, tras el desastre del Columbia y la parada de los lanzamientos tripulados, la misma Estación Espacial Internacional correría este peligro si su órbita no se corrigiera en varios meses.

Una de las causas más importantes por las que interesarse en estudiar la variabilidad solar es por su efecto directo sobre nuestro planeta. Desde el descubrimiento de las manchas solares sobre la fotosfera solar por Galileo, se observó que en algunos años aparecían más manchas o grupos de manchas que en otros, encontrándose un ciclo de once años. Cuando se alcanzan momentos de mayor número de manchas, se tiene un máximo de la actividad solar, y se suceden las fulguraciones y protuberancias, la atmósfera solar se expande, y se incrementan las tormentas magnéticas. En el último siglo se ha podido estudiar con más detalle la actividad solar, encontrándose que la variación de la irradiación solar a lo largo del ciclo de 11 años es de sólo 0,1%. ¿Afecta sobre la temperatura media terrestre? Puede ayudarnos a responder a esta pregunta el hecho de que en el siglo XVII un período de varias décadas de bajos máximos solares correspondía a una pequeña edad de hielo en la Tierra, en la que se sucedieron las bajas temperaturas. A este período se le conoce como «Mínimo de Maunder», durante el que la radiación solar fue entre 0,2 y 0,3% menor de lo que es en la actualidad. Debería existir alguna relación entre el descenso de la radiación solar y la bajada de la temperatura media terrestre.



Una imagen reciente del Sol (17 de marzo) en ultravioleta, obtenida por el satélite SOHO. © ESA

Sabemos que uno de los problemas medioambientales más serios en la actualidad es el calentamiento global de la Tierra debido fundamentalmente al efecto invernadero. Pero vamos a ver que este calentamiento también está asociado a la variabilidad solar.”

¿Por qué necesitamos comprender la variabilidad solar?

“Cualquier fenómeno que aparece en la superficie solar viene del interior. El campo magnético del interior solar, muchas veces ignorado por los modelos al igual que otros fenómenos como la rotación, tiene efectos pequeños pero importantes en los parámetros físicos del interior solar

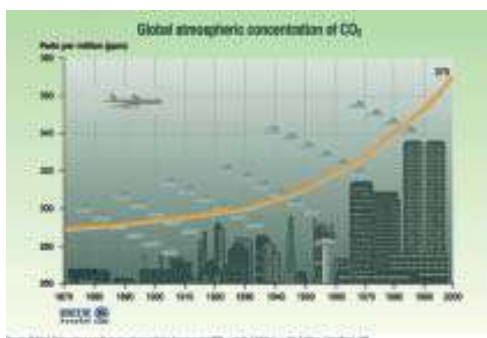
INTERIOR DEL SOL **Variabilidad y efectos climáticos**

ENTREVISTA CON SABATINO SOFIA



(presión, energía interna, convección, turbulencia). Estas variaciones se traducen en cambios en las variables externas de la estrella, como el radio, la temperatura efectiva, la luminosidad y la irradiancia total emitida. Pero no se conocen aún los órdenes de magnitud de este fenómeno. Para cuantificar estas variaciones internas se desarrollan técnicas que permiten estudiar con detalle las oscilaciones solares, esto es, la forma que tiene el Sol de vibrar. El estudio de las oscilaciones solares es parecido al realizado para conocer cómo es el interior terrestre a través de los terremotos, y se conoce con el nombre de “Heliosismología”.

La variabilidad solar tiene varias propiedades. Una de las más importantes es la escala de tiempo en el que ocurren las variaciones, siendo la más destacada el período del ciclo solar de 11 años. Pero también se están encontrando ciclos menores y mayores, que incluso pueden alcanzar los 1.000 años. Por otro lado, no se conoce la energía total de las variaciones puesto que, aunque sean pequeños cambios, se podrían traducir en grandes efectos. Algunos rasgos de variabilidad interna podrían ser difíciles de detectar observacionalmente con los medios actuales. Basta mostrar como ejemplo el cambio en la sensibilidad de los radiómetros, tanto terrestres como espaciales, a lo largo de los años. Actualmente, se suelen asociar estos pequeños cambios con problemas instrumentales, pero podrían ser en parte reales. Para complicarlo todo aún más, la variabilidad del interior solar puede estar relacionada con la variabilidad externa asociada a las manchas y fáculas superficiales. Y existen problemas a la hora de conseguir los datos reales de la irradiancia total, puesto que distintos instrumentos proporcionan al mismo tiempo valores distintos, siendo difícil de calibrar.”



Evolución de la concentración de CO₂ durante los últimos 130 años. Datos del observatorio de Mauna Loa, en Hawaii.

principales que rigen el interior del Sol: la conservación de la masa, del momento, de la energía y el transporte energético. Esto se consigue añadiendo dos nuevos parámetros que dan cuenta del campo magnético y la turbulencia. Las ecuaciones de estructura así obtenidas son similares a las estándares, pero ahora aparece un término de dinamo, que puede tener grandes efectos: un campo magnético interno variable puede afectar a los parámetros globales. Los modelos numéricos que mejor reproducen las observaciones son aquellos en los que la densidad de energía magnética es equiparable a la energía que procede del movimiento turbulento. Este resultado parece bastante razonable, puesto que ambos factores están muy relacionados: el campo magnético induce el movimiento de las partículas, y éstas al moverse inducen campo magnético.”

¿Ocurren realmente estos cambios estructurales internos?

“Las observaciones indican que sí. Por ejemplo, se detectan variaciones de la temperatura fotosférica, alcanzándose incluso variaciones en un 0,1% al día (recordemos que es el mismo valor de la variación que se tiene a lo largo de todo el ciclo solar) que en parte parecen explicarse por los cambios internos. También se producen cambios en el radio del Sol y variaciones de las oscilaciones del interior solar, además de diferencias de la irradiancia total entre dos períodos de mínima actividad.

Para tratar matemáticamente la acción de los campos magnéticos en el interior estelar, deben adaptarse las cuatro ecuaciones

¿Existe el cambio climático? ¿Lo ha provocado la actividad humana?

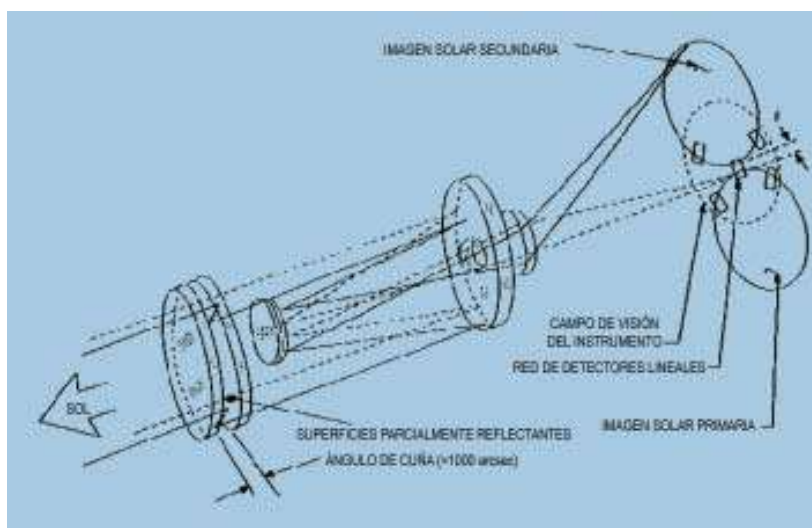
Los gases invernadero, fundamentalmente el dióxido de carbono, CO₂, y el vapor de agua, pero también otros como el óxido de nitrógeno (NO₂), el metano (CH₄), los clorofluorcarbonatos

(CFCs) y el ozono (O_3) retienen la radiación infrarroja que emite el suelo como consecuencia de la incidencia directa de la radiación solar sobre la superficie. Sin los gases invernadero, esta radiación infrarroja se escaparía hacia el espacio. Un poco de efecto invernadero es bueno: si no existiera, la Tierra sería un mundo cubierto de hielo. Pero el crecimiento constante de la concentración de los gases invernadero, sobre todo dióxido de carbono, hace aumentar la temperatura media de la atmósfera terrestre. Este hecho está actualmente totalmente comprobado, como se observa en las gráficas que muestran la variación de la concentración de CO_2 en los últimos 150 años. Este crecimiento no es lineal, sino exponencial. El problema es realmente grave.

El año pasado se reunieron en Shanghai los científicos internacionales más importantes en el estudio del cambio climático, alcanzándose dos conclusiones fundamentales. La primera, que la mayoría del calentamiento observado durante los últimos 50 años es debido a gases de efecto invernadero. La segunda, que el calentamiento para 2100 será entre $1,4^\circ$ y $5,8^\circ$ si sólo se doblase la concentración actual de CO_2 en 100 años. Una subida de $1,4^\circ$ durante este siglo es un problema serio, pero subir $5,8^\circ$ sería un desastre total. El calentamiento se realiza sobre todo en latitudes altas, provocando el deshielo de los polos y el consecuente aumento del nivel de los océanos como resultado de la fusión de enormes cantidades de hielo continental. La faz de la Tierra cambiaría totalmente, muchas islas desaparecerán, y grandes ciudades costeras quedarán bajo el agua. Además el cambio climático desastroso asociado a este aumento de la temperatura atmosférica media induce un desecamiento de las zonas continentales lejanas de los océanos, ampliándose los desiertos interiores, y una subida de la humedad en las zonas costeras, que se traducen en el incremento descontrolado de las lluvias y fenómenos atmosféricos violentos como huracanes. Ambas variaciones, destacando ésta última, están sucediendo ya.”

¿Podemos prever qué ocurriría si doblamos la concentración actual de dióxido de carbono mediante los modelos climáticos de que disponemos?

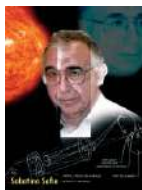
“Diseñar un modelo climático de la atmósfera terrestre es un trabajo arduo por la complicación de conocer los propios elementos que intervienen (masas de aire, océanos, masas continentales), todos los parámetros internos (temperatura media atmosférica, densidad, nubes, humedad, dinámica atmosférica) y externos (radiación solar, cobertura vegetal, aerosoles liberados por volcanes, efecto invernadero) implicados, además de todas las interrelaciones que surgen entre ellos. Los ordenadores actuales más potentes tardan cerca de medio año en obtener resultados de los modelos numéricos climáticos. Se suelen despreciar los efectos del Sol en dichos modelos, pero recientes estudios detallados con códigos numéricos que sí incluían el efecto de la variabilidad solar concluyen que es importante tenerlo en cuenta, siendo además necesario para calibrar los datos numéricos con las observaciones. No obstante, el mayor problema para obtener una buena calibración sigue siendo que no se conoce con precisión cuál ha sido la variación solar debida a cambios internos en el último siglo, porque es algo que se ha comenzado a investigar hace muy poco tiempo.”



Esquema del funcionamiento óptico del instrumento principal del Sextante del Disco Solar del Prof. Sabatino Sofia, basado en la técnica de múltiples reflexiones. 5 detectores miden con precisión la separación entre las dos reflexiones principales. De ahí se puede obtener el radio solar en cualquier momento con muy pequeños errores.

INTERIOR DEL SOL **Variabilidad y efectos climáticos**

ENTREVISTA CON SABATINO SOFIA



¿En qué consiste el experimento del Sextante del Disco Solar?

“La radiación solar puede variar tanto por fenómenos superficiales (manchas, fulguraciones, campos magnéticos fotosféricos) como por fenómenos internos que, como ya hemos comentado, son difíciles de medir. No obstante, la teoría indica que estas variaciones internas deben afectar a parámetros medibles observacionalmente, como la temperatura fotosférica, el radio solar y la energía emitida, además de en las propias oscilaciones solares. Durante la pasada década, en el departamento de Astronomía de la Universidad de Yale (EE.UU.) hemos llevado a cabo un experimento, que conseguía medir pequeñas variaciones del radio solar, superando en más de 100 veces la precisión de las estimaciones anteriores. Dicho experimento, que recibió el nombre de *Solar Disk Sextant* (SDS, Sextante del Disco Solar), también medía la forma del disco solar y sus variaciones temporales. Se lanzaba en un globo aerostático sobre el desierto de Nuevo México, alcanzando una altura de 36 km, para minimizar problemas debidos al movimiento de las capas de aire de la atmósfera. La precisión del experimento es tan asombrosa que en sólo 20 minutos se consiguió medir el cambio aparente del disco solar por el movimiento propio de la Tierra en su órbita elíptica (se acercaba al perihelio, y el disco solar se incrementaba). Uno de sus resultados más importantes es que en los momentos de menor número de manchas solares, el radio del Sol aumenta. Este cambio es debido a lo que ocurre en el interior estelar.

Sin embargo, para contabilizar la variación del radio solar con precisión se necesitan largos períodos de tiempo. De esta forma, el equipo está realizando una ardua labor recopiladora de medidas de tiempos de eclipses totales y tránsitos de Mercurio, muchas de ellas tomadas por astrónomos aficionados. Si se puede estimar la franja exacta de la totalidad para cada eclipse solar, se puede conocer el radio del Sol, conociendo previamente la posición exacta de cada observador y la distancia a la que la Luna se encuentra de la Tierra en el momento del eclipse. Aunque se llevan estudiados eclipses desde 1715, año en el que Halley predijo uno que cruzó Inglaterra, uno de los casos más curiosos que se han recopilado fue el ocurrido a mitad del siglo XX sobre Nueva York. Una de las compañías eléctricas de la ciudad quiso hacer un estudio del mismo, para conocer en qué lugares de la ciudad se llegaba a la totalidad, y dónde no. Se colocaron empleados cada pocas calles, de tal forma que cada uno contabilizó la duración de la fase de la totalidad, en caso de llegarse a producir. Así, se estimó con precisión de metros el límite sur de la sombra de la Luna. Pero en el límite norte no se tenían medidas. Casualmente, encontramos una referencia de un astrónomo que envió una carta a una revista de aficionados pidiendo disculpas al no poder obtener unos ansiados espectros de la cromosfera solar, porque el eclipse sólo duró 5 segundos desde su lugar de observación. Conociendo la posición de este astrónomo, justo a unos 80 km al norte de Nueva York, se determinó con un margen de error de 50 m el límite norte de la totalidad y, de ahí, el radio del Sol aquel día.



Experimento del Prof. Sabatino Sofia.

En conclusión, aunque a veces nos preguntamos la utilidad real que tienen los estudios de Astrofísica para la vida cotidiana, encontramos que en el caso del Sol este estudio es eminentemente práctico. Y de gran importancia además, pues del caprichoso comportamiento de nuestra estrella, ese Astro Rey adorado por todas las culturas a lo largo del mundo, depende totalmente nuestra existencia. Debemos esforzarnos por comprender lo que ocurre en su interior. Por nuestra propia seguridad.”

ÁNGEL R. LÓPEZ SÁNCHEZ (IAC)

RATIFICACIÓN DEL ACUERDO ENTRE EL ING Y EL IAC

Fecha 7/5/03

Firma del convenio de cooperación para la operación del Grupo de Telescopios «Isaac Newton» (ING) entre el IAC, el Consejo de Investigación de Física de Partículas y Astronomía (PPARC) y el Consejo de Investigación Científica de los Países Bajos (NWO). Por medio de este convenio, el IAC, por parte de España, se incorpora como socio a la operación del ING con el PPARC y el NWO. El efecto inmediato más importante es que los telescopios del ING permanecerán actualizados y que la comunidad astronómica española dispondrá de un tiempo adicional de observación significativo. Este tiempo se empleará fundamentalmente en preparar la ciencia que se hará con el Gran Telescopio CANARIAS (GTC). En la contribución española figura un instrumento para uso común, llamado LIRIS (un espectrógrafo para el infrarrojo de rendija larga y resolución intermedia con un sistema de imagen) para el Telescopio «William Herschel».

Como beneficios adicionales, señala la apertura de una vía que permita establecer vínculos más estrechos, tanto científicos como de operación beneficiosos para el GTC, de 10 m, así como sentar las bases para una mayor colaboración internacional en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, dentro de un marco europeo más amplio.

Existen buenas perspectivas para una colaboración mucho más amplia a escala europea, a la vista de las actuales negociaciones orientadas a coordinar y racionalizar el uso de los telescopios de tamaño medio en Europa y, lo que es más importante, al futuro desarrollo por parte de Europa de telescopios extremadamente grandes. El Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, en tanto que es un lugar para la observación de primer orden a escala mundial y único buen emplazamiento en territorio europeo para grandes telescopios óptico-infrarrojos, tiene muchas ventajas

para albergar el futuro telescopio súper-gigante europeo. Tal iniciativa involucraría a muchos países europeos que ya han empezado a discutir el tema.

ACUERDO PARA LA INSTALACIÓN DEL TELESCOPIO LIVERPOOL

Fecha 6/5/03

Firma del acuerdo entre el IAC y la Universidad John Moores de Liverpool, con el consentimiento del PPARC, como parte firmante del Protocolo, para la instalación y operación del Telescopio Liverpool (LT) en el Observatorio del Roque de los Muchachos, La Palma.

Una parte significativa del tiempo de observación se dedicará a fines docentes, con la participación de instituciones españolas.

ACUERDO CON LA UNIVERSIDAD DE BRADFORD

Fecha 6/5/03

Firma del acuerdo entre la Universidad de Bradford y el IAC para la instalación del telescopio robótico Bradford en el Observatorio del Teide, en Tenerife.

Este telescopio es de los llamados “de programa único”, en el que tienen derecho de participación los astrónomos españoles. También, este telescopio robótico está destinado a llevar a cabo proyectos de investigación y permitir a las escuelas e institutos del Reino Unido y de España obtener tiempo para observaciones astronómicas. Para ello se contará con colaboradores españoles que traducirán la web en español y la guía CD-Rom de observación.



Representantes de la comunidad astronómica del Reino Unido y de los Países Bajos, con el Director del IAC, en un momento de la firma de los acuerdos.

Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC)

Reunión del Consejo Rector



Miembros del Consejo Rector al comienzo de la reunión. Foto: Luis Cuesta (IAC).

Josep Piqué, Ministro de Ciencia y Tecnología, presidió el pasado 7 de junio, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), el Consejo Rector del IAC, tras visitar las instalaciones del Gran Telescopio CANARIAS (GTC). El 9 de junio, el Ministro visitó también las instalaciones del IAC en La Laguna (Tenerife), acompañado del Director de este Instituto, Francisco Sánchez.



Imagen de la rueda de prensa.
Foto: Jorge Gmelch Ramos (IAC).

el porcentaje que supone la Astrofísica española (5,3%) en el marco de la producción científica mundial.

SOCIEDAD DE DIFUSIÓN CULTURAL

El Ministro destacó como punto importante de la reunión la creación de una sociedad de difusión cultural. El Consejo Rector acordó que se completaran los trámites legales precisos para la creación por el IAC de una sociedad limitada que facilite la divulgación de la Ciencia y

especialmente la Astronomía. Los gastos de los años iniciales para su puesta en explotación serán asumidos por el IAC. Se encomendó al Director del Instituto la realización de las acciones necesarias para su constitución y puesta en marcha, así como establecer los convenios de cooperación necesarios con las administraciones insulares y locales de La Palma y Tenerife a fin de impulsar asociaciones de interés económico que servirán para desarrollar centros y proyectos de divulgación cultural de la Ciencia. De esta manera, se podrá acometer la construcción y operación de dos centros de difusión cultural en los Observatorios del Teide ("Estelario") y del Roque de los Muchachos ("Parque Cultural del Roque de los Muchachos").

En esta reunión se ratificó, entre otros, el acuerdo con el Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING), y se trataron cuestiones de personal. Se aprobó el Plan Estratégico IAC 2004-2007 así como las reglas de funcionamiento y lista de miembros de la Comisión Asesora de Investigación del IAC. Como es preceptivo, el Consejo Rector aprobó la liquidación del presupuesto del IAC de 2002 y el anteproyecto de presupuesto para el 2004. Se mantiene el compromiso de las dos administraciones, el Estado y la Comunidad Autónoma de Canarias, de contribuir con el 70% y el 30% del presupuesto del IAC, respectivamente, que podrían incrementarse con una aportación extraordinaria por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología en concordancia con el compromiso en el Plan de I+D+i para el período 2004-2005, ambos inclusive. El incremento

OTRAS NOTICIAS

presupuestario “refleja –señaló Piqué- la prioridad estratégica que le queremos dar al desarrollo actual y futuro del Instituto y, en general, todo lo que signifique la investigación”.

ASISTIERON:

- Josep Piqué i Camps, Ministro de Ciencia y Tecnología
- José Miguel Ruano León, Consejero de Educación, Cultura y Deportes
- Teodoro Roca Cortés, Vicerrector de la Universidad de La Laguna
- Dolores de la Fuente Vázquez, Subsecretaria del Ministerio de la Presidencia
- Ricardo Melchior Navarro, Presidente del Cabildo de Tenerife
- José Luis Perestelo Rodríguez, Presidente del Cabildo de La Palma
- Francisco Sánchez Martínez, Director del IAC
- Rafael Arny de la Rosa, Administrador de Servicios Generales del IAC.



Visita de Josep Piqué a la sede central del IAC.

Foto: Luis Cuesta (IAC)

Reunión de la Red OPTICON

ENCUENTRO PARA EL FUTURO DE LA ASTRONOMÍA EUROPEA

La red europea de coordinación de la astronomía óptica e infrarroja OPTICON se reunió los días 24 y 25 de enero, en el Hotel Botánico del Puerto de la Cruz, teniendo como anfitrión al IAC. El fin de esta reunión fue definir los objetivos que deberá alcanzar el conjunto de la astronomía europea en esta década y concretar las peticiones al «Sexto Programa Marco de I+D de la Unión Europea».

Se trataba de una reunión de especial trascendencia para el inmediato futuro de esta ciencia, no sólo por el nivel de sus participantes, sino, también, por los temas que se estudiaron en estos dos días. Entre ellos estuvo muy presente la tecnología, ya que para el desarrollo competitivo de la Astrofísica se requiere instrumentación de frontera en todos los campos tecnológicos. También se discutió el proyecto del Súper Gran Telescopio Europeo de más de 50 m de diámetro, que deberá estar operativo a principios de la próxima década, y que podría ser instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), lugar que reúne muchas ventajas para su ubicación.



Los miembros de la red OPTICON, reunidos en el Puerto de la Cruz.

Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

En la reunión celebrada en Chania (Creta), del 3 al 5 de septiembre, tras conocerse la propuesta de financiación que la Comisión Europea ha realizado al Consorcio, se firmará un contrato entre casi un centenar de instituciones para llevar a cabo diversas actividades de coordinación, proyectos de desarrollo tecnológico y acceso coordinado a los telescopios europeos distribuidos por todo el mundo, por un total de financiación de 19,2 M€. Por su parte, el IAC será el responsable de la coordinación del acceso, bajo este contrato, a todos los telescopios europeos incluidos en la propuesta, situados en Canarias y en otros observatorios de todo el mundo.

OPTICON (*Optical Infrared Coordination Network for Astronomy*) es una red financiada por la Comisión Europea y en la que participa el IAC y la Red Académica española. OPTICON pone en contacto a los directivos de los principales centros de investigación y observatorios con los usuarios de infraestructuras astronómicas europeas para identificar desafíos comunes y mejorar el acceso a estas instalaciones en beneficio de toda la astronomía europea.

X Aniversario del Museo de la Ciencia y el Cosmos

Un laberinto de espejos, un coche que se eleva con una palanca, un viaje por la galaxia a través de una pantalla gigante..., un sinfín de módulos que podemos encontrar en el Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife. La interacción es la pieza fundamental de este museo que pretende conseguir el entretenimiento y el aprendizaje directo de la gente que a él acude. Con motivo de su décimo aniversario –el pasado 11 de mayo-, el Museo de la Ciencia y el Cosmos ha ampliado su gama de experimentos para atraer cada vez más a un mayor número de usuarios. Motivo de esta incesante elaboración de nuevos módulos es la creación de la atracción llamada «Turismo Cósmico», un experimento que mezcla la ciencia con la diversión. Este «viaje» a Marte cautivará a todos aquellos curiosos que busquen nuevas emociones en sus vidas.

UNA TRAYECTORIA DE CULTURA CIENTÍFICA EN CANARIAS



*Póster del X Aniversario del Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife.
Diseño: Miriam Cruz.*

El Museo de la Ciencia y el Cosmos, perteneciente al Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, cumplió el pasado 11 de mayo su décimo aniversario. Este museo ha supuesto un hito en la historia de los museos por tratarse del primero en ser promovido por un centro de investigación -el Instituto de Astrofísica de Canarias- y del único de España que crea y fabrica los módulos en sus propios talleres.

A lo largo de estos diez años, 430 actividades científicas se han llevado a cabo en sus dependencias, potenciando así la cultura científica en Canarias. Muchos han sido los experimentos, pero algunos han evolucionado y otros han quedado obsoletos, condicionados por la continua actualización que sufre el museo y por la importancia de atraer cada vez más la atención de los visitantes con exposiciones novedosas.

El aprendizaje a través de los sentidos y la participación activa del visitante son objetivos fundamentales de este museo, que hasta ahora han dirigido dos astrofísicos del IAC: Ignacio García de la Rosa, desde 1993 hasta 1995 y, de nuevo, desde el 2000 hasta el presente, y Juan Antonio Belmonte, desde 1995 al 2000.

UN CENTENAR DE MÓDULOS

Una antena de radio de 18 m de diámetro, un telescopio de 28 cm (con un filtro solar H α , cámara CCD y cámara de televisión), un par de relojes de Sol y la reproducción de un crómlech megalítico, son los objetos que podemos encontrar en la terraza de este museo. En el interior se despliegan un centenar de módulos, realizados con un bajo coste económico; en torno a ellos se organizan talleres especiales.

El museo también cuenta con un Planetario, en el que se ofrecen diferentes programas, y con un Salón de Actos, donde tienen lugar proyecciones y conferencias.

Estos módulos han hecho del museo un lugar frecuentado por miles de personas, sobre todo en días especiales, como aniversarios y efemérides astronómicas (eclipses, cometas y otros), en los que se ha llegado a reunir a más de 2.000 personas en un solo día.

PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Con motivo del décimo aniversario del Museo, el Planetario ofreció el programa titulado «¿Y si la Luna no existiera?». También se proyectó, dentro del ciclo «AluCINE con el Futuro», la película «Plan 9 del Espacio Exterior», y hubo cuentacuentos con «Historias del Firmamento». Desde que el Museo de la Ciencia y el Cosmos abriera sus puertas el 11 de mayo de 1993 con la conferencia de Sergei Krikalev, astronauta ruso que permaneció más de 300 días en la estación espacial Mir, se han organizado un gran número de exposiciones científicas. Charlas y conferencias de divulgación completan el programa de actividades, tratando temas como el amor, la muerte, la televisión, el CD-ROM, Internet, los juegos de mesa; un amplio abanico de contenidos para atraer al público asistente. También se han organizado cursos,

A TRAVÉS DEL PRISMA

proyecciones de vídeos, películas y diapositivas, observaciones en directo del Sol, la Luna y los planetas, además de programarse semanas culturales, sesiones especiales del planetario, congresos y otras reuniones científicas o presentaciones de libros.

TURISMO CÓSMICO

«Turismo Cósmico», un experimento que simula un viaje por varios lugares del Sistema Solar, es la nueva atracción del museo. En ella se lleva trabajando desde el año 2001 y ha sido diseñada y fabricada por este museo, contando en los aspectos científicos con el asesoramiento de personal cualificado del IAC.

El objetivo de esta actividad es la enseñanza de la ciencia planetaria y sus avances, así como la exploración de otros mundos, introduciendo de lleno al visitante en distintos lugares de nuestro sistema solar y haciéndoles sentir como si estuvieran fuera de la Tierra.

Un cometa, Io (la luna de Júpiter) y Marte son los lugares que visitarán quienes quieran ser partícipes de este novedoso viaje de 20 minutos. Los asistentes accederán a estos parajes mediante la simulación de las condiciones físicas y los paisajes existentes en la superficie de dichos astros. «Turismo Cósmico» cuenta con explicaciones científicas de la mano de guías virtuales: proyecciones de distintos personajes mediante trucos ópticos. Éstos responderán al porqué de la diferencia entre los planetas y cuál es su composición química, entre otras cuestiones.

OLIVER EXPÓSITO MOLINA (IAC)



Cartel anunciador de la nueva atracción «Turismo cósmico». Diseño: Miriam Cruz.

“La atracción *Turismo Cósmico* simula un viaje por varios lugares del Sistema Solar”



Entrada de la atracción «Turismo Cósmico». Foto: Luis Cuesta (IAC). En la columna de la derecha, imágenes de algunos de los módulos del Museo.

© MCC. Cabildo de Tenerife.





IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA
Director del Museo de la Ciencia y el Cosmos
(1993-1995 y desde 2000) e investigador del IAC

"Cuando haces algo con tus manos, el recuerdo de lo que creas perdura más tiempo"

Ignacio García de la Rosa, fundador y actual director del Museo de la Ciencia y el Cosmos, habla en esta entrevista de su experiencia al frente del «museo más barato de España porque fabrica sus propios experimentos». Licenciado en Físicas por la Universidad de Zaragoza y Doctor en Astrofísica por la Universidad de La Laguna, es investigador del IAC desde 1980 y ha trabajado en dos campos de estudio completamente distintos: Física Solar y Cosmología. En el año 2000 retomó la dirección del Museo, ahora ya en una fase «en la que los profesionales que crean los módulos están más preparados y especializados.»

¿Por qué se creó el Museo?

«En principio se dieron varias circunstancias: una, las ganas de hacerlo, y otra, que hubiera un organismo capaz de sufragar la realización. Las ganas de hacerlo vinieron por parte del Instituto de Astrofísica de Canarias, que ya había hecho algunas exhibiciones interactivas y tenía ganas de participar en el proyecto. Este instituto proporcionaba el contenido, la filosofía del museo, mientras que el Cabildo de Tenerife fue el que aportó el dinero y la administración.»

¿Hasta qué punto era necesario un museo de estas características en las Islas?

«Un museo es una institución sería que le da a la sociedad la posibilidad de mirarse a sí misma y aumentar su autoestima. Una población científicamente educada garantiza una sociedad más productiva y creativa a la hora de abordar sus problemas. Capaz, por ejemplo, de resolver el dilema de cómo atraer el turismo sin destruir el paisaje. Un museo de las características del Museo de la Ciencia y el Cosmos pretende traducir la investigación astrofísica al lenguaje popular, constituyendo el primer ejemplo español de un museo que nace al amparo de un centro de investigación. En su fundación fue el cuarto de España, aunque posteriormente han aparecido museos de la ciencia por todo el país. Curiosamente, en Francia o Alemania se ha optado por una solución más centralista, con un museo enorme y muy pocos de menor tamaño. Por el contrario, en nuestro país, al igual que en el Reino Unido, se ha favorecido la creación de una amplia red de museos medianos y pequeños, mucho más accesibles a los ciudadanos.»

Usted fue director desde la inauguración hasta 1995 y de nuevo vuelve a dirigirlo. ¿En qué ha cambiado este museo? ¿Cómo ha sido su evolución?

«El museo, como cualquier institución, tiene fases de infancia, adolescencia, madurez. La infancia de este museo ocurrió un poco antes de nacer. Se inauguró en 1993, teniendo ya por detrás, como mínimo, cinco años de trabajo. El lema de este tipo de museos es «Prohibido no tocar» y estamos dispuestos a llevarlo hasta sus últimas consecuencias. Pero la interactividad es muy destructiva porque, aunque el visitante ponga su mejor voluntad, son demasiadas manos y cerebros inventando usos imprevistos para los experimentos. Conozco museos que han tenido que cerrar un mes después de la apertura, porque no quedaba casi nada funcionando. Nuestro museo también sufrió una fase en la que estuvo en continua reparación. Una

infancia un poco dura. Sin embargo, una vez que se consigue controlar la acción del público, se crean los módulos de forma casi irrompible y llegas a un estado en el que puedes involucrarte en otros proyectos más ambiciosos. Una de las ventajas que tiene este museo es que todos los experimentos los fabricamos aquí. En la etapa actual ya se controla el cómo fabricar las cosas porque la gente que se dedica a la creación de los módulos está formada, conoce mejor su profesión y nos permite cometer menos errores y ser más ambiciosos a la hora de construir nuevos experimentos.»

¿A qué se debe el nombre «Museo de la Ciencia y el Cosmos»?

«La gente asimila la palabra 'museo' a la idea de un lugar serio en el que tienes que estar callado. Nosotros mantuvimos la palabra, pero con un espíritu diferente. Buscamos la interacción del público, que pueda hablar, gritar, que se divierta. El objetivo y la satisfacción es que la gente aprenda divirtiéndose y que además salga con una imagen positiva y amplia de lo que puede ser un museo. El término 'ciencia' se lo pusimos porque así es como se identifican los nuevos museos interactivos, aunque su contenido sea más universal. Finalmente, añadimos el término 'cosmos' para que la gente lo relacionara con la Astrofísica.»

En estos momentos, ¿qué lugar ocupa este museo en la escala de museos interactivos?

«Hay museos que tienen un presupuesto mucho mayor que el nuestro y, sin embargo, lucen igual. Para hacer una escala habría que comparar cosas similares. Este museo es modesto, no está entre los primeros, pero tampoco entre los últimos. En comparación con los otros, éste es un museo extremadamente creativo y libre, porque fabrica sus propias exposiciones, mientras que los otros compran

A TRAVÉS DEL PRISMA

los módulos a las mismas empresas y tienden a parecer un poco clónicos. En otros aspectos, este museo puede ser el primero en España, cuando, por ejemplo, dividimos el dinero invertido por cada visitante. Tenemos un presupuesto de funcionamiento tan bajo, porque todo se fabrica y se recicla en casa. Los objetos que se deterioran no los tiramos, sino que los reutilizamos para crear otras cosas. Afortunadamente, el público no nos juzga por el material de que están hechos los experimentos, sino por el hecho de que el módulo funcione bien o de que sea una buena idea.»

Hay quien critica al museo por ser una especie de parque de atracciones. ¿Es un defecto o una virtud?

«El público busca la diversión y al mismo tiempo el aprendizaje. La realidad es que la gente aprende jugando, sobre todo si el tipo de juego que hacen es instructivo. Muchos pedagogos aseguran que el acto de aprendizaje es más complicado que leer un texto, llegando a la conclusión de que el hecho de visitar un museo es más enriquecedor que ver un documental, por ejemplo. La información la obtienen en vivo, no a través de una pantalla. Esto produce una sensación de satisfacción debido a que estás aprendiendo de forma directa. En el museo hemos intentado que haya variedad e incluso hay quien se ha aficionado a alguno de los módulos. Si la gente trajera un poco de curiosidad previa, sería perfecto; pero la educación ha matado la curiosidad de muchas personas. Los niños, en ese sentido, tienen mucha curiosidad y cuanto menores son, más indagadores parecen ser. A medida que éstos van creciendo se vuelven menos curiosos y se sienten más satisfechos debido a que creen que lo conocen todo. Aún así, según los pedagogos expertos en este tema, el hecho de que puedas hacer algo con las manos tiene una ventaja muy grande porque recordamos sólo el 15% de lo que vemos, pero nada menos que el 85% de lo que hacemos. Cuando haces una cosa con tus manos, el recuerdo de lo que creas perdura más tiempo.»

¿Se siente el turismo científico atraído por el museo?

«En general no, pero depende del país de origen. Por ejemplo, el turismo alemán suele molestarse más por conocer la cultura de los sitios que visita. En estos momentos, creo que nuestra labor no es tanto atraer el turismo como a la enorme cantidad de canarios que todavía no han visitado el museo. Volviendo a los turistas, aunque éstos procedan de países con grandes museos científicos, creo que sí se sentirían muy atraídos por un museo o centro de visitantes dedicado íntegramente a la Astrofísica.»

¿Cuál es su atracción favorita y por qué?

«'Turismo Cósmico' es mi atracción favorita porque es una mezcla casi pura de ciencia y diversión. Para desarrollar este experimento nos hemos inspirado en el hecho de que a la gente le gusta el laberinto de espejos que, junto a la información científica sobre planetas que le proporcionamos, hace que este nuevo módulo sea un atractivo casi seguro para el público.»

¿Cuál es el recuerdo más agradable que guarda del museo?

«El choque del cometa Shoemaker-Levy con Júpiter en el año 1994. Fue un acto histórico en el que el museo posibilitó que el público fuera testigo de un espectáculo que raramente contemplamos en el Cosmos. Nos arriesgamos a convocar a la gente al museo, a pesar de que dudábamos de que se pudiera ver algo. Vinieron cientos de personas y el resultado superó nuestras expectativas. Fue espectacular, ya que a través del telescopio "Carlos Sánchez", del Observatorio del Teide, pudimos ver una mancha de luz en el lugar del impacto.»

¿Y el más desagradable?

«Cuando en enero de 2001 la dirección del Cabildo nos suspendió una charla sobre la «Enfermedad de las Vacas Locas» que iba a impartir en este museo el catedrático de Toxicología de la Universidad de La Laguna.

Nunca entendí esa prohibición y mucho menos cuando supe que el Museo de la Ciencia de La Coruña había recibido una felicitación oficial de la Xunta por su contribución a la divulgación científica de esa misma enfermedad.»

Como astrofísico, ¿puede seguir investigando alguien que dirige un centro como éste? ¿Hasta qué punto uno se desconecta del ritmo de la investigación?

«En la primera etapa que estuve como director dejé a un lado mi carrera como investigador porque en aquella época se requería mi presencia las 24 horas del día. Era un trabajo absorbente. Ahora también lo es, pero como conoces más tu trabajo necesitas menos tiempo para sacarlo adelante. La investigación y la divulgación tienen una relación paradójica. La investigación es muy dura y su repercusión social es poca. Por el contrario, el trabajo del museo o la divulgación, aunque también requieren una gran dedicación, ofrecen un impacto social mucho mayor.»

Después de tantos años como director del museo, ¿hasta cuándo piensa permanecer en la dirección del mismo?

«No mucho más. Para un científico, el ejercer de director de un centro como éste es bueno, pero te absorbe por completo de lo que es tu actividad diaria. Ahora me dedico a hacer investigación por las tardes, pero es un sobreesfuerzo. Lo hago para no perder las habilidades técnicas y científicas. Para un investigador, ésta es una situación de riesgo, porque en el currículo científico carece de valor que hayas estado ejerciendo como director de un museo. No premian para nada esta labor sino que la castigan. Si uno se estableciera como director por demasiado tiempo sería para decir adiós a su investigación científica.»

O.E.M.



JUAN ANTONIO BELMONTE AVILÉS
Director del Museo de la Ciencia y el Cosmos
(1995-2000) e investigador del IAC

"Podríamos decir que la sociedad canaria es una sociedad astronómica"

Sacar a flote un proyecto que está en marcha no es tarea fácil. Así lo manifiesta el astrofísico Juan Antonio Belmonte en esta entrevista, en la que recuerda su etapa como director del Museo de la Ciencia y el Cosmos, tras una primera fase dirigida por Ignacio García de la Rosa. Licenciado en Física por la Universidad de Barcelona y Doctor en Astrofísica por la Universidad de La Laguna, Belmonte es investigador del IAC desde 1985. Astrosismología, Historia de la Astronomía y Arqueoastronomía son sus principales campos de investigación, sobre los que además ha escrito varios libros científicos y de divulgación.

Durante el período que usted ejerció como director –posterior al primer período dirigido por Ignacio García de la Rosa– ¿cuáles fueron los cambios que se produjeron en el Museo? ¿A qué se debió este cambio?, ¿Cómo ha sido la evolución?

«Hubo muchos cambios en el Museo. Por lo pronto, hubo cambios importantes de personal con respecto al personal inicial que había tenido Ignacio, lo cual dio otro tipo de perspectiva, y sobre todo, porque Ignacio y yo, aunque compartimos intereses comunes como la divulgación de la ciencia, tenemos puntos de vista muy distintos en la forma de plantear el tema. Durante el período que ejercí de director centré más mi trabajo en la divulgación a otros niveles, creando nuevos módulos, generalmente asociados a exposiciones, y potencié la elaboración de cursos, la celebración de congresos en el museo. Además, se llegaron a editar por el propio museo cuatro libros de conferencias dadas en sus dependencias. Fue una evolución diversa debido a que el Museo ha sido dirigido por dos personas con planteamientos diferentes. Ignacio dijo en su día que los años que ejercí como director fueron los años de asentamiento del museo.»

Como experto en Arqueoastronomía, ¿en qué medida trasladó este campo al Museo?

«Uno de los planes iniciales que el Museo tenía era haber construido una réplica de Stonehenge en dimensiones pequeñas en la terraza del museo, pero esto nunca se hizo. Lo que hice fue crear un crómlech real acorde al Museo, alineado a los puntos estratégicos del propio museo. Es uno de los módulos que ha marcado la terraza y aún sigue vigente. También hay algunos módulos de Historia de la Astronomía, pero en general no me dejé guiar por mi trabajo a la hora de realizar la labor del museo. Yo separaba lo que era mi compromiso como investigador de lo que era la dirección del Museo.»

¿A qué se debe la creación del crómlech?

«En principio, teníamos que organizar una exposición sobre Astronomía porque se iban a inaugurar los nuevos telescopios en los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos y había que reflejar algo relacionado

con la astronomía prehistórica. Eso fue lo que me llevó a la creación del crómlech.»

¿Cómo puede influir la Arqueoastronomía en la sociedad actual?

«La Arqueoastronomía no influye en la sociedad actual. Lo que influye es la Astronomía. La Arqueoastronomía es más propiamente el estudio astronómico de los restos arqueológicos. A mí me gusta llamar a la disciplina global "Astronomía cultural" porque es la forma en que la Astronomía influye en la cultura de los pueblos. Lo interesante de estudiar este tipo de cosas es darte cuenta de cómo la Astronomía influyó en el punto de vista religioso, social, político y organizativo de las sociedades antiguas, para darte cuenta de que actualmente también está ocurriendo lo mismo. El trabajo de los astrónomos es importante desde el punto de vista tecnológico y también desde el filosófico y religioso. El peso social de la Cosmología, por ejemplo, es mucho más importante de lo que nos creemos. La circunstancia que hace que todavía haya muchos agnósticos es porque la ciencia ha contribuido al conocimiento del Cosmos. Cuestiones que antiguamente se explicaban con la religión, ahora las explica la ciencia y la presencia de seres sobrenaturales es cada vez menos necesaria. Entonces, es interesante estudiar cómo ocurría eso en tiempos pretéritos, hay que estudiar el pasado para conocer el presente.»

¿Cuál fue su atracción favorita en su etapa como director?

«La atracción favorita del Museo es muy difícil de elegir. Hay atracciones de la etapa anterior que siguen teniendo mucho éxito, pero de la época en la que yo era director, a los niños les gustaba el módulo de la palanca. El hecho

A TRAVÉS DEL PRISMA

de poder levantar un coche les fascina. El puente romano también les llama muchísimo la atención. A los adolescentes les encantan los módulos mecánicos en los que pueden interactuar. En definitiva, creo que el módulo del coche es el más espectacular. Luego también salió la idea de poner en explotación la escalera del Museo. Cuando yo llegué, la escalera era un inmenso espacio vacío. Lo que yo hice fue integrar la escalera en el Museo creando la Vía Solaris.»

¿Cuál es el recuerdo más agradable que guarda del Museo?

«Ver a los niños pasándose bien es muy agradable, pero también ver a la gente disfrutar en los cursos de divulgación científica, en las conferencias, etc. No hubo ningún momento que recuerde de gloria especial. Fue una suma de pequeños momentos.»

¿Cuáles fueron los objetivos para realizar los macrocursos que se llevaron a cabo durante su período como director?

«El Museo está pensado para acercarse a los más pequeños, a los niños y a los adolescentes. Se pretendía acercar el Museo a los universitarios y a gente de más edad como jubilados, profesores, etc. La idea de los cursos fue fundamentalmente ésa y se logró. Fueron cinco cursos que se organizaron durante los cinco años que ejercí como director. En todos cubrimos el cupo de matrícula y la propuesta tuvo mucho éxito. La idea fundamental era acercar el Museo, la divulgación científica, a una sociedad heterogénea.»

¿Cómo fueron los resultados?

«Los resultados obtenidos fueron muy buenos, no nos podemos quejar. La gente que asistió a los cursos estuvo muy involucrada y salió muy contenta, al igual que nosotros.»

Como astrónomo, ¿puede seguir haciendo investigación alguien que dirige un centro como éste? ¿Hasta qué punto uno se desconecta del ritmo de la investigación?

«Te desconectas bastante. Se puede hacer si trabajas muy duro, trabajando doce horas por jornada, de lunes a viernes. Los cuatro primeros años se puede hacer, pero el quinto año ya notas el cansancio. Mi compromiso inicial fue por cuatro años en la dirección del museo y estuve un quinto hasta que las cosas cuadraron.»

¿Está la sociedad de hoy involucrada en temas relacionados con la Astronomía? ¿Interesan estos temas al público? ¿Se vio reflejado ese interés por parte del público que asistía al museo?

«En Canarias sí porque la gente está muy motivada. La gente ve los Observatorios y el Instituto de Astrofísica de Canarias como algo suyo y se sienten orgullosos de ello. Existe una gran cultura astronómica en el archipiélago. El nivel cultural en Astronomía de la gente de la calle en Canarias es altísimo, un nivel que no existe ni por asomo en ninguna otra parte de España y mucho menos en otros países del mundo. En definitiva, podríamos decir que la sociedad canaria es una sociedad astronómica.»

Actualmente, ¿venden más los temas relacionados con la Astronomía que los relacionados con otras ciencias?

«No, los temas que más venden son los relacionados con las ciencias de la salud. Lo primero que le interesa a la gente es su salud física. Por su parte, la Astronomía tiene que ver mucho con la salud mental porque tiene que

ver con el espíritu, con la forma en la que uno se relaciona con su entorno, con la cosmovisión de la gente, al igual que la Arqueología, que es el estudio de los orígenes. Se enlaza con las típicas preguntas “¿de dónde venimos?” y “¿quiénes somos?” y “¿a dónde vamos?”. La Astronomía entra ahí, es como un alimento para el espíritu.»

¿Qué necesita el Museo en estos momentos?

«Principalmente, necesita más fondos porque siempre hay que estar arañando hasta el último céntimo para hacer cualquier cosa. El Museo tiene un presupuesto ridículo comparado con otros museos de similar categoría en España. También me gustaría que se hiciera un planetario de verdad, que esté separado del resto de la estructura del Museo, de forma que los visitantes pudieran ir exclusivamente al planetario o al museo, o ir a ambos. Se pueden hacer muchas cosas novedosas, pero se precisa de abundantes recursos económicos, aparte del interés de los que trabajan en el Museo.»

¿Le gustaría, después de un cierto tiempo, volver a dirigir el Museo? ¿Por qué?

«No lo descarto, pero en principio no. Sinceramente, fue muy agotadora mi etapa como director del Museo y ahora mismo estoy en una fase muy productiva de mi carrera investigadora en la que me encuentro muy a gusto, muy satisfecho, y con más trabajo del que puedo abarcar. Coger la dirección del Museo en estos momentos, para mi carrera investigadora, sería como un suicidio, lo que haría que no me encontrara a gusto en la dirección y no podría darle todo lo que yo le di al Museo en los años en que lo dirigí.»

O.E.M.

Conferencias

JESÚS BURGOS

- «Formación y Movilidad de Investigadores en el VI Programa Marco de apoyo a la I+D+i. Acciones Marie Curie». (2/6). Para investigadores y personal de la Universidad Autónoma de Barcelona.

LORENZO PERAZA

- «Telescopios» (26/3). Para alumnos del «I.E.S. La Laboral», pertenecientes a los segundos cursos del ciclo formativo superior de instalaciones electro-técnicas.

LUIS CUESTA

- «Periodismo científico en el IAC» (19/05). Curso dentro del Programa para Mayores de la Universidad de La Laguna.
- Participación en Mesa redonda sobre la «Divulgación popular de la Ciencia», en el Ateneo de La Laguna (09/06).

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO

- «Una estrella de película». Para niños de entre 7 y 11 años, dentro de las actividades de divulgación astronómica para escolares organizadas por «Diverciencia» en el Museo de la Ciencia y el Cosmos (21/01). Museo de la Ciencia y el Cosmos.

- «Una estrella de película». Centro de Cultura del Ayuntamiento de La Laguna. (10/03).

- «Una estrella de película». Centro de Cultura de Taco. (03/04).

LUIS A. MARTÍNEZ SÁEZ

- «La comunicación en un centro de investigación: el caso del Instituto de Astrofísica de Canarias» (24/06). En el «Máster de Comunicación de la Ciencia» organizado por la Universidad Pompeu Fabra, en Barcelona.

“Vida inteligente en el Universo”

MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO (IAC)

Fecha: 28/05/03

Lugar: Real Club Náutico de Santa Cruz de La Palma. Conferencia de divulgación en el marco del congreso internacional de astrofísica “Satellites and Tidal Streams” (ver *Congresos*).

El debate sobre la existencia de otros seres inteligentes en el Universo ha existido siempre desde los primeros momentos de la civilización humana. A finales de la Edad Media surgió el método científico como el procedimiento más aceptado para conocer la naturaleza mediante la observación y la experimentación. El descubrimiento del telescopio y el microscopio permitió posteriormente una aplicación más eficiente del método. En el siglo XIX, la mayoría de los científicos aceptaba que hubiera más planetas habitados aparte del nuestro, convencimiento que se ha mantenido durante gran parte del siglo XX, con la aparente evidencia de que la vida es una fase más en la evolución química del Universo. Hoy en día se acepta que la existencia de vida inteligente debe ser poco frecuente debido a la gran dificultad de mantener las condiciones de habitabilidad en un planeta durante todo el periodo de tiempo que conlleva su creación. El método más directo para detectar vida inteligente en otros planetas consiste en la escucha de las señales que supuestamente produce. Sin embargo, después de 40 años de observación, la humanidad todavía no ha detectado ningún mensaje. Los científicos han dado diferentes explicaciones a este enigmático silencio, generando un debate en torno a la rentabilidad científica de los actuales proyectos de detección.



Diseño: Fidel Monterrey Díaz

“Formación y Movilidad de Investigadores en Europa y Terceros Países”

JESÚS BURGOS (IAC)

Fecha: 28/05/03

Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife.

El nuevo Programa Marco Europeo de apoyo a la I+D (FP6) otorga de nuevo una gran importancia a la formación y movilidad de investigadores como pieza fundamental en el avance científico y tecnológico de nuestra comunidad. 1.580 millones de euros es el presupuesto que para los próximos cuatro años se destinarán a favorecer esa movilidad y formación. Nuevas oportunidades para investigadores de cualquier nacionalidad, nuevas modalidades para los centros de acogida en países comunitarios y extra-comunitarios, cátedras, nuevos premios, redes de investigación con marcado carácter formativo, etc, son algunas de las novedades sobre las que versó esta ponencia. Las primeras convocatorias se abrieron a finales del año pasado y son múltiples las modalidades de participación de las que podrán beneficiarse tanto los centros de investigación de Canarias como los titulados superiores que quieran iniciarse o continuar su actividad investigadora.

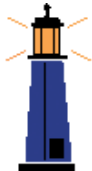


Los púlsares



Carmen del Puerto (IAC)

1967 fue el año de la llamada «guerra de los seis días» o «tercera guerra árabe-israelí», el año de la muerte en Bolivia de Che Guevara, el año del Golpe de los Coroneles en Grecia y, en medicina, el año del primer trasplante de corazón humano. También se firmó el acuerdo internacional sobre la utilización del espacio para fines pacíficos y se estrelló en los Urales la nave espacial rusa Soyuz-I, con el cosmonauta Vladimir Komarov a bordo. Pero aquí nos interesa 1967 por la detección de los púlsares, que los astrónomos confundieron inicialmente con señales de seres extraterrestres o Little Green Men.



ESTRELLA DE NEUTRONES

Un púlsar es una estrella de neutrones que rota a gran velocidad con un intenso campo magnético. La radiación que liberan estas estrellas de neutrones procede de sus polos magnéticos, manifestándose como haces de ondas de radio. Debido a la inclinación del eje magnético con respecto al eje de rotación, los dos haces forman un cono que barre el cielo una vez por

cada rotación estelar, igual que las señales luminosas de un faro. Cada vez que uno de ellos se proyecta en dirección a la Tierra podemos registrar un pulso de radio. Esto quiere decir que sólo vemos los púlsares cuyos haces se dirigen hacia nosotros y que hay muchos más que no vemos. Las señales del primer púlsar llegaban a la Tierra con un intervalo exacto de tiempo de 1,337 segundos. El más rápido actualmente pulsa 642 veces por segundo y marca el tiempo con la exactitud y fiabilidad de los mejores relojes atómicos. Pensar que una estrella pueda girar con tal rapidez escapa a la imaginación de cualquiera.

Los púlsares tuvieron gran interés periodístico cuando se descubrieron a finales de los años sesenta, aunque no tanto por tratarse de un nuevo tipo de objetos astronómicos, identificados con la metáfora de los faros cósmicos, como por el excitante supuesto inicial de que las señales recibidas en radio procedían de seres extraterrestres.

SERENDIPIA

La primera detección de los púlsares es un conocido caso de descubrimiento científico accidental o serendipia. Jocelyn Bell (n. 1943) y Antony Hewish

NUEVE MESES DE PARTO

Cronología desde el descubrimiento del primer púlsar hasta la acuñación y, simultáneamente, la aparición del término en un medio de comunicación.

· Julio 1967: entra en operación el radiotelescopio de Antony Hewish a cargo de Jocelyn Bell.

· 6 agosto 1967: fecha del descubrimiento, según el periódico británico *The Daily Telegraph*.

· 13 agosto 1967: se produce el primer registro de la fuente, según el artículo de *Nature*.

· 28 noviembre 1967: se confirma el descubrimiento obteniendo la primera indicación de radiación pulsante y no de radiointerferencia, según la Enciclopedia Británica. Aún se referían a las nuevas fuentes con las siglas LGM, procedentes de *Little Green Men*.

· 24 febrero 1968: el descubrimiento se publica en *Nature* utilizando la expresión *pulsating radio source*.

· 5 marzo 1968: el término *púlsar*, con la grafía inglesa, aparece publicado por primera vez, en *The Daily Telegraph*, y así lo recoge el Diccionario de Oxford.



(n. 1924) no estaban buscando púlsares cuando en 1967 detectaron señales de radio de corta duración y de intervalos muy regulares. Trabajaban en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge (Reino Unido), con un radiotelescopio de 3,2 m especialmente diseñado para registrar las rápidas variaciones de intensidad en las fuentes de radio.

Hewish, dispuesto a averiguar por qué las estrellas que emitían en radio centelleaban igual que las que lo hacían en el visible, había descubierto en 1964 el efecto que llamó *centelleo interplanetario*: demostró que las ondas de radio de una fuente de pequeño diámetro sufren *difracción* (ligera distorsión de la luz en el borde de un objeto) cuando cruzan las nubes de polvo en el espacio interplanetario, y que las variaciones en intensidad tenían lugar cada segundo.

En julio de 1967 entró en funcionamiento un gran radiotelescopio de alta resolución (una red de antenas sobre un área de 18.000 m² en Cambridge). Hewish lo había construido, con ayuda de jóvenes colaboradores, para el estudio de más de 1.000 radiogalaxias y caza de cuásares.

Un radiotelescopio capta señales de procedencias muy distintas, del entorno industrial, de los automóviles, de cualquier aparato eléctrico. Para los radioastrónomos es, por tanto, difícil distinguir lo que es una señal auténtica del exterior de lo que lo es de origen humano. Hewish y sus colaboradores sabían que el objeto de donde procedían las señales era muy pequeño, incluso menor que un planeta, por la gran precisión de las pulsaciones que sólo duraban varias milésimas de segundo, lo que significaba que el objeto emisor debía ser muy pequeño.

HOMBRECILLOS VERDES

Bell y Hewish pensaron al principio que podrían haber establecido contacto con una civilización extraterrestre de la

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

galaxia dada la regularidad de la emisión. Hewish describe este período inicial, en el que fueron conscientes de la naturaleza extraterrestre y estelar de las señales, como el más excitante de su vida. ¿Eran esas señales en realidad algún tipo de mensaje de otra civilización?»



Stephen Hawking recuerda en su *Historia del Tiempo* que en el seminario en el que anunciaron el descubrimiento denominaron a las primeras cuatro fuentes encontradas LGM-1, LGM-2, LGM-3 y LGM-4. Las siglas LGM eran las iniciales de *Little Green Men* («pequeños hombres verdes»). Al final, sin embargo, llegaron a la conclusión menos romántica de que estos objetos eran de hecho estrellas de neutrones en rotación, que emitían pulsos de ondas de radio debido a una complicada interacción entre sus campos magnéticos y la materia de su alrededor. Si bien el hecho de descartar a los *hombrecillos verdes* fueron –según Hawking– «malas noticias para los escritores de westerns espaciales», también dieron esperanza a los que como él creían en agujeros negros: «fue la primera evidencia positiva de que las estrellas de neutrones existían».

TÉRMINO PERIODÍSTICO

El término *púlsar* procede de acortar estrella pulsante en inglés: *pulsating star*, es decir puls(ating st)ar -haciendo referencia a los rápidos pulsos o impulsos de radio que emitían estos objetos-, de forma análoga a cómo se había hecho con *cuásar*, quas(i-stell)ar (radio sources). El hecho de que *cuásar* ya existiera hacía que *púlsar* resultara una abreviatura natural. La primera referencia escrita explicativa que recoge el Diccionario de Oxford data de 1968 y corresponde a un artículo del periódico inglés *The Daily Telegraph* del 5 de marzo. El término fue acuñado por un periodista científico de este diario llamado Anthony Michaelis. Actualmente, *púlsar* no tiene competencia como término genérico de este tipo de objetos astronómicos (científicamente se identifican por las iniciales de grupo PSR, de *Pulsating Source of Radio*, seguidas de las coordenadas).



PREMIOS NOBEL

Hewish –hoy sir Anthony Hewish- recibió en 1974 el Premio Nobel de Física por este descubrimiento y por el desarrollo de su modelo teórico (compartió el premio con Martin Ryle, otro pionero en Radioastronomía). En cambio, no lo recibió Jocelyn Bell -injustamente, según se dice-, en principio por ser sólo una estudiante de doctorado, aunque fue ella quien advirtió la primera señal-interferencia de radio, al mes de empezar los registros regulares en julio de 1967.

En 1974 también se descubrieron los *púlsares binarios*, hecho que mereció otro Premio Nobel en 1993. Hoy en día interesan las *ondas gravitatorias*, cuya existencia, predicha por Einstein, parece haberse confirmado a partir del estudio de un *púlsar binario*. Su detección desde observatorios terrestres especiales podría revolucionar la Astronomía. Y la prensa, como si intuyera esta futura revolución, dedica amplios reportajes a los gigantescos detectores de *ondas gravitatorias* que actualmente se hallan en construcción.



© IAC



© HST



© VLT

EL PÚLSAR DEL CANGREJO

· En 1731, un físico inglés y astrónomo aficionado llamado John Bevis observó una nebulosa que ocupó la primera posición en el catálogo compilado por Charles Messier en 1758, donde apareció como la nebulosa *M1*.

· El nombre de *Nebulosa del Cangrejo* se le dio unos cien años después, cuando los telescopios ópticos cada vez mejores revelaron su estructura tentacular.

· *M1* alberga a *PSR 0531+21*, el *púlsar* más joven conocido, pues la explosión supernova que probablemente dio origen a la estrella de neutrones que emite el *púlsar* se produjo en 1054, hace sólo unos mil años.

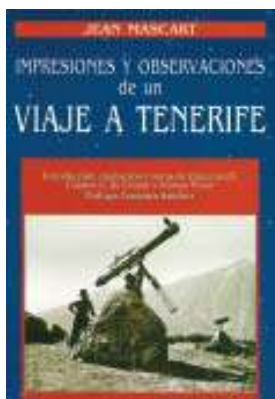
· Este *púlsar* emite 33 pulsos cada segundo y se retrasa lentamente a un ritmo de una millonésima por día.

· El ritmo lento y decreciente tanto de este *púlsar* como el de *Vela* (*PSR 0833-45*), otro *púlsar* joven y ambos visibles con telescopios ópticos, es interrumpido de vez en cuando por los llamados *glitches* (espectaculares cambios temporales en el ritmo de rotación).



Los Premios Nobel Antony Hewish y Joseph Taylor, galardonados en 1974 y en 1993, respectivamente, por sus descubrimientos relacionados con los púlsares, fueron profesores invitados en la Escuela de Astrofísica «Cosmosmas, enanas marrones, exoplanetas, púlsares binarios y otros descubrimientos recientes», organizada por el IAC y la UIMP en Santander, del 26 al 30 de agosto de 1996. En la foto, acompañados del Director del IAC, Francisco Sánchez, y del astrofísico del IAC Antonio Mampaso.

“Impresiones y observaciones de un viaje a Tenerife”



El 23 de junio fue presentado en el Centro de la Cultura Popular Canaria, en La Laguna, el libro «Impresiones y Observaciones de un viaje a Tenerife». Esta es una traducción al español realizada por Clara Curell, Cristina G. de Uriarte y Maryse Privat del libro del astrónomo francés Jean Mascart, «Impression et Observations dans un voyage à Tenerife». Además de la introducción, traducción y notas de las traductoras, que reflejan aspectos relativos a personas y acontecimientos citados en el texto, la obra cuenta con un prólogo de Francisco Sánchez, Director del IAC, quien intervino en la presentación del libro.

El célebre astrónomo Jean Mascart del Observatorio de París, vino a Tenerife en 1910 junto con otros científicos para llevar a cabo diversos estudios, entre ellos la observación del paso del cometa Halley. Con motivo de esta visita se hicieron también observaciones planetarias y de la luz zodiacal. Mascart plasmó en este libro sus vivencias y, en especial, su singular percepción de una isla que le asombró por su excepcionalidad. Todo ello le llevó a organizar un observatorio en la Montaña Guajara, lo que habría sido el primer observatorio internacional en Canarias, pero su intención se vio truncada por el inicio de la Primera Guerra Mundial.

OLIVER EXPÓSITO MOLINA (IAC)

“Lluvias de estrellas”



El IAC, junto con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCYT), ha editado en papel y en CD una unidad didáctica, sobre las Lluvias de Estrellas, uno de los fenómenos más espectaculares que pueden ser observados a simple vista. El CD-Rom incluye, además, información complementaria sobre las Leónidas de los últimos años, más intensas que las lluvias habituales. La unidad está dirigida a profesores de las asignaturas de ciencias de la ESO y pretende introducir a los jóvenes en el campo de la investigación científica a través de la observación de las lluvias de estrellas que se producen a lo largo del año.

CARONTE: aplicación informática desarrollada por la OTRI del IAC



A finales de 2001, en el marco de un proyecto financiado por la Unión Europea, la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) del IAC desarrolló una aplicación informática para la elaboración de Cartas de Servicios en unidades de interfaz, como es esta OTRI, entre el entorno científico, tecnológico y empresarial.

Esta aplicación informática, denominada CARONTE, fue premiada en el año 2002 por el Ministerio de Administraciones Públicas en su Segunda Convocatoria de Premios a las Mejores Prácticas dentro de la Administración General del Estado. Este Ministerio, asimismo, en su nueva «Guía para la implantación de Cartas de Servicios» publicada en el 2003 y distribuida a toda la Administración del Estado, incluye CARONTE, en formato CD, y recomienda su uso para implantar estas Cartas de Servicios.

Ministerios análogos de otros países, preocupados también por la calidad en la prestación de servicios por parte de las instituciones públicas, han mostrado ya su interés por CARONTE.





Un universo bajo nuestros pies



Antonio Eff-Darwich
(IAC)

La obtención del doctorado significa el comienzo de una carrera en busca de puestos post-doctorales, algunas veces cerca de casa y otras bastante lejos. Durante los dos últimos años, mi trabajo post-doctoral se ha desarrollado muy cerca de casa, no sólo porque la he llevado a cabo en el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna, sino porque el objeto de estudio está asombrosamente próximo, bajo nuestros pies.

La astrofísica cambió de prefijo y se convirtió en geofísica; el objeto de estudio pasó de ser el Sol a convertirse en la isla de Tenerife, más concretamente el edificio volcánico de Tenerife. ¿Por qué? Muchos me han preguntado eso y la respuesta ha sido siempre la misma: ampliar la posibilidad de encontrar un trabajo estable y de estudiar el otro potencial que ofrece la isla aparte de su cielo, sus volcanes.

Si bien me sigue apasionando el estudio del Sol, no es menos cierto que me he prendado del trabajo que he llevado a cabo estos últimos años sobre el volcanismo y la detección temprana de erupciones volcánicas. He descubierto que hay otras formas de hacer ciencia, que no necesitan telescopios, pero no dejan de precisar una gran capacidad de observación.

Algo en lo que noto mucho los años transcurridos entre geólogos es en mi nueva forma de ver el Observatorio del Teide, ya que no sólo es un emplazamiento ideal para instalaciones telescópicas.

Además se encuentra enclavado en uno de los paisajes volcánicos más interesantes del mundo. La belleza del entorno esconde un complejo proceso evolutivo de creación y destrucción que empezó a gestarse hace varios millones de años y que continúa en la actualidad. Permítanme que les muestre con ojos de geólogo novato lo que el Observatorio esconde bajo nuestros pies.



Imagen del Teide tomada desde del Observatorio. Se aprecian, de izquierda a derecha, la pared sur de Las Cañadas, el Teide con Montaña Blanca, Pico Cabras (margen derecho del Teide) y, finalmente, parte del Macizo de Tigaiga.

Una primera vista desde la Residencia del Observatorio nos permite admirar la enorme variedad de colores en el paisaje, desde el negro al blanco, pasando por muchos tonos rojizos. Esto contrasta enormemente con lo que pasa en otros entornos volcánicos, como en la isla de Hawai, donde el color dominante es el negro. El cromatismo es el resultado del tipo de magma asociado a las erupciones: el color negro se asocia por lo general a magmas compuestos de minerales pesados, que dan lugar a lavas oscuras poco viscosas que fluyen rápidamente a distancias relativamente grandes. Por el contrario, los magmas compuestos de minerales ligeros y gases comprimidos,

*Foto aérea del volcán Teide-Pico Viejo, con la pared sur de la caldera al fondo. Obsérvese la increíble amalgama de colores, fruto de la superposición de innumerables erupciones.
Foto: José Antonio Rodríguez Losada*



producen una lava viscosa de colores claros que recorre distancias pequeñas. A propósito, el término “magma” se refiere al material fundido bajo la superficie, mientras que “lava” es el término utilizado para el material fundido cuando fluye durante una erupción. En el entorno del Parque Nacional dominan los colores rojizos y claros, fruto de erupciones de material viscoso, que pudieron llegar a ser tremendamente explosivas debido a los gases que contenía el magma.

El Observatorio del Teide debe su nombre al enorme volcán del Teide, el punto más alto de España, con sus 3.718 m sobre el nivel del mar, y el tercer volcán más alto del planeta con más de 7.000 m de altura (hay que recordar que Tenerife se levanta 4.000 metros sobre el fondo oceánico).

El Teide no es un volcán aislado, sino que está asociado a otro, el Pico Viejo, formando el denominado estratovolcán Teide-Pico Viejo.

¿Deberíamos cambiar el nombre de Observatorio del Teide por el de Observatorio del Teide-Pico Viejo? Era una broma.

El cráter del Teide es el único lugar en Tenerife donde existen fumarolas, que a veces son visibles desde el Observatorio en días de lluvia intensa. Pese al intenso olor a azufre que desprenden, las fumarolas se componen principalmente de vapor de agua, originado por el calentamiento del agua subterránea almacenada en el Teide al entrar en contacto con gases emanados desde la cámara magmática localizada bajo el volcán, aproximadamente a nivel del mar.

Algo que impresiona bastante al mirar al Teide son las pendientes tan acusadas que presenta, en especial en su cara Norte. Ésta es una característica común en muchos volcanes: se produce una acumulación rápida e inestable de materiales

Valle de Arriba en el término municipal de Santiago del Teide. Se observa al fondo el volcán Teide-Pico Viejo, mientras que el resto de montañas corresponden a conos volcánicos de la zona de máxima actividad de la isla, denominada «rift» del noroeste. El volcán Chinyero (1909) pertenece a esta serie de conos.
Foto: Julio de la Nuez Pestana



eruptivos, que pueden desmoronarse de forma catastrófica tras una nueva erupción o un gran terremoto. La historia geológica de Tenerife está plagada de grandes desmoronamientos, como los corrimientos de tierra que dieron lugar a la formación de los valles de Guímar y La Orotava, este último hace unos 500.000 años.

La base del Teide está plagada de innumerables volcanes, como Pico Cabras, Montaña Rajada y Montaña Blanca. Todos ellos surgieron cuando el magma ascendente no tenía suficiente presión para alcanzar el cráter del Teide, por lo que salía por puntos a menor altura, en la base del volcán. Es posible que estos



Residencia del Observatorio, el volcán de Fasnia y, al fondo, el volcán de Siete Fuentes.

volcanes juegan un papel fundamental en la estabilidad del Teide, al actuar como contrafuertes que refuerzan la base del edificio volcánico.

Es cierto que la actividad volcánica del Teide debió de ser intensa en el pasado geológico de la isla, pero en la actualidad dicha actividad se ha desplazado hacia el noroeste, con la erupción de 1909 del volcán



Imagen tomada desde «La Tarta» en donde se aprecian una gran cantidad de conos volcánicos, probablemente formados tras los deslizamientos de tierra que originaron el Valle de la Orotava.

“Chinyero” como expresión más cercana en el tiempo (he encontrado también el nombre “Chinguero” en viejos mapas militares). La última erupción del Teide fue hace más de mil años y corresponde a las lavas negras que cubren la cara del Teide que da al Observatorio, aunque el frente mayor descendió por el Valle de Icod hasta el mar.

De mucha menor entidad que el Teide-Pico Viejo son los volcanes de Siete Fuentes y Fasnía, montañitas negras que se ven desde el Observatorio y a las que es fácil llegar a través de la pista de tierra que comienza en el cruce de la carretera que lleva al Observatorio y al Meteorológico. Son volcanes negros, por lo que se trata de materiales producidos a gran profundidad y de poca viscosidad. Las erupciones de estos dos volcanes están asociadas a una tercera erupción, la del volcán de Arafo, todas ellas ocurridas entre 1704 y



Hermoso paisaje desde el mirador de La Crucita. Al fondo, el Valle de Güímar, mientras que a ambos lados de la imagen se ven los restos de las paredes que formaban parte de un enorme volcán

desaparecido tras los corrimientos de tierra que dieron lugar a la formación del Valle de La Orotava. El cono negro en el centro de la imagen corresponde a la misma erupción que formó los volcanes de Siete Fuentes y Fasnía.

1706 y originadas por la salida de lava a través de una falla, hecho evidenciado por el alineamiento de los tres centros eruptivos.

El volcán de Arafo es el cono negro que se ve en la Caldera de Pedro Gil (mirador de La Crucita de camino al Observatorio); sus lavas llegaron hasta el mar, a la altura del polígono industrial de Arafo. ¡Imagínense si esa erupción ocurre ahora!; cortarían la autopista de Sur y la carretera general, con las gravísimas consecuencias económicas que acarrearía. El peligro de la actividad volcánica en Tenerife no proviene tanto de las erupciones en sí mismas,



sino del hecho de que casi 800.000 personas vivimos, conducimos y trabajamos en un área geológicamente activa. Una curiosidad al respecto del volcán de Arafo, también denominado Las Arenas, es que si se acercan al mirador de La Crucita, verán que el cono volcánico está incrustado entre dos paredes muy escarpadas. Éstas son parte de las paredes occidental y oriental de un volcán más antiguo que se desmoronó al producirse el deslizamiento de tierra que formó el Valle de la Orotava. Es este otro ejemplo de la tónica evolutiva de Tenerife, con la formación de grandes estructuras y su posterior desmoronamiento.



Erupción del CHINYERO en 1909
Cortesía de Sonia Colagan González-Arriaga



Desde el Observatorio, podemos apreciar varios de los elementos asociados a unos de los hitos fundamentales en la evolución geológica de la isla, la formación de la Caldera de Las Cañadas. Por un lado, podemos ver la pared sur de Las Cañadas, con el pico de Guajara como punto de referencia y, por otro lado, a la derecha del Teide, el Macizo de Tigaiga. Hace unos 200.000 años, la vista que se tiene desde el Observatorio era radicalmente distinta. No existía el Teide, y lo que hoy es la pared sur de las Cañadas



Imagen tomada desde el volcán de Fasnia con el Observatorio al fondo.



y probablemente Tigaiga eran parte de las caras sur y norte de un gigantesco edificio volcánico llamado Edificio Cañadas. Este edificio debía de parecerse morfológicamente a los actuales Mauna Kea o Mauna Loa en Hawái, un enorme volcán de suave pendiente que debía de alcanzar su máxima altitud donde hoy se encuentra el Teide, más o menos. Si dibujamos con la mente una suave curva que una la pared de Las Cañadas y Tigaiga, podemos hacernos una idea de cómo era este desaparecido volcán. Por causas desconocidas, ese edificio se desmoronó tras una serie de corrimientos de tierra (una teoría), o tras hundimientos verticales del edificio (otra teoría), o una combinación de ambos fenómenos (otra teoría más), dejando una enorme depresión, La Caldera y el Valle de Icod, y ruinas del antiguo edificio, la pared sur y Tigaiga. El colapso del Edificio Cañadas debió de dejar al aire la cámara

magmática que alimentaba el volcán, lo que posiblemente provocó una serie de gigantescas explosiones. Tras este destructivo espectáculo, la Caldera y el Valle de Icod debían de asemejarse a una profunda cubeta que se fue rellenando poco a poco en sucesivas erupciones, las cuales dieron lugar a la construcción del volcán Teide-Pico Viejo.



Mucha de la información utilizada para explicar la evolución geológica de Tenerife proviene del examen de la vasta red de túneles usados para la extracción de agua, las galerías.

Las galerías suelen tener varios kilómetros de longitud, dependiendo de la distancia necesaria para alcanzar las reservas subterráneas de agua. Por lo tanto, estos túneles atraviesan los distintos niveles estratigráficos que constituyen el interior de la isla, dando una información excepcional de la geología insular, difícilmente alcanzable en otros lugares del mundo.

¡Existen unas 1.000 galerías en Tenerife, totalizando más de 3.000 km de túneles!



Vista de la erupción de Chahorra o Narices del Teide, ocurrida en 1798. Esta ha sido la última erupción dentro de la caldera de las Cañadas, en concreto en las faldas del Pico Viejo. Es una erupción muy similar a las ocurridas en Siete Fuentes y Fasnía.

Foto: Julio de la Nuez Pestana



Se podría ir caminando desde Tenerife a Madrid y volver si se pusiesen alineadas una tras otra. Las galerías supusieron una revolución en la agricultura tinerfeña, ya que se pasó de un sistema de secano dominante hasta finales del siglo XIX, a una agricultura de regadío, centrada en el tomate y el plátano. Hasta entonces, el agua provenía principalmente de manantiales y fuentes, y no era difícil ver los barrancos de la isla con agua corriendo por ellos, prácticamente todo el año. Nombres como Barranco del Río o Barranco de Madre del Agua reflejan el estado hidrológico ya perdido que existía en Tenerife. No obstante, el desarrollo económico que se produjo con la agricultura de regadío no podría haberse dado sin las galerías. Durante mi post-doc, instalamos una red de detectores de gases y otros parámetros asociados a la actividad volcánica en un grupo de galerías, usando estas últimas como observatorio ideal del interior de la isla. De aquí nació mi interés por este tipo de infraestructuras, tanto desde el punto de vista geológico como histórico, pero me estoy saliendo del tema de este artículo y las galerías se merecen más de un libro.

En definitiva, la paz y tranquilidad que se respira desde el Observatorio esconde un historia geológica dramática que es importantísimo conocer para apreciar, aún con más interés, la belleza de este paisaje único en el mundo.

LA REALIDAD DE LA FICCIÓN



Héctor Castañeda
(IAC)

Cambio de órbita

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.

El 1 de febrero de 1954, Estados Unidos efectuó, en el atolón de las islas Bikini, la llamada «Prueba Bravo», su mayor explosión nuclear en la atmósfera. Un error de cálculo provocó una detonación tres veces mayor que la originalmente calculada, llegando al orden de 15 megatonnes de TNT, mil veces mayor que la bomba atómica arrojada sobre Hiroshima. Aunque impresionante, su efecto quedó empujado cuando la entonces Unión Soviética diseñó el dispositivo llamado «Rey de las Bombas», una bomba capaz de liberar una energía de 100 megatonnes, aunque la versión probada en octubre de 1961 solo llegaría a liberar la mitad de esa energía.

Inspirada en ese clima político que no brindaba precisamente paz a los espíritus, la película inglesa *El día que la Tierra se incendió* (*The Day the Earth Caught Fire*, 1962) planteaba una intrigante premisa. En las primeras escenas, contra las imágenes de un Londres desierto como una versión infernal del verano, el reportero de un periódico comenzaba a dictar su crónica: «Dentro de unas pocas horas, el mundo conocerá si este es el final, u otro comienzo; el renacimiento del hombre, o su obituario final». Poco a poco, la película nos explicaba qué ocurría. Estados Unidos y la Unión Soviética habían detonado en ambos polos dispositivos nucleares en pruebas casi simultáneas. Los cambios climáticos observados sugerían que se había cambiado la orientación del eje de rotación de la Tierra, pero pronto se descubre algo mucho peor. La Tierra había alterado su órbita y estaba cayendo hacia el Sol. La única esperanza era lograr que otra serie de detonaciones cuidadosamente programadas retornara a la Tierra a su órbita natural.

¿Podría ocurrir esto en realidad? Para mover la Tierra hacia el Sol, se debería expulsar en la dirección opuesta al Sol a mayor velocidad que la de escape (11,2 km/s). Haciendo unos simples cálculos podemos ver que el efecto sobre el movimiento de la Tierra sería casi imperceptible. Por ejemplo, si la explosión de la Reina de las Bombas expulsara cien millones de toneladas de material a la velocidad de escape terrestre, movería a la Tierra en la dirección opuesta a una velocidad de 6 mm/año, nada por lo cual ponerse nervioso a corto plazo. Ha habido explosiones de la misma naturaleza más energéticas sin efectos aparentes. Por ejemplo, la famosa erupción del Krakatoa el 26 de agosto de 1883 expulsó una energía de 150 megatonnes, sin ocasionar un cambio apreciable en la inclinación del eje de rotación o de la órbita terrestre, aunque sí grandes efectos climáticos debido al polvo esparcido sobre todo el globo. Y el cuerpo que impactó contra la Tierra hace 65 millones de años, posible causa de la extinción de los dinosaurios, pudo provocar una explosión de 50 millones de megatonnes, sin afectar prácticamente a nuestra órbita.



¿Pero qué pasaría si la distancia entre la Tierra y el Sol realmente cambiara? A decir verdad, eso lo hace todo el año. La órbita de la Tierra es excéntrica (es decir, con forma de elipse en lugar de circular). La distancia promedio entre la Tierra y el Sol es de 150 millones de kilómetros (la llamada Unidad Astronómica), pero cambia durante el año entre 152 y 147 millones, sin afectar el desarrollo de la vida en nuestro planeta. El cambio en la distancia hace oscilar el valor de la radiación que cae del Sol en valores del orden del 7%. Sin embargo, la distancia entre la Tierra y el Sol es posiblemente el factor menos crítico en relación con la temperatura promedio de la Tierra (más importante son consecuencias como el efecto invernadero, que mantiene la Tierra a temperatura habitable, o bien la actividad volcánica, que regula la cantidad de polvo en la atmósfera).

Aún más sorprendente es descubrir que también ha cambiado la distancia entre la Tierra y el Sol durante la historia del Sistema Solar. Al disminuir la velocidad de rotación del Sol, por las leyes de conservación de momento angular la Tierra se mueve más rápidamente y se aleja del Sol con el tiempo. El período de una rotación del Sol ha pasado de dos meses (cuando el Sol tenía una edad de mil millones de años) a un mes, pero la órbita terrestre sólo ha cambiado en centímetros.

¿Pueden salvar a nuestro mundo esas explosiones provocadas? ¿Habrá esperanza para la humanidad? Dejo a los lectores que lo descubran por sí mismos cuando vean la película. Como buenos periodistas, en las escenas finales los operarios de la imprenta del periódico tienen dos posibles titulares ya preparados para imprimir. En uno de ellos leemos «La Tierra, salvada», en el otro... «La Tierra, condenada».

PRÓXIMAMENTE...

**XV Canary Islands Winter School of Astrophysics
"PAYLOAD AND MISSION DEFINITION IN SPACE SCIENCES"**

Puerto de la Cruz, Tenerife (España), 17-28 noviembre, 2003.
<http://www.iac.es/winschool2003/info.html>



Diseño: Ramón Castro (SMM/IAC).



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>