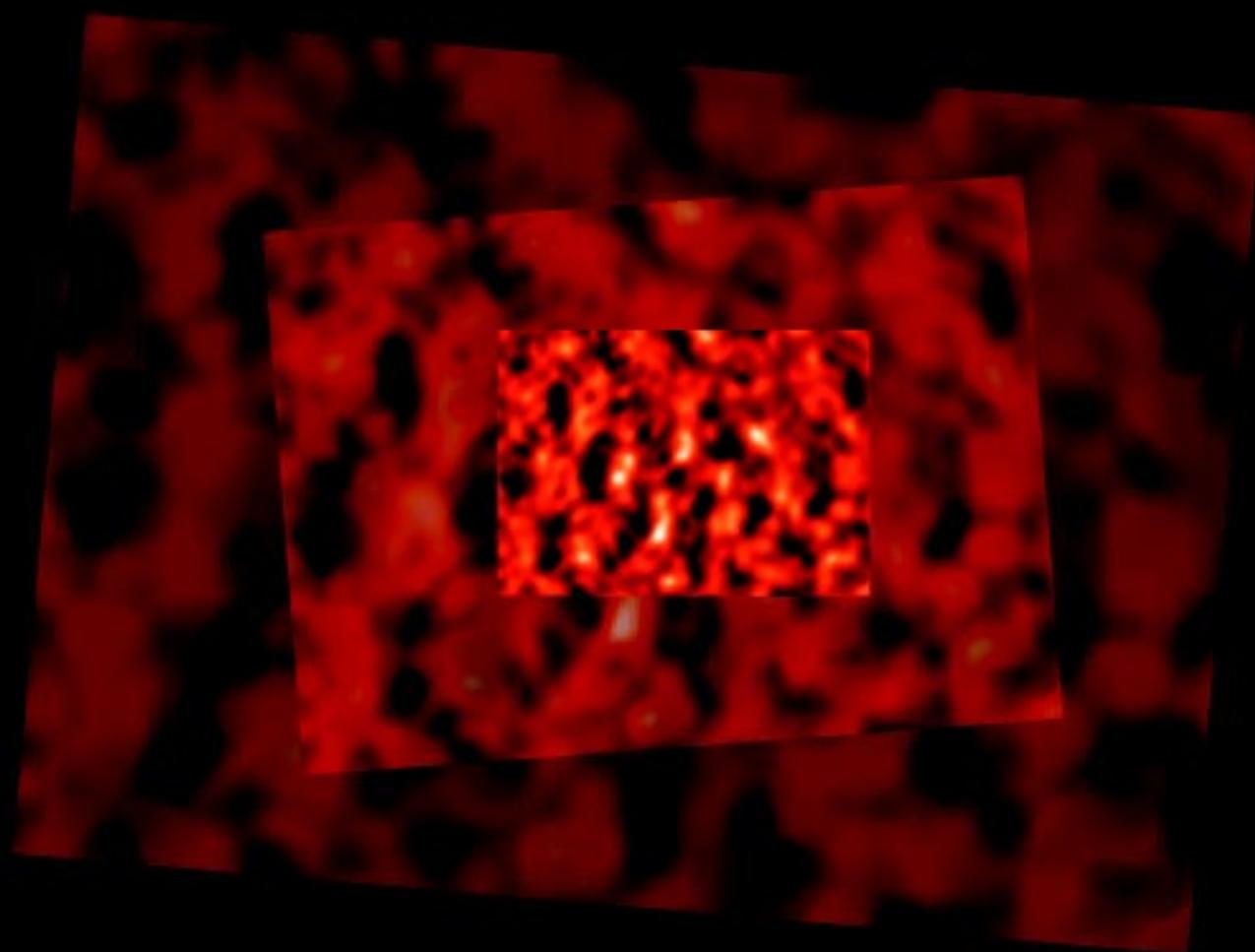




IAC NOTICIAS

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



Fósiles cósmicos

Última hora



CONSTITUCIÓN DEL «ENO»

El 27 de junio tuvo lugar en Oslo la primera reunión de la Junta Directiva de la red ENO (*European Northern Observatory*), de la que forman parte inicialmente instituciones científicas de Alemania, Bélgica, España, Italia, Francia y Reino Unido.

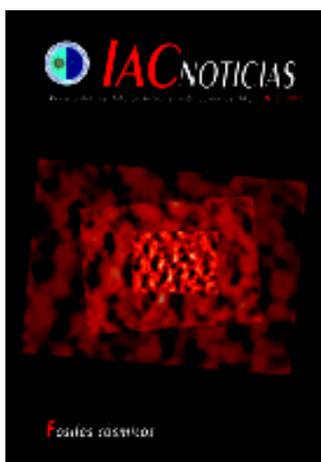
Esta red tiene como objetivo principal la prestación de servicios esenciales a la comunidad científica, y en especial a la europea, en relación con las observaciones astronómicas que se lleven a cabo desde el Hemisferio Norte.

ENO promoverá todas aquellas acciones, proyectos y otras iniciativas con vistas al establecimiento de facilidades comunes, a la construcción de instrumentación conjunta, a la formación de científicos y tecnólogos así como cuantas otras líneas de acción se consideren necesarias para fortalecer la cooperación, en el contexto del Espacio Europeo de Investigación, a fin de mantener, promocionar y desarrollar el equipamiento observacional en las Islas Canarias y garantizar su permanencia a la vanguardia de la ciencia.

Se nombró Presidente al Prof. Giancarlo Setti y vicepresidente al Prof. Rafael Rebolo. Se aprobó la estructura de gestión, basada en una Oficina Ejecutiva y la contribución de los miembros al presupuesto de los años 2002 y 2003. También se aprobó el *status* de miembro "asociado".

Como objetivos científicos de la red se definieron los siguientes: promover y desarrollar instrumentación astronómica avanzada así como proyectos para las Islas Canarias de supergrandes telescopios óptico-infrarrojos, para Física Solar y para Astrofísica de Altas Energías.

Asimismo se planificó el procedimiento para obtener fondos del VI Programa Marco de la Unión Europea y del hecho de que Canarias sea "Región ultraperiférica".



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 Begoña López Betancor*
Colaboraciones: *Annia Domènech, Natalia R. Zelman, Rubén García y Sara Gil*
Asesoramiento científico: *Luis Cuesta*
Asesoramiento técnico: *Carlos Martínez Roger*
Directorio y distribución: *Ana M. Quevedo*
Diseño original: *Gotzon Cañada y Carmen del Puerto*
Edición digital: *M.C. Anguita*
Dirección web: <http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>
Fotografías: *Servicio Multimedia del IAC (SMM), Gabinete de Dirección y otros*
Tratamiento digital de imágenes: *Gotzon Cañada y SMM del IAC*
Edita: *Gabinete de Dirección del IAC*
Preimpresión e Impresión: *Producciones Gráficas*
Depósito Legal: *TF-335/87 ISSN: 0213/893X. Núm. 51.*
Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en esta revista, citando como fuente al autor y al Instituto de Astrofísica de Canarias.

FOTO DE PORTADA: El Fondo Cósmico de Microondas, visto con el Experimento «VSA», del Observatorio del Teide.
Tratamiento: *Gotzon Cañada*.

Las galaxias starburst

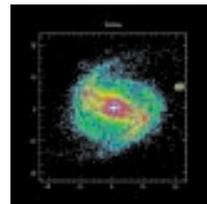
Existen galaxias en el Universo con una agitada vida interior. En muchas de ellas se están produciendo partos múltiples de estrellas, brotes masivos y violentos de formación estelar. De ahí el término inglés "starburst" que los astrónomos emplean para identificarlas. En el marco del proyecto "Grupo de Estudios de Formación Estelar (GEFE)" del IAC y con financiación del Gobierno de Canarias, se ha concluido un catálogo de unas 50 galaxias de este tipo, que han sido observadas en el rango visible e infrarrojo del espectro, usando telescopios de los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos. Estas imágenes compondrán el primer "Atlas de galaxias con formación estelar observadas desde Canarias", un manual de referencia que se editará también en CD-rom.

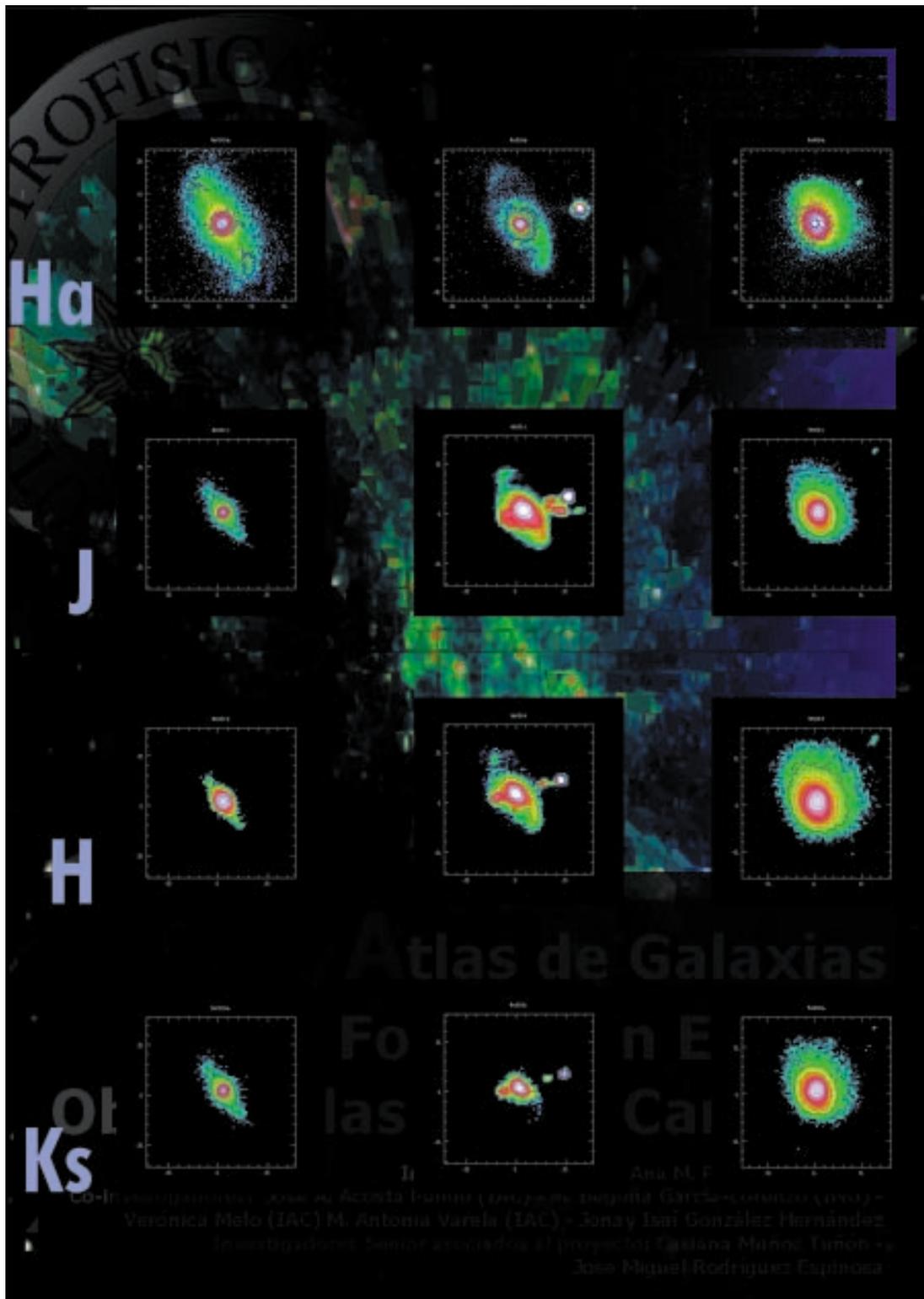


Ana M. Pérez
(IP del Proyecto del Gobierno Autónomo)



Casiana Muñoz-Tuñón
(IP del Proyecto GEFE)





Imágenes de algunas de las galaxias de la muestra en los filtros $H\alpha$, J, H y Ks de Mrk 1012, Mrk 353 y Mrk 430 (de izquierda a derecha).

En el proyecto GEFE (Grupo de Estudios de Formación Estelar) estamos interesados en estudiar la aparición de brotes de formación estelar violenta que se encuentran en los núcleos de algunas galaxias, llamados por esta razón *starbursts*. Se piensa que estos episodios violentos representan un periodo breve en la vida de esas galaxias, dado que el gas disponible no es suficiente para mantener un ritmo de formación estelar tan intenso. No obstante, estas galaxias son numerosas en el Universo local y de ellas proviene un 10% de la luminosidad total observada, lo cual las hace un fenómeno significativo desde el punto de vista energético.

El impacto que la formación estelar violenta tiene en el medio interestelar circundante implica un gran número de procesos físicos de interacción: fotoionización del gas por las estrellas calientes (regiones de hidrógeno ionizado o HII), vientos estelares, formación de super-burbujas y vientos galácticos, e influye incluso en la formación de futuras generaciones de estrellas. La exploración de estos procesos entre un brote de formación estelar y sus alrededores requiere el estudio de los componentes que resultan más afectados en la galaxia.

Física asociada

Las estrellas se forman a partir de grandes nubes de gas y polvo que colapsan hasta alcanzar elevadísimas temperaturas dando lugar a las reacciones nucleares que compensarán a las fuerzas gravitatorias tendentes a destruirlas. Los granos de polvo cósmico oscurecen gran parte de la luz visible. Este polvo, sin embargo, es transparente al infrarrojo cercano, donde podemos explorar regiones ópticamente invisibles tales como el centro de nuestra galaxia o de otras galaxias, o nubes densas donde se están formando estrellas y planetas. El estudio de muchos objetos donde se detecta la presencia de polvo -regiones de formación estelar, núcleos de galaxias activas o galaxias enteras- requieren ser observados en el infrarrojo pues la radiación visible es absorbida por el polvo y reemitida en este rango del espectro electromagnético.

Por otra parte, las regiones HII (o de hidrógeno ionizado por la estrella caliente cercana) son representativas del gas a partir del cual se han formado recientemente las estrellas. Son las re-

giones más brillantes del medio interestelar que emiten radiación cuando los protones (H+) y los electrones se recombinan dando lugar a líneas de emisión fácilmente detectables en el rango visible.

El fenómeno *starburst* puede aparecer cerca del centro galáctico, o quizás en su disco. El comienzo de la formación estelar puede ser resultado de encuentros gravitatorios o colisiones entre galaxias. Estas galaxias presentan normalmente altas razones de formación estelar a gran escala y, por tanto, dominadas por emisión de luz visible e infrarroja procedente de las estrellas masivas y jóvenes.

Las observaciones ópticas en banda ancha se completan haciendo imagen profunda en otras longitudes de onda. Para ello deben utilizarse filtros especiales en estas bandas, como son H α e infrarrojo cercano. Ambas nos aportarán información acerca de la tasa de formación estelar y el enrojecimiento interno, así como posibles distorsiones del campo gravitatorio en los objetos de la muestra.

«Estas galaxias son numerosas en el Universo local y de ellas proviene un 10% de la luminosidad total observada, lo cual las hace un fenómeno significativo desde el punto de vista energético.»

Instrumentación

Para la ejecución de este proyecto hemos utilizado las instalaciones de los dos observatorios del Instituto de Astrofísica de Cana-

rias: el Observatorio del Teide y el Observatorio del Roque de los Muchachos, en las islas de Tenerife y La Palma, respectivamente, así como de la sede central del IAC. La excelente calidad del cielo de Canarias garantiza el mejor enclave astronómico para la realización de este proyecto (<http://www.iac.es/gabinete/sky/sky.htm>).

Las imágenes profundas en H α se obtuvieron con el telescopio «Jacobus Kapteyn» (JKT) situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. El JKT es un telescopio de montura ecuatorial con un espejo parabólico de 1 m de diámetro; es un telescopio relativamente pequeño y actualmente se dedica a proyectos que requieren gran número de noches sin los requerimientos de un gran telescopio.

Las imágenes en el infrarrojo cercano se obtuvieron con el telescopio «Carlos Sánchez», situado en el Observatorio del Teide, en la isla de Tenerife. Se trata de un telescopio con un espejo

principal de 1,52 m de diámetro. Las observaciones se realizaron en tres filtros del IR cercano J, H y Ks disponibles en el telescopio.

De forma paralela analizamos la emisión en el infrarrojo medio y lejano de los objetos del catálogo, utilizando datos del satélite ISO (o de IRAS).

Imágenes en infrarrojo

El Universo nos envía una enorme cantidad de información en forma de radiación electromagnética (luz). Gran parte de ella se encuentra en forma de ondas infrarrojas, invisibles a nuestros ojos y a los telescopios ópticos. Todo cuerpo que tiene



una temperatura por encima del cero absoluto irradia ondas en la banda infrarroja. Por eso, la astronomía infrarroja significa el estudio de casi todas los objetos del universo, en una gama de longitudes de onda de 1 a 300 micrones (un micrón o micrómetro es la millonésima parte de un metro), entre el espectro visible y las microondas.

Tan sólo una ínfima cantidad de las ondas infrarrojas alcanzan la superficie de la tierra; sin embargo, el estudio de las longitudes de onda infrarrojas ha permitido a los astrónomos descubrir una extraordinaria cantidad de información.

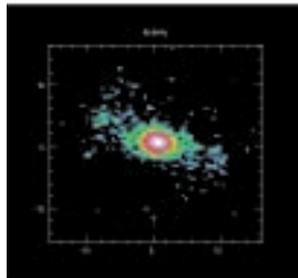
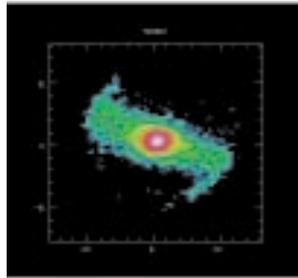
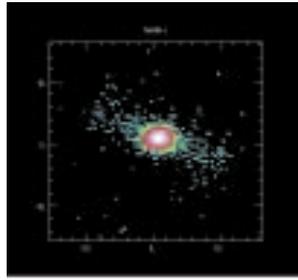


Telescopio «Carlos Sánchez» (TCS), a la izquierda, y Telescopio «Jacobus Kapteyn» (JKT), a la derecha, instalados en el Observatorio del Teide y en el Observatorio del Roque de los Muchachos, respectivamente. Son los telescopios utilizados para confeccionar el catálogo de galaxias starburst observadas desde Canarias. Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC).

El estudio de la formación estelar en galaxias se encuentra íntimamente ligado a la evolución y formación de las mismas y por extensión, del Universo. Existe una notable variedad en cuanto a la actividad de formación que se observa en los distintos tipos de galaxias. Su estudio ha experimentado un significativo avance estimulado en gran parte por dos descubrimientos clave: la existencia de una población de galaxias ultraluminosas en el rango infrarrojo, revelada por el satélite IRAS (que detectó cerca de 350.000 fuentes infrarrojas, con lo que el número de fuentes astronómicas catalogadas aumentó en un 70%) y, entre ellas, galaxias con formación estelar de alto corrimiento al rojo (alejándose de nosotros). Actualmente, este campo continúa en expansión gracias a la mejora de las técnicas observacionales, tanto desde tierra (mejora de sensibilidad, acceso a grandes telescopios) como desde el espacio (el satélite ISO, que operó desde 1995 hasta 1998).

Una forma de medir el ritmo de formación estelar es a través de la luminosidad infrarroja. En galaxias con brotes de formación, las estrellas jóvenes dominan el campo de radiación y el polvo interestelar absorbe gran parte de esta radiación, reemitiéndola en el rango infrarrojo medio y lejano. Los estudios realizados hasta ahora encuentran que las tasas de formación estelar que se determinan a partir de la emisión infrarroja son hasta un factor ~ 10 mayor que la determinada a través de la luminosidad en $H\alpha$, lo cual se atribuye a la extinción interna. La mayor parte de las galaxias "starburst" seleccionadas en el rango visible no presentan una luminosidad infrarroja que excede de 10-11 la luminosidad del Sol. En este sentido, son fundamentales los datos de ISO porque nos permitirán estimar la luminosidad

«Estas galaxias presentan normalmente altas razones de formación estelar a gran escala y, por tanto, dominadas por emisión de luz visible e infrarroja procedente de las estrellas masivas y jóvenes.»



De arriba a abajo, imágenes de Mrk 384 en el filtro J, H y Ks.

infrarroja especialmente en los casos cerca del límite de sensibilidad de IRAS. Por otro lado, se ha demostrado que una condición necesaria para mantener un alto ritmo de formación estelar en el núcleo es que haya una caída de material hacia éste. Por tanto, es esperable que existan perturbaciones en el potencial gravitatorio, lo cual aparecerá reflejado en los perfiles de brillo superficial.

Además, el estudio de la morfología en el infrarrojo cercano está relacionado con la distribución de población estelar más vieja. Este es un campo relativamente nuevo, debido a la reciente disponibilidad de detectores IR de gran formato. Completaremos nuestro estudio con imágenes en las bandas J, H, Ks obtenidas en el Observatorio del Teide. A partir de las imágenes en el IR cercano (J, H, Ks) y las imágenes en $H\alpha$ estudiaremos los perfiles de brillo de los objetos. Mediante una descomposición de las componentes galácticas (bulbo y disco) obtendremos los brillos del disco y bulbo de cada galaxia, y una "máscara" con la distribución de regiones HII descontaminada de la galaxia subyacente. Hemos desarrollado una metodología que nos permitirá analizar la estructura 3-D

asociada a estos objetos. Nuestro método nos permite analizar la posible relación entre la actividad circunuclear y nuclear tipo starburst y modelizar las diferentes estructuras (barras, anillos, bulbo, disco) que componen la galaxia.

El estudio de la emisión en el IR medio y lejano es fundamental para conocer la masa de polvo en los objetos, así como los mecanismos que lo ca-

lientan. Esto hace que sea otro buen estimador del ritmo de formación estelar. Las observaciones del satélite ISO permiten definir la distribución espectral

de energía desde el IR medio hasta el IR lejano, con la mayor sensibilidad hasta el momento y en una región inexplorada hasta ahora (desde

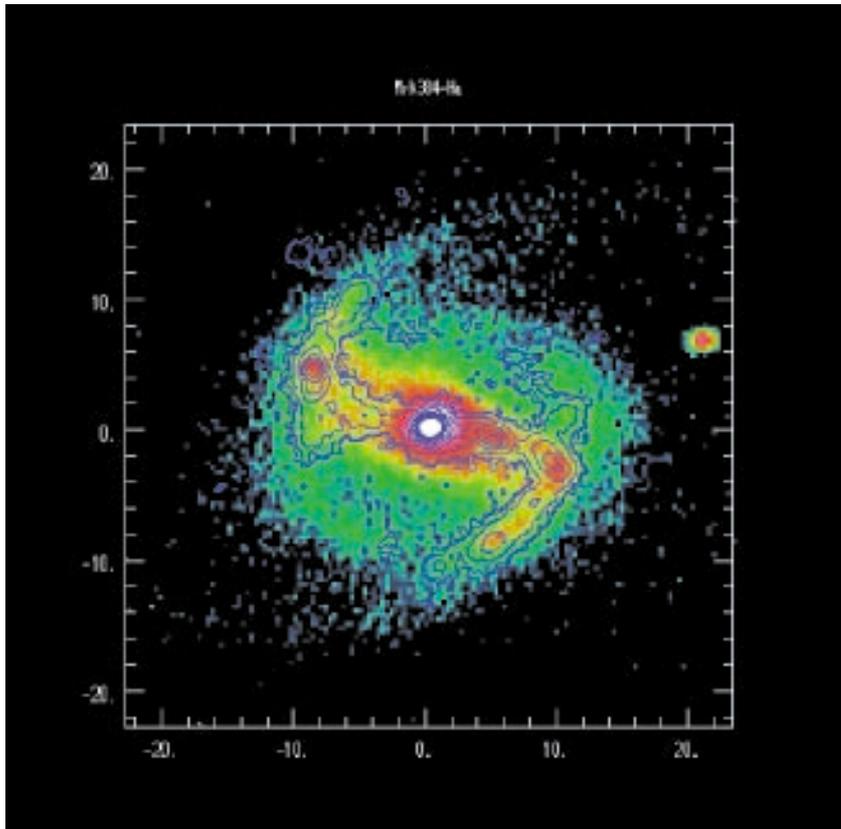


Imagen en el filtro H α de la galaxia Mrk 384.

120 hasta 200 micras). A partir de estos datos, que han sido liberados al público recientemente, podremos calcular la luminosidad infrarroja y, por tanto, el ritmo de formación estelar. Compararemos estos resultados con los obtenidos a partir de nuestro estudio de la emisión en H α .

La muestra de galaxias con formación estelar violenta ha sido seleccionada a partir de muestras existentes en la literatura de galaxias con líneas de emisión con criterios espectroscópicos, de forma que podemos discriminar entre galaxias con brotes masivos de formación estelar y otras galaxias con núcleo activo. Para todos los objetos de la muestra obtendremos los datos disponibles en el rango infrarrojo bien con observaciones recientes del satélite ISO y en su defecto usaremos datos de IRAS.

Imágenes en el visible

Uno de los mejores candidatos en el rango visible es el medio interestelar ionizado (HII) por las estrellas jóvenes y masivas, para lo que se utilizan filtros H α . Esto nos permite determinar la distribución y morfología de la formación estelar circunuclear, la localización de regiones HII y su función de luminosidad. También es el punto de partida para posteriores estudios de espectroscopía bidimensional que son la base de las medidas de densidad y condiciones físicas del medio ionizado.

Los investigadores que han participado en este proyecto son: A. M. Pérez García, J.A. Acosta Pulido, B. García Lorenzo, V.P. Melo, A.M. Varela, C. Muñoz Tuñón y J.M. Rodríguez Espinosa. También han colaborado: J.I. González Hernández, M.J. Vidal Núñez y P. Rodríguez Hidalgo.

«El estudio de la formación estelar en galaxias se encuentra íntimamente ligado a la evolución y formación de las mismas y, por extensión, del Universo.»

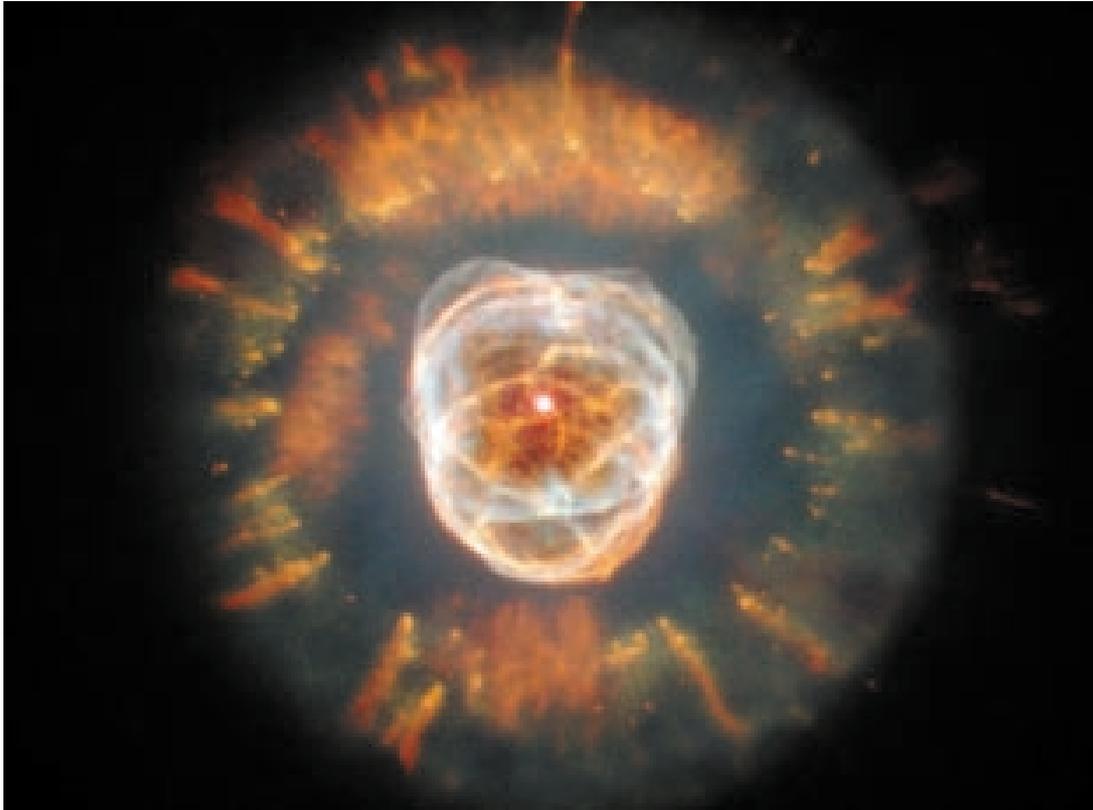
La luz difusa en cúmulos galácticos

Las galaxias no aparecen aisladas en el Universo, sino que tienden a agruparse en grandes cúmulos. Uno de ellos, el cúmulo de Virgo, contiene al menos 2.500 galaxias y es el más cercano a nosotros. De ahí que un equipo internacional de científicos, del que forman parte investigadores del IAC, lo estén utilizando como laboratorio. Su objetivo: esclarecer el origen y la naturaleza de la luz difusa intergaláctica. Para ello se estudian nebulosas planetarias en esta región del espacio, pues son estos objetos los que ayudan a identificar la luz difusa de un modo más fiable. Sus resultados preliminares han permitido confirmar la hipótesis del «mecanismo de *harassment*» para el origen de esta componente cumular: la luz difusa sería parte del material que fue arrancado de las galaxias como resultado de sus interacciones y depositado en el medio intercumular, donde se ha ido diluyendo. Encontrar respuestas sólidas a éstas y otras incógnitas, con ayuda de grandes telescopios y detectores de alta sensibilidad, supondrá avanzar en el estudio de la dinámica de los cúmulos de galaxias y arrojar, quizá, un poco de luz sobre la «materia oscura» del Universo.



**José Alfonso
López Aguerri**
(IAC)





La Nebulosa del Esquimal, nebulosa planetaria descubierta por William Herschel en 1787. © Andrew Fruchter (STScI) et al., WFPC2, HST, NASA.

En 1951, Fritz Zwicky detectó un exceso de luz entre las galaxias del cúmulo de Coma, la cual se denominó «luz difusa» o «luz intergaláctica». Ha pasado medio siglo y aunque durante todo este tiempo se ha intentado entender su origen y naturaleza no se ha llegado todavía a ningún resultado concluyente. La importancia de este tipo de estudio radica en que la luz difusa puede contener un registro fósil de la historia dinámica de los cúmulos de galaxias.

Las explicaciones que se han dado a la naturaleza de la luz difusa han sido varias: halos extensos de las galaxias cD de los cúmulos, cúmulos globulares arrancados de las galaxias o, simplemente, una defectuosa sustracción del fondo de cielo o estrellas de campo presentes en las

imágenes astronómicas. La principal dificultad técnica que los astrofísicos han encontrado en este tipo de trabajos es el bajo brillo superficial de esta componente cumular (28 mag/arcsec^2 en el filtro B), siendo tan solo un 1% más brillante que el fondo del cielo. Las observaciones de esta componente cumular requieren observatorios con una excelente calidad del cielo nocturno y detectores de alta sensibilidad. La instrumentación astrofísica ha alcanzado en nuestros días la sensibilidad necesaria para estudiar, por primera vez, las propiedades de esta luz.

Nebulosas planetarias

En 1996, Magda Arnaboldi y colaboradores, estudiando las nebulosas planetarias de la ga-

«La luz difusa o intergaláctica puede contener un registro fósil de la historia dinámica de los cúmulos de galaxias.»

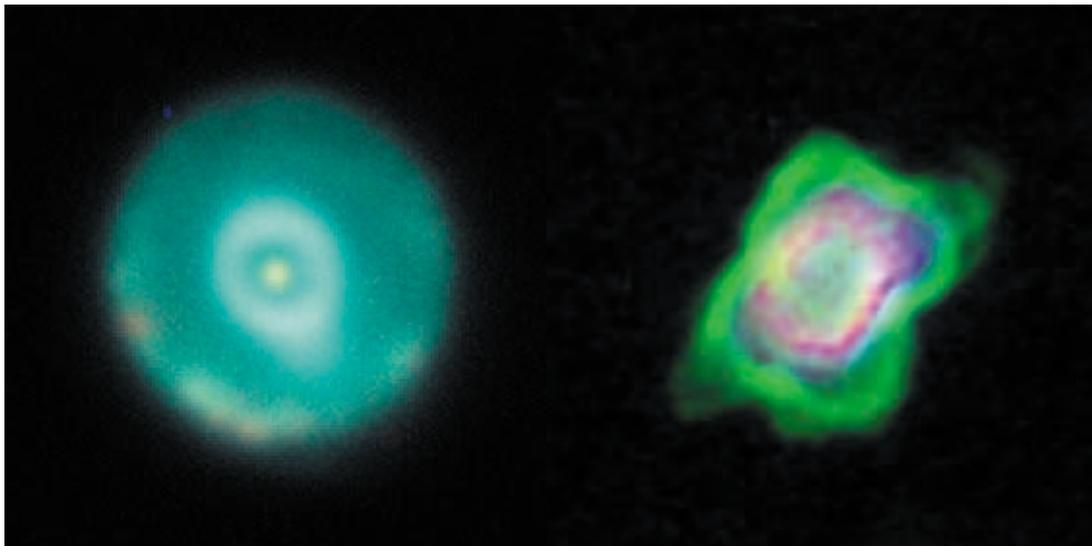
laxia NGC 4406 en el cúmulo de Virgo, detectaron que tres de ellas tenían una velocidad de dispersión muy diferente a las velocidades de dispersión del resto de las nebulosas planetarias pertenecientes a la galaxia. Esto significaba que no estaban gravitacionalmente ligadas a ella y que se encontraban "volando libremente" en el espacio intercumular de Virgo. Es decir, formaban parte de la luz difusa. Esto abrió un nuevo campo en el estudio de la luz difusa, ya que estas nebulosas planetarias intergalácticas podrían caracterizar dicha componente. Tras este descubrimiento fueron varios los grupos de astrofísicos que se lanzaron a la detección de nebulosas planetarias intergalácticas en el cúmulo de Virgo. Este cúmulo es el más cercano a nosotros, y el laboratorio ideal para el estudio de las propiedades de la luz difusa mediante nebulosas planetarias intercumulares.

Las nebulosas planetarias tienen la propiedad de que su emisión es casi monocromática. Una

«El cúmulo de Virgo es el más cercano a nosotros y el laboratorio ideal para el estudio de las propiedades de la luz difusa mediante nebulosas planetarias intercumulares.»

«Las nebulosas planetarias tienen la propiedad de que su emisión es casi monocromática... Esto hace que este tipo de objetos sean fácilmente detectables a grandes distancias, incluso fuera de nuestra galaxia.»

gran parte de la energía que nos llega de estos objetos se encuentra en una determinada longitud de onda: la línea O[III] a λ 5007 Å. Esto hace que este tipo de objetos sean fácilmente detectables a grandes distancias, incluso fuera de nuestra galaxia. La técnica de detección de estos objetos se basa en esta propiedad; consiste en tomar dos imágenes en regiones alejadas de las grandes galaxias del cúmulo: una con un filtro estrecho centrado en la línea del O[III] y la otra con un filtro más ancho que no contenga la emisión de la línea de O[III]. Aquellos objetos que emitan en el filtro estrecho y no en el continuo serán candidatos a nebulosas planetarias intercumulares. Basándonos en esta técnica y teniendo en cuenta además la estructura de estos objetos, nuestro grupo (integrado por científicos de España, Suiza, Italia y Australia) ha desarrollado un método automático de detección de este tipo de objetos en imágenes astronómicas de gran campo. Este método lo hemos aplicado a dos imágenes del cúmulo de Virgo, tomadas



Nebulosas planetarias M2-2 (izquierda) y NGC 7027 (derecha), imágenes del Catálogo Morfológico del IAC de Nebulosas Planetarias Galácticas del Hemisferio Norte. Autores: Arturo Manchado (IAC) et al.



Grupo de galaxias del Quinteto de Stephan. Son galaxias en interacción. Las grandes colas de marea que se forman en las interacciones galácticas son las que dan lugar a la luz difusa
© NASA y S. Gallagher (Penn State University), WFPC2, HST, NASA.

desde el observatorio de La Silla (Chile), obteniendo alrededor de 150 nebulosas planetarias intercumulares. Esto supone que, en los dos campos observados, el brillo superficial en el filtro B de este tipo de objetos representa el 20-40% del brillo superficial total asociado al cúmulo.

Geometría 3D del cúmulo de Virgo

Las nebulosas planetarias han sido usadas extensamente en Astronomía como indicadores de distancias. Esto es debido a que su función de luminosidad presenta un corte en magnitudes muy abrupto, es decir, no hay nebulosas planetarias más brillantes que una magnitud característica, la cual se puede usar como indicador de distancia. Uno de los campos que hemos observado se encuentra localizado a 1,5° al Norte de la galaxia M87 (esta galaxia es una de las brillantes del cúmulo de Virgo y se localiza muy cerca del pozo de potencial del cúmulo). La magnitud de corte de la función de luminosidad de las nebulosas

planetarias intercumulares detectadas por nosotros en ese campo es 0,85 magnitudes más brillante que la de la función de luminosidad de las nebulosas

planetarias que pertenecen a M87. Variaciones de metalicidad de las nebulosas planetarias pueden afectar a dicha magnitud, pero no tan significativamente. Esto significa que preferentemente estamos observando los objetos que están más cercanos a nosotros localizados en el campo de visión de nuestras imágenes, es decir, los más brillantes. Estas nebulosas planetarias más brillantes se localizan en el borde frontal del cúmulo más cercano a nosotros, estando un 18% (2,8 Mpc) más cerca que M87, lo cual demuestra que el cúmulo de Virgo tiene una profundidad apreciable. Mediante este tipo de observaciones estamos identificando la geometría 3D de la parte frontal del cúmulo de Virgo.

Historia dinámica

Uno de los grandes retos de la Astronomía moderna es encontrar una teoría sobre la evolución de las galaxias y cúmulos de galaxias. Hasta ahora hay dos modelos sobre la dinámica de los cúmulos de galaxias, los cuales suponen escenarios casi opuestos y, por lo tanto, las con-

clusiones que se obtienen, particularmente sobre la luz difusa, son muy distintas y contrastables observacionalmente. Esto hace que los estudios de la luz difusa intercumular sean de gran importancia para estudiar la dinámica de los cúmulos de galaxias.

En los años 80, David Merritt propuso un modelo de evolución de cúmulos, según el cual sus características fundamentales quedan fijadas desde etapas muy tempranas de su evolución. Los efectos de marea producidos sobre las galaxias por las interacciones entre ellas o con el potencial cumular sólo son importantes en las regiones centrales de los cúmulos. De esta forma, el tipo morfológico de las galaxias queda prácticamente fijado desde el principio de la evolución del cúmulo, con muy pocos cambios posteriores. Según este modelo, la luz intergaláctica consistiría en material arrancado de las galaxias en la épocas tempranas de la evolución del cúmulo. Esta componente estaría ahora relajada

con el potencial cumular y su distribución 2D sería uniforme.

La otra teoría sobre evolución de galaxias en cúmulos fue formulada en 1996 por el grupo

de Ben Moore. En este modelo las interacciones rápidas entre las galaxias y con el potencial cumular serían las que determinarían la morfología de las galaxias, incluso en épocas muy avanzadas de la evolución del cúmulo. Este es el llamado mecanismo de *harassment* («hostigamiento», en inglés). Debido a estas interacciones, parte del material galáctico sería arrancado de las galaxias y depositado en el medio intercumular en forma de grandes colas de marea, las cuales se irían diluyendo dando lugar a la luz difusa. Si este mecanismo fuera el causante de la luz intergaláctica, deberíamos encontrar que la distribución 2D de las nebulosas planetarias intercumulares no sería compatible con una distribución uniforme.

Hemos estudiado la distribución 2D de las nebulosas planetarias detectadas en nuestros dos campos de Virgo y hemos obtenido como resultado que su distribución no es uniforme. Esto supone que el mecanismo de *harassment* sería el más apropiado para explicar el origen de la luz difusa.

«La nueva generación de telescopios de 10 m (GTC) servirá para determinar con una mayor precisión las características de la luz difusa y poder así dar restricciones observacionales a las teorías de evolución dinámica de cúmulos de galaxias.»



Imagen que muestra la parte central de Cúmulo de Virgo, alrededor de la galaxia M87 (en el centro). Las imágenes del grupo en el que participa el IAC fueron tomadas en esta región.

Todos estos resultados obtenidos en el cúmulo de Virgo indican que la luz difusa es una componente importante del cúmulo y que su origen está asociado con los mecanismos de "harassment". Muchas preguntas acerca de la distribución y origen de esta componente siguen aún sin respuesta, pero es la primera vez que nos hemos acercado a dar una solución defini-

tiva a este problema abierto desde hace muchas décadas. La nueva generación de telescopios de 10 m (GTC) servirá para determinar con una mayor precisión las características de esta componente cumular y poder así dar límites observacionales a las teorías de evolución dinámica de cúmulos de galaxias.

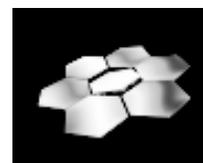
«La instrumentación astrofísica ha alcanzado en nuestros días la sensibilidad necesaria para estudiar, por primera vez, las propiedades de la luz difusa.»

Óptica inteligente

La revolución tecnológica de la astronomía y las nuevas inquietudes ante lo desconocido marcan el progreso en la investigación científica. En este contexto nace un conjunto de técnicas que ayudan a interpretar de manera más exhaustiva la información del cosmos que llega hasta nosotros en forma de radiación. Una de estas nuevas técnicas es la *Óptica adaptativa*, que tiene en cuenta el efecto deformador de la atmósfera - más conocido como "turbulencia atmosférica"- sobre las imágenes y que combina sensores de frente de onda, espejos deformables y sofisticados procesadores para corregir o compensar los defectos provocados. Otras técnicas asociadas consisten en la creación de estrellas artificiales a través de láser para suplir el déficit de estrellas brillantes de referencia, la observación mediante grandes telescopios compuestos por espejos segmentados en busca de una mayor sensibilidad (*Óptica activa*) y la medición de la turbulencia en las distintas capas de la atmósfera con la *Óptica adaptativa multiconjugada*. Todas ellas se están desarrollando actualmente en el IAC y son algo más que meras herramientas astronómicas. Son las nuevas expresiones de una *Óptica inteligente*, concebida para mirar con otros ojos el Universo.



Marcos Reyes
(IAC)





Con el fin de saber más sobre nuestro universo y entender mejor su origen, los astrónomos han de sumergirse en el abismo del oscuro cielo nocturno en busca de objetos cada vez más lejanos y más débiles. En principio, para cumplir este objetivo parece suficiente construir telescopios cada vez más grandes, capaces de captar la escasa luz que nos llega del universo profundo y de proporcionar observaciones de mayor resolución. Sin embargo, esto no es así. Mirar el cielo desde la Tierra es como mirar arriba desde el fondo de una piscina llena de agua. La deformación y pérdida de definición que sufre la imagen del exterior de la piscina observada a través del agua es similar al efecto que tiene la atmósfera terrestre sobre la luz que nos llega de los objetos del espacio.

La observación del cielo desde la Tierra siempre ha estado limitada por la atmósfera. La atmósfera es un medio turbulento que afecta a la luz que se propaga a través de ella como una onda electromagnética. Las variaciones principalmente de temperatura, y en menor medida de presión y humedad, producen cambios en el índice de refracción del aire. Estos cambios hacen que los rayos de luz no sigan un camino recto sino que se desvíen y que, por lo tanto, cada uno de ellos siga un camino óptico distinto. De esta forma, la turbulencia atmosférica deforma el frente de onda de la luz, alterando su fase y, por lo tanto, la distancia que recorre cada uno de los rayos hasta llegar a la apertura de nuestro telescopio.

Al tomar una imagen de una estrella con una cámara instalada en un telescopio, se manifiestan de inmediato estas distorsiones de fase de la luz que captamos. En vez de obtener la figura de difracción de nuestra apertura, la imagen bien definida de una fuente de luz puntual como cabría esperar de captar luz propagándose a través del vacío, nos encontramos con una mancha, un borrón cuya anchura es mucho mayor que la

predicha por la teoría de la difracción. La atmósfera está, por lo tanto, limitando la resolución angular de nuestro telescopio; como cada objeto lo vemos como una mancha, no se pueden distinguir objetos muy próximos unos a otros.

No es el diseño ni la calidad de la óptica lo que limita la resolución espacial que vamos a alcanzar con un telescopio, sino la turbulencia atmosférica, denominada también «seeing». Ni siquiera en los mejores observatorios del mundo, donde la calidad de la atmósfera es óptima, la resolución angular que se obtiene en las observaciones supera el medio segundo de arco, o lo que es lo mismo, no podríamos distinguir dos objetos separados 25 cm a una distancia de 100 km, lo cual supone una gran limitación a la hora de observar el universo lejano.

Los grandes telescopios actuales no tienen ningún sentido si no pueden alcanzar o acercarse a la resolución que tendrían si sólo estuvieran limitados por difracción, pudiendo así resolver objetos puntuales cuya separación angular sea muy pequeña o distinguir la estructura interna de objetos extensos. Si su resolución está limitada por *seeing* no será mayor que la que tiene un telescopio de unos pocos cm de diámetro.

Un ejemplo que nos queda cercano es el del Gran Telescopio CANARIAS (GTC).

El GTC, con sus 10,4 metros de diámetro, será el telescopio de mayor diámetro del mundo una vez entre en funcionamiento, capaz de obtener imágenes con la mayor resolución espacial conseguida hasta ahora desde tierra. Un segundo de arco es aproximadamente el ángulo con que se vería un árbol de 4 m de altura desde una distancia de 800 km. Sin embargo, la turbulencia atmosférica reduce su resolución angular teórica en el infrarrojo cercano de 0,03 a 0,6 segundos de arco, que es la equivalente al excelente *seeing* promedio del Observatorio del Roque de Los Muchachos en La

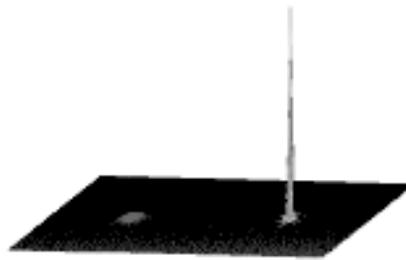


Figura 1.- Imagen de una estrella en el infrarrojo que se obtendría con el GTC, limitada por la turbulencia atmosférica (izquierda) y limitada por difracción (derecha).

«No es el diseño ni la calidad de la óptica lo que limita la resolución espacial que vamos a alcanzar con un telescopio, sino la turbulencia atmosférica, denominada también 'seeing'».

Palma. En la figura 1 podemos ver comparadas la imagen que se obtendría de una estrella con el GTC limitados por el *seeing* (pequeña montaña ancha de la izquierda) y limitados por difracción (imagen aguda y estrecha de la derecha).

Así pues, la atmósfera limita tanto la capacidad de resolver objetos muy próximos como la sensibilidad frente a objetos muy débiles. Para aumentar la resolución, además de aumentar la apertura, esto es, el diámetro de nuestro telescopio, es necesario compensar el efecto de la atmósfera turbulenta. Una alternativa clara que soluciona este problema es la construcción de telescopios espaciales. En el espacio, al no existir atmósfera, la resolución de un telescopio vendrá dada por su límite de difracción. Éste es el caso del Telescopio Espacial Hubble, con tan sólo 2 m de diámetro es capaz de conseguir imágenes con mayor resolución que los telescopios de 10 m instalados en la Tierra. Pero su alto coste de fabricación y la complejidad de su operación y mantenimiento (100 veces más que si estuviera instalado en tierra) hace que los telescopios espaciales sean proyectos poco viables.

«La óptica adaptativa consiste en una serie de técnicas instrumentales que permiten corregir o compensar en tiempo real y de forma activa la distorsión de fase inducida por la turbulencia sobre el frente de onda.»

Óptica adaptativa

La alternativa que nos queda es conocer el comportamiento de la atmósfera, medir sus efectos sobre la luz que nos llega del espacio y compensar estos efectos. Esta técnica se denomina «Óptica Adaptativa», y consiste fundamentalmente en medir la deformación del frente de onda producida por la turbulencia atmosférica y corregirla en tiempo real en el camino óptico que sigue la luz que llega del objeto científico observado.

En la última década, muchos de los descubrimientos importantes en Astrofísica están asociados a grandes telescopios que sacan rendimiento de su resolución teórica utilizando sistemas de óptica adaptativa.

El conocimiento de la turbulencia atmosférica requiere de diversas técnicas instrumentales que permiten

medir el comportamiento de dicha turbulencia y su evolución espacial y temporal. Una de las técnicas más utilizadas en la actualidad es el SCIDAR, que permite medir la distribución vertical de la turbulencia atmosférica, localiza las capas de aire donde se concentra dicha turbu-

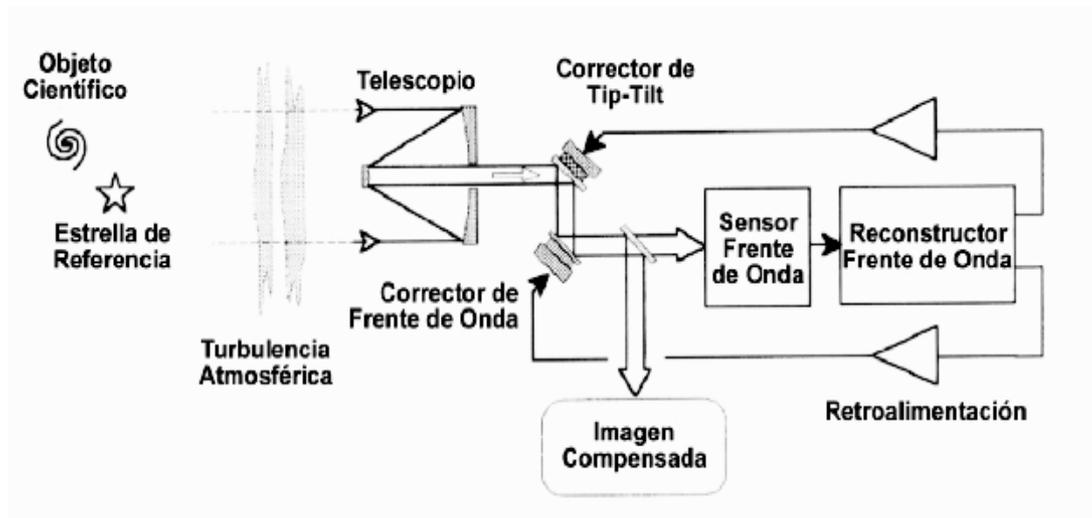


Figura 2.- Diagrama de bloques de un sistema de óptica adaptativa, donde se observa el espejo deformable (corrector de frente de onda), el sensor de frente de onda y el sistema de control (reconstructor de frente de onda).



Figura 3. Imagen de la cavidad del láser de sodio instalado en la OGS, del Observatorio del Teide, para la generación de estrellas guía artificiales para óptica adaptativa. Autor: Ángel Alonso (IAC).

lencia y extrae información de su comportamiento dinámico, su variación con el tiempo. Esta información permite no sólo determinar la calidad de un observatorio, sino que ayuda al diseño del sistema de óptica adaptativa. En el IAC, el Grupo de Alta Resolución Espacial, bajo la dirección de Jesús Jiménez Fuensalida, ha desarrollado un instrumento SCIDAR y se encuentra realizando campañas rutinarias de medidas de turbulencia en los observatorios de Canarias.

La óptica adaptativa consiste en una serie de técnicas instrumentales que permiten corregir o compensar en tiempo real y de forma activa la distorsión de fase inducida por la turbulencia sobre el frente de onda. En el camino óptico que sigue la luz a través del telescopio se actúa mecánicamente sobre ella, deformando uno de los espejos por los que pasa. Veamos cuáles deben ser entonces los elementos fundamentales de un sistema de óptica adaptativa. En primer lugar, necesitamos un sensor de frente de onda. Este sensor será los «ojos» del sistema de óptica adaptativa, el encargado de «ver» la turbulencia atmosférica, de medir la distorsión de fase del frente de onda de la luz recibida. En segundo lugar, necesitamos un espejo deformable. Este

espejo hará las veces de «manos» del sistema de óptica adaptativa, adaptará su superficie para compensar la deformación del frente de onda que incide sobre él, dejando a su salida un frente de onda plano, un conjunto de rayos de luz donde han desaparecido los efectos de la atmósfera. Y por último nos hace falta un sistema de procesado y control. El sistema de control será el «cerebro» del sistema de óptica adaptativa, que se encargará de procesar lo que ven los «ojos» (sensor de frente de onda), calcular cuánto se ha deformado el frente de onda de la luz y dar las instrucciones adecuadas a las «manos» (espejo deformable) para que se adapten al frente de onda y lo corrijan.

El espejo deformable es el elemento corrector del frente de onda. Como su nombre indica, es un espejo activo en el cual la forma de su superficie se puede controlar mediante actuadores, para ajustar la curvatura del mismo en cada punto y corregir de esta forma la deformación del frente de onda. El sensor de frente de onda es el elemento de medida del lazo de control cerrado de la óptica adaptativa; es el elemento encargado de medir la entrada de nuestro sistema, en este caso, el gradiente de fases del frente de onda

del objeto celeste en observación. Por su parte, el sistema de control o reconstructor del frente de onda, analiza en tiempo real (cientos de veces por segundo) las medidas del sensor de frente de onda, determina la inclinación del frente de onda en cada punto y genera las señales que deben aplicar a los actuadores del espejo deformable que permitirán corregir la imagen. Estas tareas requieren una gran capacidad de procesado, lo que supone para los grandes telescopios actuales el uso de redes de microprocesadores dedicados en exclusiva a esta misión. En la figura 2 pueden verse los elementos fundamentales de un sistema de óptica adaptativa.

«Los grandes telescopios actuales de tipo 8 m tienen sentido gracias a la óptica adaptativa, si no, la calidad de sus imágenes no sería mejor que la de un telescopio de 1 m.»

más, una estrella de referencia. La luz que nos llega de objetos muy lejanos en el espacio es escasa, tienen muy poca intensidad y no es suficiente como para poder coger parte de esa luz y medir el efecto de la turbulencia sobre ella, y mucho menos en tiempo real. Por ello es necesario contar con una

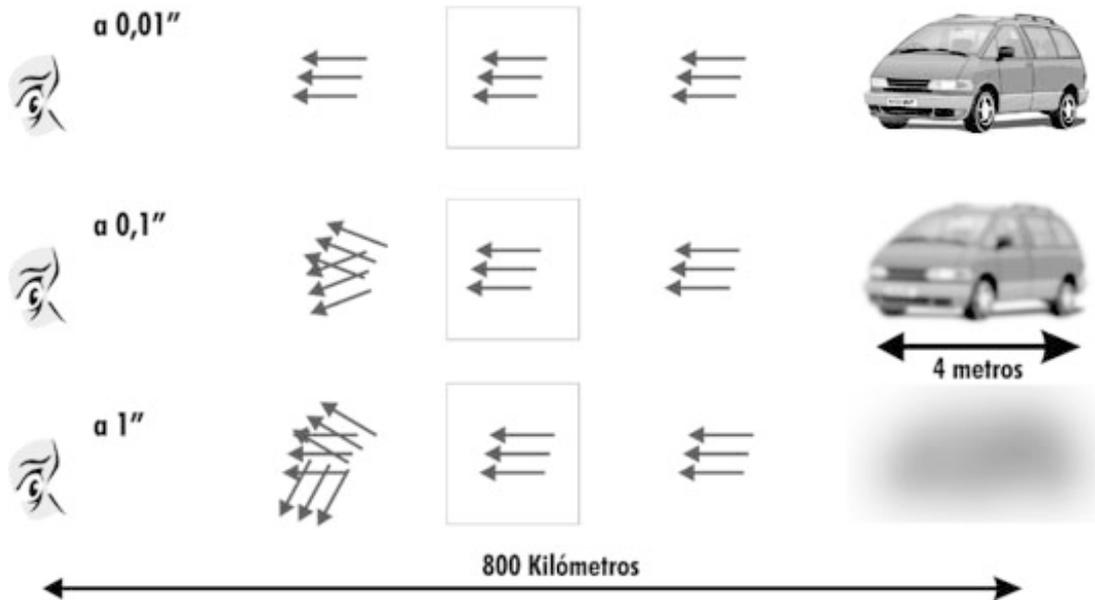
estrella brillante (denominada «estrella de referencia» o «estrella guía») cercana al objeto científico lo suficientemente intensa como para poder hacer medidas de

frente de onda en pocos milisegundos. La estrella guía además tiene que estar cerca del objeto que se va a observar ya que la turbulencia atmosférica varía espacialmente y las distorsiones de fase en cada punto de la atmósfera son distintas. De nada sirve medir la distorsión del frente de onda en un punto e ir a aplicar la corrección para otro punto que tiene una distorsión distinta.

Estrellas de referencia láser

En el diagrama de la figura 2 vemos, por un lado, el objeto científico que se quiere observar (representado por una galaxia espiral) y, ade-

La distancia angular a la que puede estar la estrella guía para que se pueda considerar la dis-



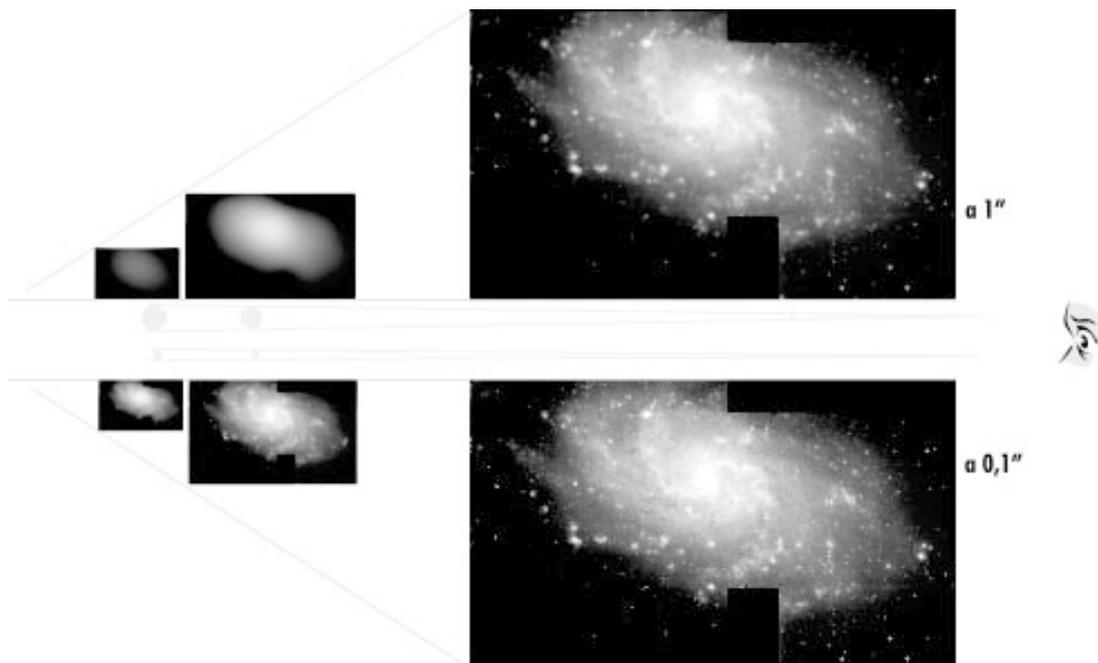
El dibujo ilustra la diferente calidad de imagen obtenida de un objeto observado a 800 km de distancia con distintas resoluciones angulares (1, 0,1 y 0,01 segundos de arco). Compárese la nitidez con que se observa el vehículo visto a 0,01 segundos de arco (no hay dispersión de las flechas), con la imagen borrosa del mismo vehículo (apenas una sombra) visto con 1 segundo de arco (flechas dispersas). Diseño: Gotzon Cañada y Carlos Martínez Roger.

torsión de fase sobre su frente de onda igual a la del objeto se denomina ángulo isoplanático. Un valor típico de «ángulo isoplanático» en el visible es 1,3 segundos de arco. La probabilidad de encontrar en el cielo una estrella guía dentro del ángulo isoplanático de otros objetos científicos a observar es muy baja. Por lo tanto, la zona del cielo en la que podríamos utilizar un sistema de óptica adaptativa es muy baja y esta baja eficiencia no justifica su coste y complejidad.

Para solucionar este problema surgió la idea de crear «estrellas guía artificial» o «estrellas guía láser». El concepto básico es simple y consiste en utilizar la dispersión o *scattering*, producido por las partículas que hay en la atmósfera, de la luz de un haz láser. Un láser de alta potencia es transmitido desde un lugar cercano al telescopio de observación y dirigido a un punto cercano en el cielo al objeto que se está observando. Las partículas de la atmósfera (moléculas, polvo,...) dispersan la radiación recibida (*backscattering*) y la luz que «devuelven» es de-

tectada por el sensor de frente de onda y utilizada para la medida de la distorsión producida por la atmósfera. Esa luz dispersada por una columna de atmósfera de diámetro, longitud y altura determinadas es la que se denomina «estrella guía láser».

La estrella guía láser más utilizada es la de sodio, que se genera por la dispersión de la luz del láser en moléculas de sodio situadas en la mesosfera terrestre, a unos 90 km de altura. El IAC tiene su propio sistema de estrella guía láser, desarrollado apoyándose en la infraestructura del telescopio de la estación Óptica Terrestre (OGS), en el Observatorio del Teide. La OGS es un proyecto desarrollado por el IAC con la Agencia Espacial Europea (ESA), cuyo principal objetivo es realizar pruebas de comunicaciones ópticas con satélites. El IAC instaló el láser de sodio y diseñó su sistema de lanzamiento. Las pruebas realizadas a lo largo de los últimos años han servido para el desarrollo de la tesis de Sergio Chueca.



En esta composición se ilustra la combinación de dos efectos: la distancia a la que se encuentra el objeto de nosotros y la resolución angular con la que lo observamos (0,1" y 1"). Las imágenes más grandes corresponden a una galaxia próxima, observada con mayor y menor nitidez, seeing de 0,1" y 1" respectivamente. Las de tamaño intermedio corresponden a la misma galaxia, pero colocada 5 veces más lejos. En las más pequeñas, la galaxia está situada 10 veces más lejos. Se aprecia claramente la forma de la galaxia sólo en el caso de mayor resolución, mientras que prácticamente se desvanece a la resolución de 1". La alta resolución espacial es una herramienta indispensable para el estudio de los confines del Universo. Diseño: Gotzon Cañada y Carlos Martínez Roger, sobre un mosaico de imágenes de la galaxia M 33, obtenidas con el Telescopio «Isaac Newton», del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), por L. Magrini, R. Corradi, A. Mampaso y M. Perinoto.

Óptica activa

Los grandes telescopios actuales de tipo 8 m tienen sentido gracias a la óptica adaptativa, si no, la calidad de sus imágenes no sería mejor que la de un telescopio de 1 m. Aparte de ser grandes colectores de luz, su resolución se acerca al límite de difracción gracias a la óptica adaptativa. Sin embargo,

«El interés actual en la óptica adaptativa multiconjugada está directamente relacionado con la corrección de los efectos de la turbulencia en grandes telescopios y en los futuros telescopios extremadamente grandes (ELTs), en todo el espectro infrarrojo y visible.»

los espejos de grandes dimensiones tienen problemas intrínsecos de fabricación, instalación y manejo. La solución más atractiva consiste en construir un gran espejo formado por varios segmentos. Esto tiene problemas añadidos, ya que al no ser una superficie continua produce también efectos sobre la luz que captan. La separación entre segmentos, la orientación relativa entre ellos y la posición adelantada o retrasada de los mismos introducen aberraciones en la señal óptica. Para corregir esos efectos se instalan sensores en los bordes de los segmentos y se mide el desplazamiento relativo que existe entre cada par de ellos y se compensa en tiempo real mediante actuadores mecánicos sobre cada segmento. Este sistema se encuentra operativo incluso mientras se realizan las observaciones científicas, aplicando correcciones varias veces por segundo. En definitiva se trata de poner todos los segmentos en fase y orientados adecuadamente. A este proceso se le denomina óptica activa, que no se encarga de corregir efectos de la turbulencia atmosférica sino efectos instrumentales.

El espejo primario del Gran Telescopio de Canarias es de



Láser a la salida del telescopio proyectado en la cúpula de la OGS. Foto: Ángel Alonso (IAC).

tipo segmentado, y su sistema de control incluye óptica activa. El diseño ha sido realizado por el grupo de óptica de la empresa «Gran Telescopio de Canarias» (GRANTECAN), dirigido por Javier Castro. En el IAC, Chema Rodríguez se encuentra trabajando en la aplicación de sensores de curvatura del frente de onda para efectuar medidas ópticas de la posición de los segmentos, necesarias para el calibrado de los sensores de borde.



Figura 4.- Ejemplo de un espejo segmentado, cuyos segmentos se encuentran desplazados unos respecto a otros, produciendo distorsiones en la señal óptica.

Óptica adaptativa multiconjugada

El último paso que se está dando en el ámbito de la óptica adaptativa se denomina «óptica adaptativa multiconjugada». Como comentamos anteriormente, la región angular dentro de la



Dispersión del láser transmitido desde la OGS atravesando la atmósfera. Foto: Miquel Serra-Ricart (IAC).

cual la turbulencia puede ser considerada constante es muy pequeña, de ahí que la zona del campo de visión (porción de la imagen) donde el frente de onda está corregido por un sistema de óptica adaptativa es muy reducida. La óptica adaptativa multiconjugada trata de solucionar este problema.

Consiste en corregir la turbulencia atmosférica tridimensionalmente mediante el uso de más de un espejo deformable. Cada espejo deformable se conjuga ópticamente a una altura determinada sobre el telescopio, esto es, se instala en el camino óptico de tal forma que la luz que pasa por él es como si fuera observada en una capa determinada de la atmósfera. La ventaja que se obtiene con este método es que, combinando la corrección de todos los espejos, el área isoplanática o parte de nuestra imagen que queda corregida de turbulencia es mucho mayor. Las señales de control para los actuadores de cada espejo deformable se obtienen a su vez de varios sensores de frente de onda, cada uno observando su propia estrella guía. El sistema de control recoge la información de todos los sensores de frente de onda y «reconstruye» la distorsión tridimensional instantánea del mismo, determinando a su vez la corrección a apli-

car con cada espejo deformable. Al concepto de reconstrucción de la estructura en tres dimensiones de un objeto (en este caso la turbulencia) a partir de su observación desde varios puntos de vista se le denomina «tomografía».

El interés actual en la óptica adaptativa multiconjugada está directamente relacionado con la corrección de los efectos de la turbulencia en grandes telescopios y en los futuros telescopios extremadamente grandes (ELTs), en todo el espectro infrarrojo y visible. Actualmente, el grupo de óptica de la empresa GRANTECAN está trabajando en el diseño del sistema de óptica adaptativa del GTC, que incluye la posibilidad de expansión a un sistema de óptica adaptativa multiconjugada. Este trabajo está desarrollándose bajo la dirección de Nicholas Devaney, quien a su vez es el representante de GTC-IAC dentro de la red europea de investigación tecnológica en óptica adaptativa multiconjugada para telescopios extremadamente grandes.

Medidas de perfiles de turbulencia atmosférica, óptica adaptativa, estrellas de referencia láser, óptica activa, óptica adaptativa multiconjugada... en definitiva, óptica inteligente.





En primer plano, el nuevo telescopio solar sueco. Detrás, el Telescopio «William Herschel», en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Autor: Miguel Briganti (SMM/IAC)

TELESCOPIO SOLAR

El nuevo telescopio solar de la Real Academia de Ciencias de Suecia, ubicado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, vio su primera luz el pasado 2 de marzo.

El diseño del telescopio incluye una técnica que contrarresta la distorsión de imagen causada por la atmósfera. Esto permitirá a los investigadores ver y fotografiar detalles de la superficie del Sol de un tamaño tan pequeño que jamás se ha conseguido hasta ahora. El nuevo telescopio estudiará importantes cuestiones de gran actualidad en relación con los campos magnéticos solares y la dinámica de la capa superior de la atmósfera solar.

También se utilizará para avanzar en el conocimiento sobre la formación de los espectros estelares.

La lente frontal del telescopio alcanza un metro de diámetro, lo que lo convierte en el mayor telescopio de óptica solar de Europa y en el segundo del mundo, detrás del telescopio McMath-Pierce, instalado en Arizona (EEUU). Ubicado en el mejor emplazamiento del planeta para telescopios solares, se espera que pueda discernir rasgos de incluso 70 km en la superficie solar. Para ello, se requiere lo que se conoce como "espejo deformable", que corrige la distorsión creada por la atmósfera de la Tierra a un ritmo de 1.000 veces



En la foto, el Director del Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias de Suecia, **Goran Scharmer**, el Coordinador de Investigación del IAC, **Pere Lluís Pallé**, el Presidente de la Academia, el Profesor **Janne Carlsson**, y su Secretario General, Profesor **Erling Norrby**. Foto: Juan Carlos Pérez Arenceibia (IAC).



KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

EL TELESCOPIO SOLAR MÁS GRANDE DE EUROPA RECIBIÓ SU PRIMERA LUZ EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS EL PASADO 2 DE MARZO.



*Interior del telescopio solar sueco.
Foto: Juan Carlos Pérez Arencibia
(IAC).*

por segundo. Éste es el primer telescopio solar que ha sido concebido para trabajar con un espejo de este tipo. El sistema de óptica adaptativa se instaló durante el mes de abril tras realizarse los ensayos de verificación óptica y estuvo plenamente operativo a finales de abril.

La Real Academia de Ciencias de Suecia es quizás más conocida por ser la Institución que concede los premios Nobel, pero también tiene a su cargo siete centros de investigación repartidos entre Suecia y La Palma. Estuvieron presentes durante el acto el Presidente de la Academia, el Profesor **Janne Carlsson**, su Secretario General, Profesor

Erling Norrby, su Secretario Ejecutivo, Mr. **Kai-Inge Hillerud**, y el Director de su Instituto de Física Solar, Profesor **Goran Schamer**.

Este instrumento sustituye a un telescopio anterior de 50 cm, que durante más de una década se situó a la cabeza mundial en el campo de la investigación solar.

El telescopio ha sido financiado principalmente por la Real Academia de Ciencias de Suecia, junto con tres fundaciones privadas con sede en Suecia. Para su operación se contará con la colaboración del Instituto de Astrofísica Teórica de Oslo (Noruega) y de otros socios internacionales.

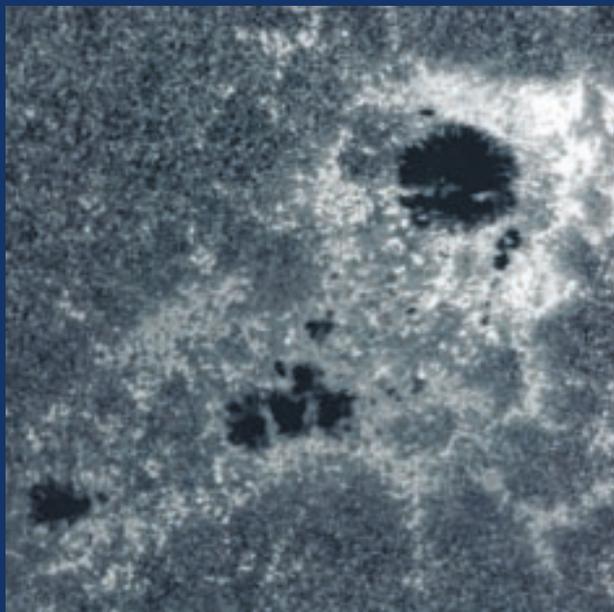


Imagen de primera luz en CaK de manchas solares en la superficie del Sol. © Instituto de Física Solar de la Real Academia de Ciencias de Suecia.

Más información:

<http://www.astro.su.se/groups/solar/first-light.html>



FUENTE DE ONDAS GRAVITATORIAS



Observaciones conjuntas llevadas a cabo con el Telescopio Nazionale Galileo (TNG), de 3,58 m, instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), y con el Very Large Telescope (VLT), del Observatorio Europeo Austral (ESO), en Chile, han permitido descubrir que el objeto estelar RXJ0806.3+1527, hasta ahora conocido como fuente de rayos X, es un sistema binario (del llamado tipo AM CVn) formado por dos estrellas enanas blancas, compuestas por helio de altísima densidad.

Las estrellas se encuentran orbitando una alrededor de la otra con un período de revolución de tan solo 321 segundos; éste es el período orbital más corto hasta ahora conoci-

do para un sistema estelar doble, según informa el grupo internacional de astrofísicos encabezado por **Gian Luca Israel** y **Luigi Stella**, del Observatorio Astronómico de Roma, autores del descubrimiento.

Por la extrema cercanía de las dos estrellas entre sí y la gran masa total del sistema doble, el objeto RXJ0806.3+1527 destaca como el candidato más favorable para la detección de ondas gravitatorias de acuerdo con las predicciones de la Teoría de la Relatividad General de Einstein.

Las observaciones del TNG se han llevado a cabo con el instrumento para espectroscopía e imagen directa DOLORES, que ha permitido analizar este peculiar objeto



Telescopio Nazionale «Galileo», instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC)

RXJ0806.3+1527:
LA FUENTE DE ONDAS GRAVITATORIAS MÁS INTENSA DESCUBIERTA EN EL UNIVERSO.

SE TRATA DE UN SISTEMA ESTELAR DOBLE CON EL PERÍODO ORBITAL MÁS CORTO HASTA AHORA CONOCIDO.

LAS ONDAS GRAVITATORIAS, PREDICHAS POR EINSTEIN, PODRÍAN SER DETECTADAS EN ESTE SISTEMA DADA LA GRAN MASA DE LAS DOS ESTRELLAS Y LA PROXIMIDAD ENTRE ELLAS.

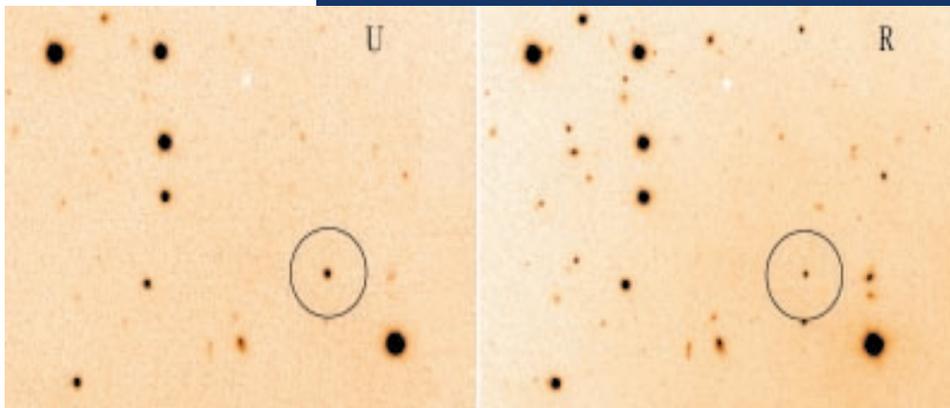


Telescopio Nazionale «Galileo»
(TNG). Foto: Miguel Briganti
(SMM/IAC)

cósmico en el rango óptico, con la más alta resolución temporal y en diferentes longitudes de onda.

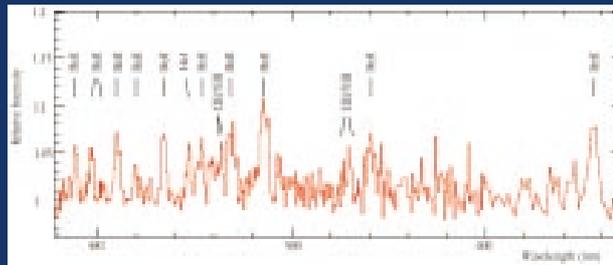
Estos resultados han sido presentados a la comunidad científica internacional el pasado día 22 de febrero a través de una circular de la IAU. El descubrimiento se comenta en la revista científica *Science* en una nota publicada en su número del 15 de marzo.

El “Telescopio Nazionale Galileo” (TNG) es el primer telescopio de la comunidad astronómica italiana. El proyecto está bajo la dirección del “Istituto Nazionale di Astrofisica” (INAF) de Roma. Este telescopio se encuentra en el Observatorio del Roque de los Muchachos, del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), en la isla de La Palma, uno de los mejores sitios del mundo para la observación astronómica.



Arriba, imagen del campo estelar donde se encuentra el objeto RX J0806.3+1527 vista en los filtros U y R. Abajo, espectro del objeto donde se muestran las líneas de emisión que prueban la alta temperatura de las estrellas del sistema.

© ESO.



EL COMETA «IKEYA-ZHANG»

Desde mediados de marzo, el cometa Ikeya-Zhang fue visible a simple vista al atardecer. Este cometa, aunque no tan brillante como el cometa Hale-Bopp o el Hyakutake, pudo observarse desde lugares con buena visibilidad al noroeste, y con prismáticos pudo apreciarse una cola de hasta 5 grados de extensión. Sin embargo, los astrónomos vieron una conjunción especialmente interesante cuando el cometa pasó por delante de la galaxia de Andrómeda. Aunque esta conjunción no tiene ninguna importancia astronómica, ofreció la oportunidad de localizar fácilmente el cometa. Además permitió obtener unas imágenes especialmente espectaculares del paso de un cometa ante la galaxia más grande y brillante del Hemisferio Norte.

Cuando el japonés Kaoru Ikeya descubrió un cometa de magnitud 9 el pasado 1 de febrero entre las constelaciones de Cetus y Acuario no sospechó la importancia que podría tener. Ikeya, descubridor de varios cometas importantes en los años 60, incluido el famoso cometa Ikeya-Seki, es ahora el dueño de una empresa de óptica y hace ya casi 30 años que abandonó la búsqueda de cometas. El descubrimiento se realizó visualmente con un telescopio de 25 cm. Una hora y media más tarde, el chino

Daqing Zhang también encontró el cometa con un telescopio de 20 cm, siendo la primera vez en más de dos siglos que se descubre visualmente un cometa desde China. El cometa se ha bautizado con el nombre de «Ikeya-Zhang».

El cometa de Hevelius

A los pocos días de descubrirse se puso de manifiesto que la órbita del cometa guardaba una semejanza considerable con dos cometas vistos en el pasado: el cometa de 1532, observado del 2 de septiembre al 30 de diciembre de aquel año, y el cometa de 1661, descubierto por el famoso astrónomo Johannes Hevelius, desde la ciudad de Gdansk, el 3 de febrero de 1661 y observado hasta el 28 de marzo del mismo año. Tras estudios exhaustivos de la órbita del Ikeya-Zhang se puede afirmar que es prácticamente seguro que ese cometa representa la reaparición del cometa de Hevelius. Por tanto, su período es de 341 años, aunque, igual que el cometa Halley, el período exacto puede variar en unos años.

Hasta la fecha, el cometa con el mayor período que se ha visto en al menos dos ocasiones ha sido el cometa Herschel-Rigollet, de 155 años de período y visto por última vez en 1939. El cometa Ikeya-Zhang es, por consiguiente y con di-



Imagen del cometa Ikeya-Zhang observado el 3 de marzo de 2002 con una cámara CCD MX916 acoplada a un telescopio 1x200 de 10 pulgadas, por Ramon Naves y Montse Campàs, en la Estación Número 213 del Minor Planet Center, el Observatorio de Montcabrer Cabrils.

EL COMETA
"IKEYA-ZHANG"
PASÓ POR DELANTE
DE LA GALAXIA DE
ANDRÓMEDA.

TRAS ESTUDIOS
EXHAUSTIVOS DE LA
ÓRBITA DEL IKEYA-
ZHANG SE PUEDE
AFIRMAR QUE ES
PRÁCTICAMENTE
SEGURO QUE ESE
COMETA
REPRESENTA LA
REAPARICIÓN DEL
COMETA DE
HEVELIUS.



La galaxia de Andrómeda ó M31.
© IAC-RGO. D. Malin et al.

ferencia, el cometa de mayor período que se ha visto en más de una ocasión. Incluso es posible que un cometa observado en China en 1273 también fuera el Ikeya-Zhang, aunque aún no se ha confirmado esta hipótesis.

¿Un cometa fragmentado?

Puesto que existe un gran parecido entre la órbita del cometa Ikeya-Zhang y las órbitas de los cometas de 1532 y de 1661, es posible que los dos sean los fragmentos de un cometa mayor que se rompiera en el pasado. El astrofísico del IAC **Mark Kidger** y el británico **Graeme Waddington** están estudiando esa posibilidad. El primero ha sugerido la idea de que sean fragmentos de un solo cometa, mientras que el segundo dispone de los pro-

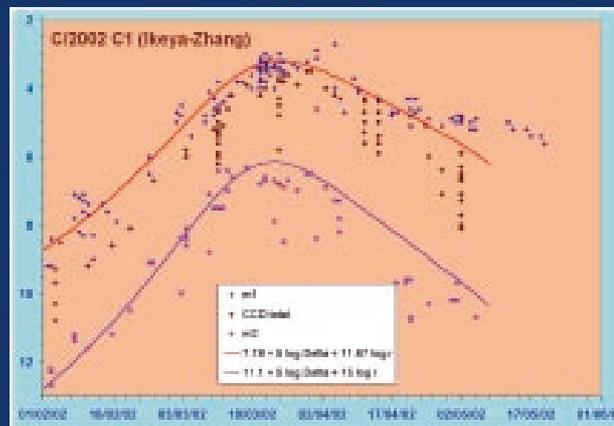
gramas sofisticados que permiten realizar el estudio dinámico y la experiencia en interpretar los resultados. Se sabe que la órbita del cometa Ikeya-Zhang se aproxima mucho a la de Júpiter y que esa circunstancia permite que el cometa pueda acercarse mucho al planeta, cambiando su órbita de forma considerable.

Los resultados demuestran que es posible que el cometa se haya roto en dos cerca del Sol en el siglo V, hace 4 vueltas al Sol, y que se hubiera encontrado con Júpiter unos 13 meses después. La fuerza de gravedad de Júpiter cambiaría sus órbitas separándolos de tal modo que luego podrían regresar con más de un siglo de diferencia en tiempo. De ser así, es posible que el segundo fragmento, con diferencia el mayor de los dos, regrese a finales de este siglo.

Más información:

<http://www.iac.es/galeria/mrk>

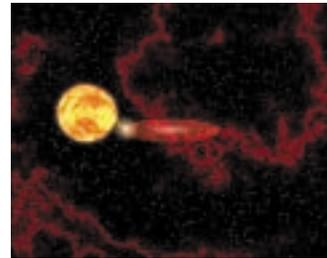
Curva de luz del cometa C/2002 C1 (Ikeya-Zhang) realizada a partir de la colaboración de numerosos astrónomos aficionados españoles e italianos participantes en la lista de correo de observadores de cometas «Cometas-Obs».



LUCES EN LA OSCURIDAD

En las últimas décadas, el estudio de los sistemas binarios de rayos X ha suscitado un gran interés entre los astrónomos por constituir el mejor indicio de la existencia de agujeros negros en nuestra galaxia, la Vía Láctea. Se trata de sistemas estelares en donde una estrella de neutrones o un agujero negro está continuamente recibiendo gas de una estrella “normal” que gira en torno a él. Este gas se calienta tanto, que emite en rayos X. Algunas de estos sistemas binarios pasan por un estado de quietud

en el que la emisión de rayos X es un millón de veces menos intensa de lo normal. En esas circunstancias, los sistemas que contienen un agujero negro son incluso más débiles que los formados por una estrella de neutrones. Esto pudiera ser debido a que la energía se pierde al pasar por el horizonte de sucesos del agujero negro, el punto que define la región de la cual nada, ni siquiera la luz, puede escapar a los efectos gravitatorios de este objeto. Pero, para estar seguros, los astrónomos necesitan conocer con más detalle cómo



Simulación de un agujero negro en un sistema binario.

Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

ASTRÓNOMOS DEL IAC OBSERVAN CON EL TELESCOPIO “WILLIAM HERSCHEL” DESTELLOS DE LUZ PROCEDENTES DEL ENTORNO DE UN AGUJERO NEGRO.

LOS SISTEMAS BINARIOS DE RAYOS X, LA MEJOR PRUEBA DE LA EXISTENCIA DE AGUJEROS NEGROS EN NUESTRA GALAXIA, SON MÁS ACTIVOS DE LO QUE SE PENSABA.

ESTE RESULTADO ES FRUTO DE LA COLABORACIÓN CON INVESTIGADORES DE LAS UNIVERSIDADES BRITÁNICAS DE SOUTHAMPTON Y OPEN UNIVERSITY.

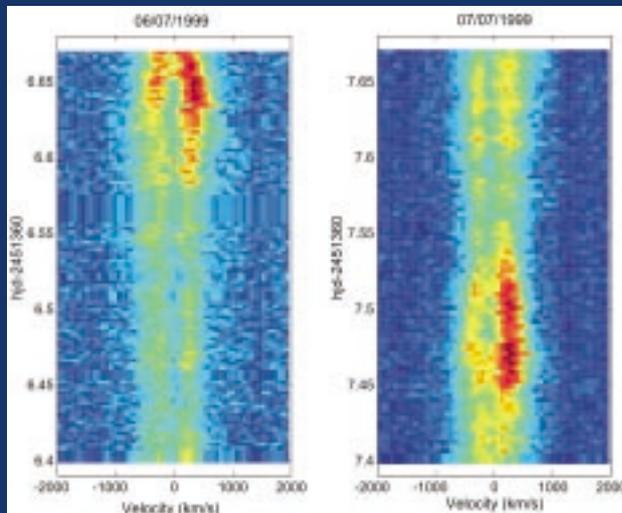


Figura bidimensional para visualizar variaciones temporales en el espectro de la línea de $H\alpha$ para V404 Cyg observado en 1999. En el eje X aparece la velocidad y en el eje Y el tiempo. La escala de colores varía desde el azul al rojo indicando menor y mayor intensidad, respectivamente. Vemos la evolución de la línea durante la llamarada y cómo el pico rojo es mucho más intenso durante el máximo. Autores: R.I. Hynes et al. 2002, MNRAS, 330, 1009.



Cúpula del telescopio «William Herschel», del Grupo de Telescopios Isaac Newton, uno de los utilizados en este estudio. Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

fluye el gas hacia el agujero negro durante el estado de quietud.

Observaciones

Con este fin, los astrónomos del IAC **Jorge Casares** y **Cristina Zurita**, en colaboración con **Rob Hynes** y **Phil Charles**, de la Universidad de Southampton, y **Carole Haswell**, de la *Open University*, han utilizado el telescopio "William Herschel", perteneciente al Grupo de Telescopios Isaac Newton e instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), para estudiar uno de estos sistemas, V404 Cyg. Precisamente, en este sistema y con este telescopio, Jorge Casares descubrió en 1992 el primer agujero negro confirmado como tal. Las observaciones realizadas por este equipo detectaron un aumento espectacular en el brillo en forma de deste-

llos de unas pocas horas de duración que iluminaron el gas en torno al agujero negro, probablemente por la incidencia de rayos X sobre el disco.

En observaciones más recientes realizadas con telescopios del Observatorio del Teide (Tenerife), el Telescopio Óptico Nórdico, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) y el telescopio Gemini Sur, en Chile, los astrónomos han descubierto la presencia de destellos en el rango visible en al menos otros cuatro sistemas binarios de rayos X en quietud, lo que demuestra que este fenómeno debe ser común a estos sistemas. "Lo que parece claro – explica Cristina Zurita – es que los sistemas binarios de rayos X en quietud no son tan inactivos como pensábamos sino que, aún en este estado, debe existir importante actividad relacionada con la caída del gas sobre el agujero negro."

Título del artículo:

"H-alpha flares from V404 Cyg in quiescence",
por R.I. Hynes, C. Zurita, C.A. Haswell, J. Casares, P.A. Charles,
E.P. Pavlenko, S. Yu Shugarov, D.A. Lott.
2002. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*,
Volume 330, Issue 4, pp. 1009-1021.

EXPERIMENTO «VSA»

Astrofísicos de las Universidades de Cambridge, Manchester y del IAC, han obtenido nuevas imágenes de extraordinaria sensibilidad del Fondo Cósmico de Microondas, una radiación emitida unos trescientos mil años después de la Gran Explosión que dio origen al Universo. Las nuevas medidas aportan información sobre la geometría del Universo a gran escala, el contenido y las formas de materia y energía cósmicas, así como sobre los procesos que han dado lugar a la formación de las galaxias

y otras estructuras a gran escala en el Universo.

Los resultados se han obtenido con el interferómetro de microondas denominado VSA (*Very Small Array*), un nuevo experimento instalado en el Observatorio del Teide y desarrollado conjuntamente por las tres instituciones arriba mencionadas. Este instrumento consta de 14 pequeñas antenas equipadas con potentes receptores de microondas (a 34 GHz) de muy alta sensibilidad. Las señales recibidas por todas las antenas son combina-

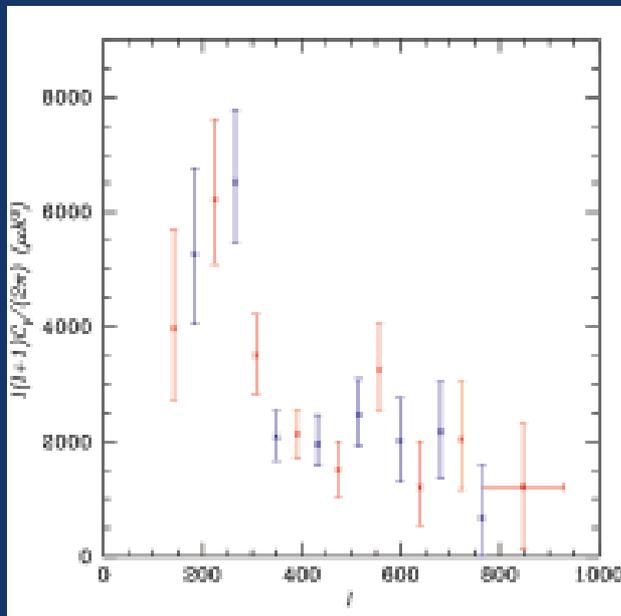


En primer plano, el Experimento VSA, instalado en el Observatorio del Teide.

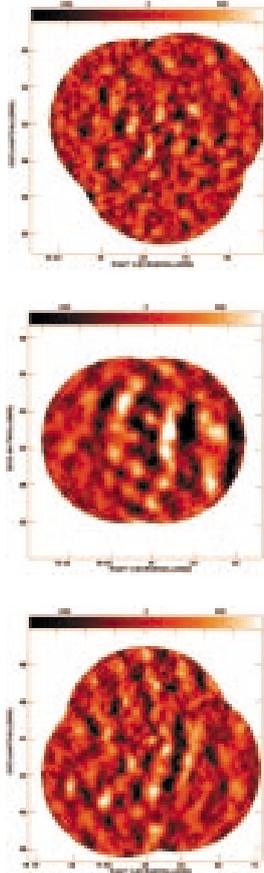
Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

EL EXPERIMENTO
"VSA", DEL
OBSERVATORIO DEL
TEIDE, PONE A
PRUEBA LA TEORÍA
DEL BIG BANG.

LAS IMÁGENES
OBTENIDAS POR UN
GRUPO DE
ASTROFÍSICOS
HISPANO-BRITÁNICO
SUGIEREN QUE EL
UNIVERSO TIENE
UNA GEOMETRÍA
PLANA A GRANDES
ESCALAS, QUE LA
MATERIA EXÓTICA
ES EL MAYOR
COMPONENTE
MATERIAL DEL
UNIVERSO Y QUE
PODRÍA EXISTIR LA
"ENERGÍA DEL VACÍO".



Medidas de VSA sobre la amplitud de las irregularidades detectadas en las imágenes del Fondo Cósmico de Microondas, en función de la escala angular de cada medida.



En falso color, tres mosaicos
construidos a partir de las ocho
regiones observadas,
mostrando cómo el VSA "ve" el
Fondo Cósmico de Microondas.
En estas regiones, la posible
contaminación por emisión
galáctica es despreciable.
También se ha corregido la
emisión de fuentes
extragalácticas.

Más información e imágenes:
<http://www.iac.es/project/cmb>
<http://www.mrao.cam.ac.uk/telescopes/vsa> (inglés)

das entre sí, utilizando la técnica denominada «interferometría», con el fin de extraer la máxima información astronómica y eliminar la contaminación que introduce la atmósfera terrestre, al tiempo que facilita imágenes de alta definición de una radiación que es extraordinariamente débil.

El análisis detallado de las ocho primeras regiones de cielo que han sido examinadas por el VSA, que cubren un total de 100 grados cuadrados (unas 400 veces el tamaño de la luna llena en el cielo), proporciona sólidas evidencias de que la geometría del Universo es euclídea a grandes escalas. Además, permite estimar el contenido cósmico de materia ordinaria (la formada por protones y neutrones) y de materia exótica (debida a otras partículas elementales aún no observadas en laboratorios). Esta última forma de materia sería unas diez veces más abundante que la materia ordinaria, y por tanto constituiría el mayor componente material del Universo.

Al combinar los resultados de VSA con los de otros experimentos recientes de sensibilidad comparable, que han sido llevados a cabo por otras instituciones (midiendo desde la Antártida y con globos estratosféricos) se encuentran evidencias de que en el Universo también existe una forma intrigante de energía denominada «energía del vacío». La naturaleza última de esta energía no se acaba de entender, pero su huella ha sido detectada en las caracte-

rísticas de los mapas obtenidos. Esta energía del vacío, también conocida como «energía oscura», podría ser responsable de la expansión acelerada del Universo que ha sido sugerida por el análisis de observaciones recientes de supernovas en galaxias muy lejanas.

Los resultados han sido publicados por *astroPH* y remitidos a la revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.

Investigadores:

Del Instituto de Astrofísica de Canarias: Rafael Rebolo, José Alberto Rubiño-Martín, Carlos M. Gutiérrez y Pedro J. Sosa Molina.

De la Universidad de Cambridge: Keith Grainge, Mike Hobson, Mike Jones, Richard Saunders, Rich Savage, Anze Slosar, Angela Taylor, Ben Rusholme (en la Universidad de Stanford, EEUU), Anthony Lasenby, Paul Scott, Klaus Maisinger, Ruediger Kneissl, David Titterton y Elizabeth Waldram.

De la Universidad de Manchester (Jodrell Bank Observatory): Richard Davis, Rod Davies, Clive Dickinson, Bob Watson, Kieran Cleary, Pedro Carreira, Althea Wilkinson y J. P. Leahy.



Participantes en el Coloquio de la IAU N. 186 «Cometary Science after Hale-Bopp». Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).



La ciencia cometaria después del Hale-Bopp

Congreso dedicado a la memoria del Prof. J. MAYO GREENBERG (1922-2001)

Cartel del congreso. Diseño: ESA.

Centro de Congresos del Puerto de la Cruz (Tenerife). 21-25/01/02

En el Centro de Congresos del Puerto de la Cruz y organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), del 21 al 25 de enero tuvo lugar el congreso internacional “Cometary Science after Hale-Bopp” (“La ciencia cometaria después del Hale-Bopp”), que constituyó el Coloquio nº 186 de la IAU (Unión Astronómica Internacional). Este congreso, que reunió en Tenerife a un centenar de expertos mundiales en el estudio de los cometas, recogió el testigo del primer congreso internacional sobre el cometa Hale-Bopp, celebrado en el Puerto de la Cruz en 1998, y presentó los avances que desde entonces se han producido en el estudio de los cometas.

Cinco años después del paso del cometa Hale-Bopp, los expertos tuvieron la oportunidad de poner en contexto los descubrimientos y estudios realizados sobre este cometa tan excepcional y extraordinario. Tras la repentina desintegración del cometa C/1999 S4 (LINEAR) en julio de 2000 y la observación del núcleo del cometa Borrelly por parte de la sonda “Deep Space 1”, los especialistas se están dando cuenta de que los cometas aún nos pueden sorprender. Los próximos años prometen ser apasionantes para el estudio de los cometas tanto por las diferentes misiones espaciales previstas a distintos cometas para estudiar su estructura y analizar la composición del núcleo, como por los avances que podemos esperar en los estudios de estos objetos aprovechando la nueva generación de telescopios gigantes como el Gran Telescopio CANARIAS.

El congreso se nutrió de contribuciones en forma de ponencias orales y pósters sobre temas como las propiedades físicas de los núcleos cometarios, abundancias de la coma y composición del núcleo, misiones espaciales para el estudio de los cometas o el origen y la evolución dinámica de los cometas. Entre los participantes se encontraban especialistas como el científico alemán Horst Uwe Keller, encargado de la cámara de la sonda Giotto que obtuvo las primeras imágenes nítidas del núcleo del cometa



Cometa Hale-Bopp. Imagen obtenida desde Canarias en 1997. © Luis Chinarro.

Halley; Daniel Boice, científico estadounidense de la sonda Deep Space 1 de la NASA que tomó sorprendentes imágenes del núcleo del cometa Borrelly; y el sueco Hans Rickman, Secretario General del IAU (Unión Astronómica Internacional), organismo patrocinador de este congreso. También cabe destacar la presencia de Julio Fernández, científico uruguayo a quien se debe la primera demostración teórica de la existencia del Cinturón de Kuiper, ahora ampliamente probada por las observaciones.

FOROS SOBRE COMETAS

El cometa Hale-Bopp, descubierto por Alan Hale y Thomas Bopp el 23 de julio de 1995, ha sido el más brillante observado desde 1976 y uno de los tres cometas más grandes observados en los últimos cinco siglos. La importancia del cometa radica en su gran tamaño y en el hecho de ser el primer cometa realmente brillante que ha aparecido desde la introducción de las modernas técnicas observacionales, incluyendo los detectores digitales de alta eficiencia cuántica. Para su estudio se desarrolló, durante los meses de febrero, marzo y abril de 1997, una campaña internacional de observación en los Observatorios del IAC que contó con apoyo de la Unión Europea y en la que participaron investigadores del IAC. Con el fin de poner en común los resultados de la campaña se celebró en el Puerto de la Cruz (Tenerife), en 1998, el “Primer Congreso Internacional sobre el Cometa Hale-Bopp”, que constituyó un foro internacional para el intercambio de información sobre este objeto único, también en relación con otros cometas. Entre los asistentes a aquella reunión estaban Alan Hale y Thomas Bopp (descubridores del cometa) y

Richard West, Investigador Principal del seguimiento internacional del cometa Hale-Bopp desde los observatorios del IAC y descubridor del gran cometa de 1976 que lleva su nombre.

UN OBJETO EXCEPCIONAL

Una de las peculiaridades del Hale-Bopp fue precisamente su precoz detección, que permitió a los astrónomos organizar a escala mundial una campaña exhaustiva de observación dos años antes del perihelio. Este seguimiento todavía se mantiene desde los telescopios del Hemisferio Sur y se estima que el cometa podría observarse con grandes telescopios como los de La Palma, Hawai y Chile hasta, al menos, el año 2030.

Entre los resultados más espectaculares de las observaciones del Hale-Bopp está la detección de una tercera cola cometaria, la cola de sodio, que fue observada por primera vez en un objeto de este tipo desde el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Asimismo, los científicos han podido detectar más de 20 nuevos compuestos químicos en los gases emitidos por el núcleo del cometa, algunos de los cuales pueden ofrecer pistas sobre el origen de la vida en la Tierra. Una de las ponencias a presentar en este congreso trata sobre los últimos resultados de las observaciones del cometa que se están realizando desde Chile y que demuestran que sigue sorprendentemente brillante y activo pese a encontrarse casi a la distancia del planeta Urano. En la fecha de celebración del congreso, el Hale-Bopp se encontrará a 2.250 millones de kilómetros del Sol, lo que equivale a 15 veces la distancia desde el Sol a la Tierra.

ENTIDADES

PATROCINADORAS:

IAC, Unión Astronómica Internacional (IAU), Agencia Espacial Europea (ESA), Cabildo Insular de Tenerife.

ENTIDADES COLABORADORAS:

Ayuntamiento del Puerto de la Cruz, Sun Microsystems Ibérica S.A., Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA), DISA Corporación Petrolífera, S.A., Iberia, Bodegas Monje.

Más información:

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

Entrevistas realizadas por Begoña López Betancor y Annia Domènech (IAC). Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC).



HORST UWE KELLER
Instituto Max-Planck de
Aeronomía de Lindau (Alemania)

En marzo de 1986, la sonda espacial *Giotto* sobrevolaba el cometa Halley. Aunque no era la única, su misión fundamental consistía en obtener imágenes cercanas del núcleo del cometa, cuya existencia aún

estaba por demostrar. La misión fue un éxito, y *Giotto* consiguió las primeras fotografías en la historia del núcleo de un cometa. Como responsable de la cámara de *Giotto*, en qué medida cree usted que cambiaron esas imágenes la idea que se tenía hasta entonces de los cometas?

“Yo diría que las fotos lo que hicieron básicamente fue confirmar algunas ideas que se tenían del núcleo cometario. En primer lugar, confirmaron que el núcleo realmente existía como cuerpo sólido y único, algo que no estaba claro por entonces. Pienso que cambiaron nuestra visión del núcleo de los cometas en el sentido de que mostraron que era muy oscuro, que la mayor parte de su superficie no está activa. Antes de conocer las imágenes de *Giotto*, la descripción que se hacía para un profano era que un cometa es como una bola de nieve; ahora, tras las imágenes del Halley, nadie compararía el núcleo con una bola de nieve. De modo que ha habido tanto confirmaciones como cambios en las ideas que se tenían previamente sobre la naturaleza de los núcleos cometarios.”

●●● ¿Cuál era la importancia de la sonda *Giotto* y, sobre todo, de las imágenes que envió?

“La carga útil de *Giotto* consistía en unos diez instrumentos diferentes, de los que la cámara no era sino uno más. Llevaba varios espectrómetros que habían sido diseñados para pasar lo más cerca posible del núcleo, algo que no era precisamente bueno para la cámara, puesto que la probabilidad de que se viese afectada por la colisión con partículas cometarias era muy elevada, lo que podría destruirla. De hecho, justo antes del mayor acercamiento al cometa la actitud cambió drásticamente. Ciertamente, la cámara era un instrumento importante en la misión, pero no dejaba de ser uno más de los diez que volaron con *Giotto*.

No obstante, como se suele decir, una imagen vale más que mil palabras, y una imagen dice mucho sobre un objeto. Para empezar, la información contenida en una imagen está al alcance de cualquiera. Todo el mundo

tiene la capacidad de ver, es una forma de comunicarse con el mundo circundante y, si se analiza una imagen científicamente se obtiene mucha más información. Así que, conseguir la primera imagen de algo es siempre muy satisfactorio.

Creo que la misión Halley tuvo un gran impacto en la ciencia cometaria no sólo por haber obtenido espectaculares resultados espectroscópicos y sobre la composición del cometa, sino porque fue la primera misión a un cometa y esto hizo crecer drásticamente la comunidad de astrónomos dedicados al estudio de los cometas. Antes del Halley, un congreso sobre cometas reunía a lo sumo a 50 o 60 personas; después del encuentro con el Halley, el número aumentó a cifras como 400 o 500. El número de participantes en este congreso es significativo: una reunión altamente especializada como esta reúne a un centenar de científicos. El interés entre la comunidad científica por la ciencia cometaria ha aumentado significativamente desde entonces. Para mí esa ha sido otra contribución de la misión al Halley: impulsar el interés por el estudio de los cometas.”

••• ¿Qué idea se tenía de la estructura del núcleo de un cometa antes de la misión Giotto?

“Depende de cuánto queramos retroceder en el tiempo. En los años 50 se tenía la idea de que el núcleo de un cometa debía estar compuesto por una especie de ‘nube’ de granos sueltos o partículas de polvo que absorben el gas. La misma idea que tenía Sciaparelli en el siglo XIX, conectando los meteoros a los cometas, pues pensaban que los núcleos de los cometas eran como meteoros que llegan a la atmósfera terrestre. Posteriormente, se fue afianzando la idea de los núcleos cometarios como cuerpos sólidos y, en la década de 1950, Wipple presentó su modelo de la estructura de un cometa en el que el núcleo era sólido.”

••• ¿Qué significa que el núcleo de un cometa sea o no activo?

“Cuando observamos un cometa en el cielo no vemos su núcleo, sino lo que llamamos la ‘coma’, es decir, gas y partículas de polvo procedentes de la superficie del núcleo. Estas partículas de polvo reflejan la luz solar, lo que nos permite ver un cometa en el cielo a simple vista. La cuestión es que, cuando no se conoce algo, a veces se elaboran hipótesis muy simplistas, así, se ha hablado de la esfera en la rotación rápida en la que toda la superficie del núcleo emite partículas, es decir, está activa. Esa era la idea que se tenía entonces. Pero las imágenes del Halley permitieron ver cómo las emisiones partían sólo de determinados puntos de la superficie, que eran los activos frente a otros inactivos. Y, en el caso del Halley, lo que emitían era polvo, al menos que la sonda Giotto pudiese detectar, porque su sensibilidad al gas era mucho menor. Lo que se observó claramente es que no toda la superficie del cometa estaba activa.”

••• Las misiones posteriores a la del Halley, ¿han añadido algo al conocimiento de los cometas? ¿han sido los resultados obtenidos complementarios a los que se obtuvieron con Giotto?

“Para mí, el principal resultado de la sonda *Deep Space 1* (DS1) fue que confirmó los resultados que habíamos obtenido con Giotto. Hemos de tener en cuenta que cada cometa es diferente y que no podemos esperar que sus núcleos sean iguales. Nunca habrá dos iguales; aún así, se puede decir que el núcleo del cometa Borrelly es muy similar al de Halley, con la mayor parte de su superficie inactiva y de tamaños también similares. Lo que me resulta verdaderamente impresionante es que los resultados de DS1 no muestran nada realmente diferente o nuevo con respecto a lo que ya habíamos visto en el Halley, y es muy importante para nosotros esta especie de detección cruzada, es decir, confirmar que la estructura observada del Halley tras los resultados de Giotto era la típica para un cometa. En los

últimos 15 años, el del Halley era el núcleo cometario, cuando se pensaba en el núcleo de un cometa se pensaba en el del Halley, y DS1 ha venido a confirmar esto. Por otro lado, podríamos decir que tuvieron que pasar 15 años para llegar a resultados similares a los de Giotto. La cámara de DS1 es similar a la de Giotto, aunque esta última fue afectada por el choque con partículas cometarias y sólo pudimos ver el cometa desde un lado, no desde su punto más cercano, con lo que observamos sólo una pequeña parte de la superficie iluminada, mientras que DS1 vio más superficie iluminada del cometa Borrelly.

No obstante, con Halley fuimos muy afortunados porque, a pesar de que la mayor parte de su superficie no estaba iluminada, pudimos determinar con claridad la forma del núcleo, su contorno. La cámara era tan sensible que pudimos determinar la forma del núcleo frente al fondo de la emisión de gas, algo que no pudo hacer DS1 con el Borrelly, sólo capaz de fotografiar la superficie iluminada porque su cámara no era lo bastante sensible.”

••• ¿Qué esperan los astrónomos averiguar de los cometas con las nuevas misiones que están previstas?

“Los cometas son muy diversos, como decía, y cuando alguien elabora una teoría para explicar la apariencia de un cometa, sólo vale para ese cometa, no para otros. No está claro cuán amplia es la diversidad de núcleos cometarios que pueden darse, así que es importante estudiar varios núcleos para poder establecerlo, algo que los americanos están haciendo con las nuevas misiones. Por otro lado, es importante estudiar la química de los cometas, cómo funciona su interior, y para ello se ha diseñado una misión que se posará sobre la superficie de un cometa; otra mandará un proyectil que originará un cráter y permitirá

hacer estudios espectroscópicos de los gases emitidos para determinar la estructura interior del núcleo que aún no se conoce.

Creo que ninguna de las nuevas misiones diseñadas para sobrevolar cometas nos revelará por sí sola lo que yo considero que es la clave de la ciencia cometaria, es decir, cómo se produce la actividad cometaria, qué física funciona en la zona activa de un núcleo cometario. Se produce polvo y gas de tal modo que, a medida que las capas superficiales se van arrancando del cometa, se va produciendo más material fresco. Debe haber alguna clase de equilibrio que no conocemos, no existen modelos que lo expliquen. Ninguna de las misiones planeadas para sobrevolar un cometa, como lo fueron la del Halley y la de Borrelly, podrán resolver el enigma. La única excepción es la misión de la ESA, ROSETTA, que consiste en un encuentro con un cometa y que estará en marcha dentro de diez años. ROSETTA acompañará al cometa en parte de su recorrido, alcanzará el núcleo antes de que esté activo y observará en detalle la evolución de su actividad. Yo estoy a cargo de las cámaras que llevará a bordo, que son de muy alta resolución, de hasta 2 cm por píxel, de modo que serán capaces de resolver superficies de 5 cm, en comparación con los 50 ó 100 m en el caso de Giotto. Con esta misión podremos estudiar el mecanismo responsable de la actividad cometaria, una cuestión clave. Los cometas son los cuerpos más activos del

Sistema solar, pero aún no sabemos cómo se produce su actividad. Aparte de eso, conocer la química de los cometas nos ayuda a conocer el origen de los planetas, porque los cometas son trozos de planeta que han estado todo este tiempo 'guardados en la nevera'; y esperamos que, al conocer su química, podamos conocer también las condiciones físicas que reinaban cuando se formó el Sistema Solar, porque los cometas son los objetos menos evolucionados. Para ello necesitaremos traernos a tierra alguna muestra de material del núcleo, algo que quizá pueda lograrse con futuras misiones."

B.L.B.



DANIEL BOICE
Southwest Research Institute, San Antonio, Texas (Estados Unidos)

El Deep Space 1 (Espacio Profundo 1 en español), ¿qué es exactamente? "Deep Space 1 fue la primera sonda espacial de la NASA que se desarrolló para probar nuevas tecnologías a bordo, doce en total, con vistas a su uso en futuras misiones. Se lanzó el 24 de octubre de 1998."

••• ¿Cuál de ellas era la más interesante?
"Probablemente la propulsión iónica. Para desplazarse, Deep

Space 1 utilizaba gas, que era ionizado y emitido hacia atrás. Este tipo de propulsión es diez veces más eficiente que la quema de combustible de los cohetes químicos habituales.

Después de probar las tecnologías y visto que podrían ser utilizadas en futuras naves espaciales, se pudo convencer a la NASA de enviar la nave espacial al cometa Borrelly."

••• ¿Por qué Borrelly y no otro cometa?

"El cometa Borrelly se eligió aplicando el problema que se conoce como "Ricitos de Oro" [descartando los extremos como en este cuento: ni demasiado grande, ni demasiado pequeño, ni demasiado caliente, ni demasiado frío...]. Con ello se quiere decir que este cometa no es el mayor ni el que produce más gases, pero tampoco el más débil, sino que es mediano. Ello nos hizo pensar que sería un buen objetivo, ya que no es tan poco interesante como un cometa débil pero no presenta tantos problemas para la misión como un fuerte. Además, como Borrelly se conocía desde hace más de cien años, se podían utilizar los datos históricos combinados con la información que obtuviera la sonda."

••• ¿Qué objetivo científico tenía viajar al cometa Borrelly?

"Consistía en conocer más del cometa Borrelly de lo que se sabía del cometa Halley, tanto en imagen como respecto a los gases que le rodeaban. Para ello, se debían tomar fotos de mejor calidad que las que tomó la sonda Giotto -de la Agencia Espacial Europea- del Halley en 1986 y medir los gases existentes alrededor del objeto. Sin embargo, no podíamos hacer la misma investigación que Giotto, ya que esta sonda era una misión espacial muy amplia."

••• ¿Qué inconvenientes sufrió la Deep Space 1 durante su trayecto?

"Un instrumento de navegación, en inglés *Star Tracker* (en español, Seguidor de Estrellas), dejó de funcionar, lo que provocó que durante un tiempo estuviéramos ciegos, sin saber dónde estaba la sonda. Los ingenieros de la NASA y del JPL reprogramaron los ordenadores del Deep Space 1 para que una cámara pudiera ser utilizada como *Star Tracker*. Como la cantidad de combustible era limitada, existía la posibilidad de que se agotara debido al retraso causado por el fallo de este instrumento. Entonces se ideó una estrategia de conservación del combustible."

••• Antes de ir al cometa, Deep Space 1 visitó un asteroide...

“Con la tecnología ya probada en crucero a través del espacio, se quiso ir un asteroide para ver cómo funcionaban los instrumentos cerca de un objeto. Se escogió un asteroide porque era fácil llegar a él y, además, los asteroides son interesantes, al fin y al cabo podrían llegar a chocar contra la Tierra.”

••• Y que después había quien no pensaba que ir al cometa fuera una buena idea...

“Después de un encuentro poco exitoso con el asteroide en el cual se habían dado problemas con las tecnologías, se deseaba “matar” a la nave espacial, ya que no se creía que fuera útil para nada. Pero un grupo de científicos, incluido yo mismo, convencimos a la NASA de suministrar dinero para continuar con la misión espacial e ir al cometa, pese a los riesgos que implicaba. Los cometas están rodeados de gases y polvo. Al volar cerca del cometa Borrelly existía el peligro de que una molécula de polvo a gran velocidad (quizás a 17 km/s) destruyera completamente Deep Space 1, que a diferencia de Giotto carecía de coraza protectora para evitar que aumentara demasiado su peso.”

••• ¿Estuvieron contentos con los resultados?

“Nuestra misión en principio no estaba destinada a hacer ciencia en un cometa, era más bien un test de tecnología. Como no sabíamos qué iba a ocurrir, los resultados nos parecieron muy buenos. Incluso obtuvimos fotos

del núcleo de Borrelly mejores que las tomadas con Giotto, y esto que esta misión estaba mucho mejor dotada para hacer investigación.”

••• Finalmente, ¿qué relación se establece entre el equipo científico y los ingenieros responsables de la puesta a punto de la sonda?

“El equipo científico hace sugerencias a los ingenieros. Ayuda a determinar qué es importante en un cometa o en otros objetos y a qué se puede responder, cómo deberíamos diseñar los instrumentos para contestar mejor a estas preguntas y a qué tipo de objeto deberíamos ir que pueda ser científicamente interesante. Toda la parte de ingeniería y construcción de la nave espacial la hace gente con una formación especial en este campo.”

A.D.



JULIO FERNÁNDEZ
Universidad de Uruguay

La existencia del cinturón de asteroides transneptunianos no fue más que una hipótesis durante muchos años, y recibió el nombre de quien la postuló en los años 50, el holandés Kuiper. Pero fue usted quien demostró mediante cálculos numéricos su existencia unos años más tarde. ¿Cómo llegó a ese postulado y cómo se sintió cuando las observaciones de cuerpos procedentes de ese supuesto cinturón de asteroides confirmaron su planteamientos teóricos?

“Siempre es una satisfacción que una predicción teórica sea confirmada observacionalmente. Pero la idea de la existencia de un cinturón transneptuniano de objetos ya había sido presentada hacía varias décadas: Kuiper la había presentado en un trabajo dentro de un modelo de formación del Sistema Solar. Era una idea teórica donde planteaba que si el Sistema Solar se formó por aglomeración de pequeños objetos que formaron los planetas, debería existir una zona más allá del último planeta formado, Neptuno, donde debería haber objetos que nunca llegaron a formar un planeta y que debían permanecer ahí como un cinturón. Esa fue la idea teórica de la existencia de un cinturón transneptuniano. Pero en realidad la historia es más vieja, porque antes de Kuiper otros científicos habían trabajado en la formación del Sistema Solar, como el irlandés Kenneth Edgeworth (1949), que habían lanzado la idea, sin mucho desarrollo, de la posible existencia de objetos de tamaño cometario más allá del sistema planetario. Lo que a mí me interesó era, basándome en esa idea, explicar por qué existían cometas de los que yo llamo de ‘la familia de Júpiter’, que son los que se mueven en órbitas de corto período (inferior a 20 años) y que los planos de sus órbitas están muy cerca del plano de la eclíptica, es decir, con poca inclinación. Esos son muy distintos de los restantes cometas, cuyas órbitas tienen orientaciones más o menos aleatorias en el cielo. Mi idea fue que los cometas de la familia de Júpiter podían provenir de ese cinturón transneptuniano.

Mi contribución fue, por lo tanto, asociar los cometas de la familia de Júpiter con ese cinturón transneptuniano. Una cosa que me satisface es que los estudios dinámicos actuales indican que la vía de llegada de ese cinturón transneptuniano hasta donde se encuentran los cometas de la familia de Júpiter es muy eficiente, incluso observamos objetos que están en camino del cinturón transneptuniano hasta la región planetaria interior, objetos que denominamos los centauros. En cierto sentido, lo que fue una predicción teórica ahora está confirmado por las observaciones.

Algo interesante de mencionar aquí es que el trabajo sobre el origen de los cometas de la familia de Júpiter como procedentes del cinturón transneptuniano lo hice cuando estaba trabajando en el Observatorio Nacional de Madrid, fue publicado en 1980 en la revista *Monthly Notices*.”

••• Usted sigue trabajando con científicos en España y en equipos internacionales. ¿Cómo organizan su trabajo? ¿Cómo se reúnen, por ejemplo? “Ahora no es tan difícil comunicarse. Normalmente lo hacemos vía correo electrónico. Además, hay tantos congresos que nos vemos al menos una vez al año, a veces hay alguna visita en particular. No hay demasiado problema en mantener ese contacto.”

••• Usted colabora con un investigador del IAC que ahora trabaja para el ING, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, Javier Licandro. ¿En qué consiste actualmente su trabajo?

“Estamos trabajando en el estudio de núcleos cometarios, de cometas de la familia de Júpiter concretamente. Los núcleos son muy débiles, además, para estudiar el núcleo de un cometa hay que observarlo cuando está inactivo o poco activo, porque si no la coma no permitiría verlo. Tiene que estar, por tanto, a grandes distancias del Sol, a varias unidades astronómicas, y en ese momento es muy débil, por lo que se requieren grandes telescopios. Trabajamos con telescopios como el TNG, telescopios del ESO, necesitamos telescopios de al menos dos metros de diámetro. Hemos trabajado también con científicos argentinos, del Observatorio de San Juan.”

••• Su contribución a la ciencia cometaria podemos decir que fue un hito en esta especialidad de la astronomía. ¿No cree que el cinturón llamado de Kuiper debería llamarse de Fernández?

“No es algo que me preocupe, creo que en última instancia es la historia la que recoge al contribución de cada uno. Por supuesto, siempre que se trabaja en ciencia es una satisfacción que, si uno hace una contribución que tenga repercusión a nivel científico es muy satisfactorio. Siempre se aspira, trabajando en ciencia, a que el trabajo que uno hace tenga cierto impacto. No creo que nadie trabaje para la irrelevancia. Pero, como digo, creo que es el tiempo el que juzga la participación de cada uno. Pensando en el pasado, creo que ni Copernico ni Galileo pudieron predecir la importancia de su trabajo. A mí tampoco me quita el sueño qué nombre tiene o tendrá. De hecho, se está discutiendo bastante qué nombre ponerle. Yo a veces he usado el nombre de Edgeworth-Kuiper, porque fue Edgeworth el primero en hablar del cinturón de asteroides, aunque parece ser que

hubo menciones incluso anteriores, porque la idea de que podía haber objetos más allá de Neptuno es muy antigua. Mucha gente opta por llamarlo simplemente cinturón transneptuniano.”

••• ¿Qué opina del posible origen de la vida en la Tierra como derivado del impacto cometario?

“Parte de mi trabajo ha consistido en estudiar la contribución de material cometario a la Tierra primitiva. En algunos modelos que he desarrollado junto con un colega de Alemania pero de origen chino sobre la evolución dinámica de los cometas estudiamos la frecuencia de impactos con la Tierra. Y demostramos que la contribución de material cometario a la Tierra primitiva fue sustancial, por lo que resulta muy plausible que tanto el aporte de agua como de materia orgánica, que se deducen ahora de los estudios de la química cometaria, que son muy abundantes, la Tierra primitiva se benefició del aporte de los cometas. No quisiera aventurar ni decir categóricamente que los cometas son los responsables de que haya vida en la Tierra, pero no me cabe la menor duda de que tuvieron un papel muy importante.” **B.L.B.**



SIVYLLE PERSCHKE
VILSPA, Madrid

Como miembro del Comité Organizador Local y con experiencia como organizadora de reuniones científicas, ¿cómo calificarías este congreso?

“Marca un hito, una época, es comparable al que se celebró hace unos diez años en Banberg (Alemania) sobre “Cometas después del Halley”. Como en aquella ocasión, está también en relación con un gran cometa y trata de revisar todos los modelos y las observaciones que hay para analizar en qué punto se encuentra la ciencia cometaria. No se trata simplemente de presentar resultados de trabajos puntuales, sino que se busca dar una visión más amplia de cada aspecto del estudio de los cometas. Intentamos identificar los avances conseguidos hasta ahora para plantear cuál debe ser el camino a seguir en el futuro cercano, los sueños de los astrónomos.”

••• ¿Y con qué sueñan los astrónomos que han venido a este congreso?

“Pienso que los asistentes a este congreso sueñan con los resultados de dos misiones espaciales. Una, *Stardust*, que extraerá una muestra de material de un cometa y lo traerá a la Tierra para ser analizado. Está volando en este momento. La otra es *ROSETTA*, que se lanzará en 2004 para encontrarse con un cometa y acompañarlo durante dos años hasta que el cometa vuelva al Sol. Estas dos misiones proporcionarán gran cantidad de datos *in situ* y material cometario que examinar. Hay una tercera misión importante, *Deep Impact*, que será lanzada en 2003 y depositará 50 kilos de cobre sobre la superficie de un cometa para crear un cráter artificial que permita estudiar la composición del cometa, las distintas capas de material que lo componen, su grosor, el porcentaje de hielo que contiene, etc..” **B.L.B.**



MARK KIDGER

Investigador del IAC y organizador del Congreso

Al celebrarse el Primer Congreso Internacional Sobre el Cometa Hale-Bopp en Puerto de la Cruz en 1998 se dio por sentado que en un momento del futuro habría un segundo congreso para volver a algunos de los temas abiertos de ese cometa. Finalmente se decidió que el momento apropiado para una segunda reunión sería cinco años después del paso del cometa.

Son unos momentos emocionantes para el estudio de los cometas. Durante los próximos años una flota de sondas espaciales explorará al menos media docena de cometas de distintos tipos. El primer encuentro de esta nueva oleada de exploración del sistema solar fue el de la sonda Deep Space 1 (Espacio Profundo 1) con el cometa Borrelly. Próximamente, misiones como el recién lanzado «Stardust» (Polvo de Estrellas), «Rosetta», «Deep Impact» y «CONTOUR» irán revelando algunos de los misterios de los cometas.

Los cometas son importantes para la ciencia por el aporte de información que nos pueden dar sobre nuestro sistema solar y su procedencia. Puesto que un cometa como el Hale-Bopp representa un cuerpo apenas modificado desde la formación del sistema solar, el estudio de su composición y estructura nos puede proporcionar unas pistas fundamentales sobre como nuestro planeta se formó y como evolucionó a su estado actual. Son muchas las preguntas pendientes

sobre el papel de los cometas en el pasado y el futuro de la Tierra. En especial, el papel de los impactos de los cometas que podrían haber aportado a la Tierra el agua de sus océanos y gran parte de los compuestos orgánicos que dieron lugar a la vida en nuestro mundo. Y, por supuesto, puesto que algún día un cometa podría chocar con la Tierra de nuevo, es importante saber el tamaño y la estructura de los núcleos cometarios.

Desde la reunión de 1998, varias cosas de una enorme importancia han sucedido que formaron el núcleo de las sesiones del congreso. Aparte del brillante éxito del encuentro de la sonda Deep Space 1 con el cometa Borrelly, y la oportunidad de estudiar en más profundidad las observaciones del cometa Hale-Bopp, han aparecido dos cometas de gran importancia. En 2001 el cometa C/2001 A2 (LINEAR) sufrió una serie de estallidos y roturas que incrementaron su brillo en un factor de 250, permitiendo un estudio detallado de su fragmentación. Y, por supuesto, la fragmentación total del cometa C/1999 S4 (LINEAR), descubierto por el Telescopio Jacobus Kapteyn, de 1-m, del Observatorio del Roque de los Muchachos, ha dado la oportunidad de estudiar de cerca la muerte de un cometa. Finalmente, en un animado debate final, una junta de sabios comentaron sobre las oportunidades que los grandes telescopios como el Gran Telescopio CANARIAS (GTC) aportarán al estudio de los cometas.

Una de las principales conclusiones ha sido que el cometa Hale-Bopp es un objeto típico y que las diferencias que ha presentado con otros cometas se deben solo a su gran tamaño. Para los investigadores eso les da la seguridad de poder comparar sin temor las observaciones y los modelos del cometa con otros objetos menos estudiados. Sin embargo, pese a la gran cantidad de esfuerzo invertido en su estudio, todavía tenemos muy poca idea de su tamaño real ya que las estimaciones de su diámetro van desde menos de 30km a más de 120km. Una de las principales conclusiones fue que solo cuando se puede observar el núcleo sin actividad del cometa en el infrarrojo medio (tal vez habrá que esperar hasta 5 años más para poder hacer eso) podrá estimarse su tamaño con precisión. Mientras que las sondas espaciales podrán medir el tamaño real del núcleo de unos pocos cometas de corto período, será el deber de los instrumentos como el SIRTf o CanariCam en el GTC de avanzar nuestros conocimientos del tamaño de los cometas de largo período.

Del mismo modo se mantuvo un debate muy activo sobre el caso del cometa C/1999 S4 (LINEAR). Las distintas observaciones presentadas ofrecen visiones contradictorias del cometa. Algunas investigaciones muestran que el cometa LINEAR parecía ser perfectamente normal antes de empezar a fragmentarse. Otras observaciones, sin embargo, muestran una serie de anomalías importantes en el cometa: entre ellas la observación de múltiples estallidos del cometa en los meses anteriores a su desintegración que parecen indicar que el núcleo sufrió una fragmentación constante a lo largo de muchos meses. Del mismo modo, aunque algunos encuentran que las propiedades del cometa eran totalmente normales tan solo un mes antes de desintegrarse, otras observaciones parecen indicar que el cometa tenía una composición anómala y que no se formó en la misma región del sistema solar que otros cometas como el Halley y el Hale-Bopp, sino mucho más cerca del sol. Del mismo modo, las observaciones del cometa LINEAR realizada por el instrumento espacial ODIN en las fechas de su desintegración muestran que apenas podría haber tenido hielo en el núcleo en ese momento y por tanto tal vez se deshizo por falta de un pegamento que tal vez lo mantuviera unido.

Toda la reunión se desarrolló en un ambiente excepcional y los delegados ya están pensando en su vuelta a Puerto de la Cruz en 2007 para celebrar el décimo aniversario de la aparición del cometa Hale-Bopp.



HANS RICKMAN

Secretario General de la IAU
(Ver la sección "A través del prisma")

Una de cometas

Hablamos con Hans Rickman, Secretario General de la Unión Astronómica Internacional (IAU), con ocasión del coloquio "La ciencia cometaria después del Hale-Bopp", organizado por el IAC y celebrado el pasado enero en el Puerto de la Cruz (Tenerife). En resumen, los cometas, además de ser trayectos de luz fascinantes en la oscuridad del cielo, también recuerdan el pasado de la Vía Láctea...

Defíneme un cometa.

Todo el mundo puede ver que es un fenómeno brillante en el cielo. En realidad, es una gran nube de partículas de polvo y gas en órbita alrededor del Sol.

¿Dónde se origina este material?

Procede de su centro, llamado núcleo. Se puede decir que un cometa es su núcleo, ya que es el origen de todo el material y, además, la parte que sobrevive en el tiempo, puesto que el gas y el polvo son dispersados en el espacio.

¿Cómo es el núcleo de un cometa?

Está formado por granos procedentes de zonas diversas de la galaxia anteriores al nacimiento del Sistema Solar, es decir, hace más de cinco mil millones de años. Los cometas son viejos que pueden contarnos la historia de nuestra galaxia. Son objetos más antiguos que los planetas y los asteroides.

¿Por esto son interesantes?

Porque no se limitan a ser objetos del Sistema Solar, sino que también establecen un puente entre el Sistema Solar y la galaxia.

¿En qué consiste su trabajo con los cometas?

En calcular qué ocurre en el núcleo del cometa cuando se calienta al absorber la luz del Sol. El núcleo contiene mucho hielo que, al aumentar de temperatura, sublima, se transforma en gas, y se escapa. Determinar cómo esto ocurre exactamente y cómo evoluciona el núcleo cuando se elimina el gas y el polvo no es trivial: hay que calcular qué ocurre junto a la superficie del núcleo cuando la luz solar es absorbida, el hielo sublima y el gas se filtra a través del material poroso.

¿Para qué sirven estos datos?

Es importante conocer cuánto *momentum* es transferido al núcleo cuando la sublimación está teniendo lugar ya que la fuerza que da al núcleo tiene efectos, no siempre pequeños, sobre la órbita de los cometas. El cometa Halley, por ejemplo, que vuelve cada 76 años sufre en cada ocasión un retraso de cuatro días. Por consiguiente, podemos observar los efectos de esta fuerza al observar la variación en la órbita del cometa. Si se estima la fuerza, se puede determinar la masa del núcleo. A partir de la masa podemos conocer la densidad del núcleo que, una vez más, da información sobre cómo era hace tiempo la galaxia.

¿Cómo evoluciona un cometa?

Es una buena pregunta difícil de responder. Pensamos que un cometa podría evolucionar de diferentes maneras. Una, fácil de entender, es que cuando el hielo sublima, el gas se filtra fuera del núcleo y arrastra polvo con él. Esto comporta que el núcleo pierda este material y es probable que se divida por fuerzas internas y que se desintegre en trozos, especialmente cuando su tamaño ya es reducido. El resultado de este proceso se aprecia

en las observaciones; a veces se observa cómo el cometa se rompe y libera los restos de la desintegración del núcleo alrededor de su órbita. Hay días en los que vemos muchos meteoros, ya que la Tierra cruza un rastro de partículas dejadas atrás por un cometa. Esto ocurre por ejemplo en agosto, cuando hay una lluvia de estrellas procedentes del cometa Swift-Tuttle. Otra de las maneras en las que un cometa podría evolucionar consiste en que la superficie del núcleo se cubra con el polvo liberado en el proceso de sublimación, lo que detendría dicho proceso por lo que, pasado un tiempo, no saldría más gas. Después, el cometa se convertiría en un objeto parecido a un asteroide. Hay observaciones que corroboran que esto ha pasado. A priori, es difícil decir cómo un cometa evolucionará, si se desintegrará o se convertirá en un asteroide.

¿Qué pasos se deben seguir cuando uno descubre un cometa?

El descubrimiento debe ser confirmado. Si sólo se envía un telegrama informando de que se ha visto un cometa en el espacio, éste no será nombrado en honor de su descubridor, pero si se informa sobre la posición exacta del cometa de tal modo que otra persona pueda corroborarlo, sí. Cualquier descubrimiento -sea de un cometa, de una supernova, etc. -debe notificarse al Astronomical Telegraph Center (centro de telégrafos astronómicos), en Cambridge (Massachusetts). Allí también se realizan los cálculos de su órbita a partir de su posición en diferentes tiempos, de tal modo que se pueda predecir en qué lugar del cielo se verá la próxima vez y la gente pueda observarlo tan pronto como sea posible.



ANNIA DOMÈNECH

Museo de la Ciencia y el Cosmos del Cabildo de Tenerife. 25/02/02 - 01/03/02

Organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias, del 25 de febrero al 1 de marzo se celebró en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, del Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, el congreso internacional “*Communicating Astronomy*” (“Comunicación de la Astronomía”). El evento reunió en La Laguna a más de 60 expertos en publicaciones y difusión de la Astronomía, entre los que se encontraban astrónomos, escritores, editores, productores de televisión, divulgadores científicos,... todos ellos implicados en la divulgación de la Astronomía. En el congreso se aplicaron las más avanzadas tecnologías, incluyendo una conexión por videoconferencia con los estudios de la BBC británica en Londres a cargo de Sir Patrick Moore, el más reconocido divulgador de la astronomía en el Reino Unido, que presenta desde 1957 el programa divulgativo “*Sky at night*”, el de mayor permanencia en la programación de la cadena británica.

PUBLICACIONES ESPECIALIZADAS

Los astrónomos como científicos se encuentran bajo una presión creciente para publicar los resultados de sus investigaciones. Hoy en día se publica mucho más que nunca y hay pocos indicios de una reducción en la demanda de una cada vez mayor “productividad” científica. Actualmente dos son los factores que amenazan la calidad de la presentación de las publicaciones: la tendencia de las editoriales más importantes a recortar el coste de sus ediciones y el declive de la calidad editorial por razones económicas y por la llegada de la publicación electrónica. En este congreso se abordaron estos temas, a la vez que se trató de llenar la cuestión de la valoración de la productividad de los científicos y sus instituciones mediante la controvertida técnica de la “bibliometría” (una forma de cuantificar las citaciones de los artículos publicados con el objeto de evaluar el impacto de revistas especializadas y de medir la productividad de los científicos y sus instituciones). En todo este proceso, ¿se garantiza la calidad de la ciencia mediante el llamado procedimiento de “peer review”? Este es otro tema que fue tratado en detalle durante el congreso.

Documentación y entrevistas realizadas por Begoña López Betancor, Annia Domènech, Carmen del Puerto, Sara Gil y Ángel R. López. Fotos: Miguel Briganti, Gabriel Pérez (SMM/IAC) y Luis Cuesta (IAC). Vídeo del congreso: Gabriel Pérez (SMM/IAC)



*Imagen que recoge un momento de la conexión por video conferencia con el divulgador científico Sir Patrick Moore. Conexión gracias al personal del SIE del IAC (Susana Delgado y Diego Sierra)
Foto: Luis Cuesta (IAC)*

INTERÉS POPULAR POR LA ASTRONOMÍA

Pero la comunicación de la Astronomía va mucho más allá de las publicaciones profesionales. La ciencia astronómica despierta un interés especial en el público, algo de lo que los astrónomos deben ser conscientes. Este interés del público ¿se tiene en cuenta convenientemente por parte de los editores de revistas y libros de divulgación?; la televisión y la radio ¿presentan la astronomía al público de la manera adecuada?; ¿están los científicos satisfechos con la forma en que se presenta su trabajo en los medios de comunicación?; ¿tienen los periodistas base científica suficiente para comprender la importancia de los avances y poder explicarlos al público?; ¿debería haber, quizá, más periodistas científicos especializados para asegurar una cobertura adecuada de las noticias sobre Astronomía? Los ponentes abordaron estas cuestiones y sugirieron formas de lograr una mejor comunicación entre científicos y periodistas.

Si bien la divulgación es vital para atraer a las nuevas generaciones de jóvenes investigadores, los libros de texto son también fundamentales en todos los niveles educativos para asegurar que la astronomía esté convenientemente representada en la escuela, el instituto y la universidad. La publicación de libros de texto junto con el examen de su contenido e impacto fue otro de los temas que se trataron en este congreso.

ENTIDADES PATROCINADORAS:
IAC, Royal Astronomical Society (RAS), Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo Insular de Tenerife, Ayuntamiento de La Laguna, Iberia.

Más información:
<http://www.iac.es/proyect/commast/>

Congreso internacional sobre "Estrellas Simbióticas"

Los Cancajos (La Palma). 27-31/5/02

Del 27 al 31 de mayo tuvo lugar, en la isla de La Palma, el congreso internacional de Astrofísica «*Symbiotic Stars Probing Stellar Evolution*» (Las estrellas simbióticas como pruebas de la evolución estelar). En este congreso, al que asistieron más de 100 astrofísicos de todo el mundo, se presentaron los últimos resultados sobre la formación y la evolución de las estrellas simbióticas, sistemas estelares formados por dos estrellas que conviven afectando mutuamente su evolución. El congreso, organizado por el Grupo de Telescopios Isaac Newton, contó con la financiación de la Unión Europea a través de la comisión «*High-Level Scientific Conferences*» (Congresos científicos de alto nivel). Colaboraron también el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), el Cabildo Insular de La Palma y el Patronato de Turismo de La Palma.

LA EVOLUCIÓN DE LAS ESTRELLAS

“Las estrellas simbióticas -explica Romano Corradi, investigador del ING y uno de los organizadores de este congreso-, son sistemas estelares formados por dos estrellas muy próximas que orbitan una alrededor de la otra. Al final de la vida de estos sistemas la estrella más evolucionada, que se encuentra en fase de «enana blanca», captura por acción gravitatoria grandes cantidades de gas proveniente de su compañera, una estrella «gigante roja». Esta captura de material puede dar lugar a explosiones termonucleares, conocidas como «novas lentas», que prolongan la vida de la enana blanca que, de otra manera, terminaría su vida en unas pocas decenas de miles de años.” Estas violentas explosiones termonucleares en el Universo llevan a la formación de nebulosas espectaculares como la conocida «Nebulosa del Cangrejo del Sur». La transferencia de gas afecta también a la evolución de la gigante roja. Por esta razón se habla de simbiosis estelar: cada una de las estrellas depende e influye en la evolución de la otra. Entender la evolución de las estrellas simbióticas significa comprender mejor la vida de las estrellas en general, puesto que la mayoría de las estrellas en el Universo son sistemas estelares dobles.”

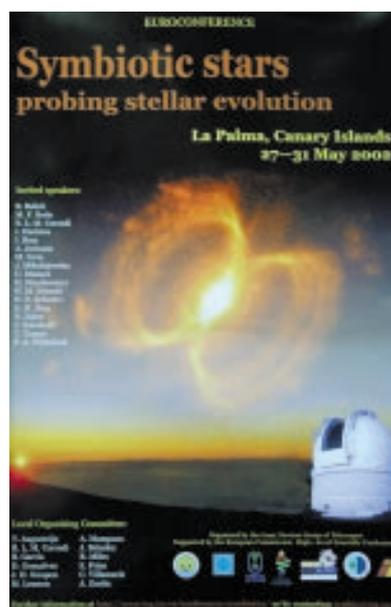
EL CIELO DE LA PALMA

Gracias a los nuevos datos aportados por los telescopios ubicados en el Observatorio del Roque de Los Muchachos y por los telescopios en órbita, como el telescopio espacial Hubble, este campo de la Astrofísica es en la actualidad objeto de una intensa actividad científica. La extraordinaria calidad del cielo de La Palma permite además la obtención de imágenes con gran resolución óptica, aspecto este último crítico para el estudio de las nebulosas centrales de las estrellas simbióticas.

En el marco de este congreso, uno de sus organizadores, el investigador del IAC Antonio Mampaso, dio una charla de divulgación sobre las simetrías existentes en el Universo, en el Palacio de Salazar de Santa Cruz de La Palma.

El Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING) es una institución financiada por el *Particle Physics and Astronomy Research Council* (PPARC) del Reino Unido, el *Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek* (NWO) de los Países Bajos y el *Instituto de Astrofísica de Canarias* (IAC). El ING opera, mantiene y es responsable del desarrollo de los siguientes telescopios: “William Herschel”, de 4,2 m, “Isaac Newton”, de 2,5 m, y “Jacobus Kapteyn”, de 1 m. El telescopio “William Herschel” es el mayor de los instalados en Europa Occidental. Todos estos telescopios se encuentran en el Observatorio del Roque de Los Muchachos, del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Más información: <http://www.ing.iac.es/conferences/symbiotics/>

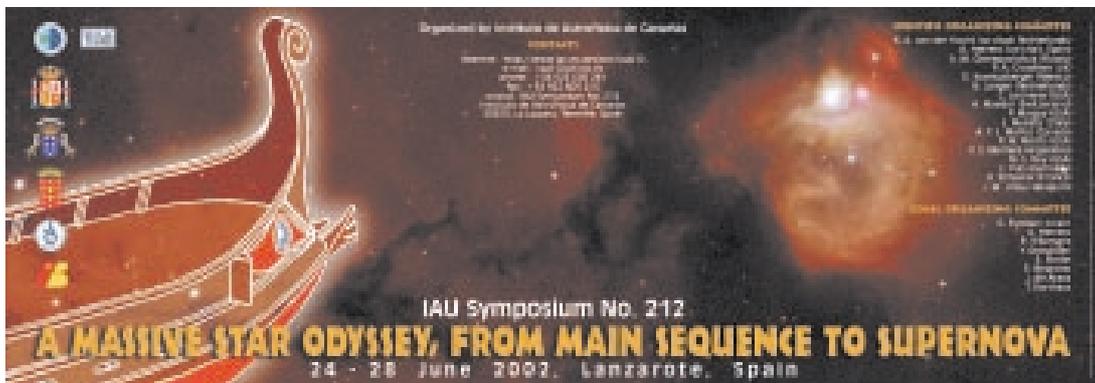


Cartel del congreso.



Participantes en el congreso «A massive star odyssey, from main sequence to supernova».

Simposio N. 212 de la IAU: "La odisea de las estrellas masivas, de la Secuencia Principal a las supernovas"



Cartel del congreso. Diseño: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

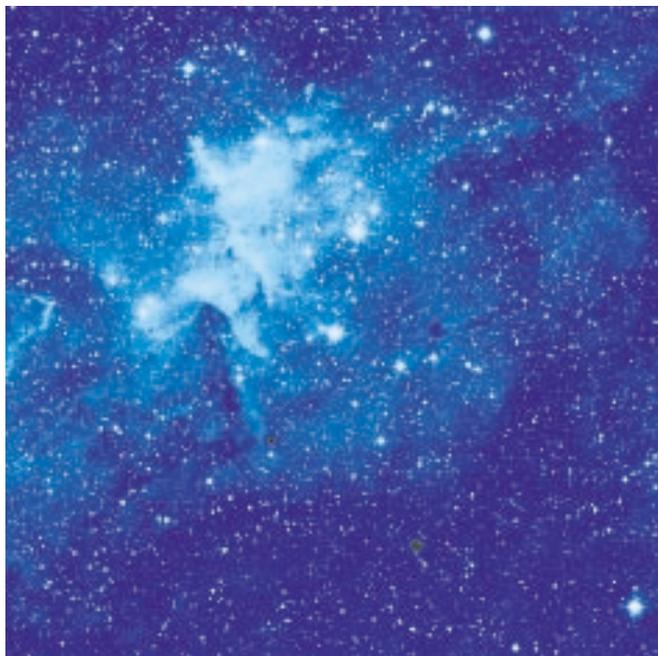
Costa Teguise (Lanzarote). 24-28/06/02

Organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y la Unión Astronómica Internacional (IAU), del 24 al 28 de junio se celebró en Teguise (Lanzarote) el Simposio 212 de la IAU.

Bajo el título de «IAU Symposium No. 212. A Massive Star Odyssey, from Main Sequence to Supernova» (Simposio N. 212 de la IAU: “La odisea de las estrellas masivas, de la Secuencia Principal a las supernovas”), el congreso trató sobre la evolución de las estrellas masivas a lo largo de su vida: desde su “madurez” en la fase llamada Secuencia Principal hasta su final explosivo como supernovas. Éste era el primer simposio que se organizaba bajo los auspicios de la IAU en España desde hacía casi 30 años. En esta ocasión, reunió a 180 investigadores de todo el mundo que se dedican al estudio de las estrellas masivas.

ESTRELLAS MASIVAS

“Estas estrellas –explica César Esteban, investigador del IAC y organizador de este congreso- pueden tener una masa de entre 10 y 150 veces la masa del Sol y su vida es muy corta, de apenas unos pocos millones de años. Son muy importantes porque son las estrellas más brillantes del Universo y su presencia puede detectarse en galaxias lejanas en el espacio y en el tiempo. A lo largo de su evolución desde la Secuencia Principal hasta la fase de pre-supernova dominan el campo de radiación interestelar y enriquecen el medio interestelar con elementos pesados. Son los progenitores de las



El cúmulo galáctico IC1805. La gran estrella del centro de la imagen es HD 15570; arriba y a la derecha está HD 15558, otra de las supergigantes estudiadas. ©ESO Digital Sky Survey (DSS). Tratamiento digital: Gotzon Cañada.

supernovas y sirven de prueba de la nucleosíntesis.”

“En los últimos años –añade Esteban- se han obtenido numerosos resultados observacionales sobre estrellas masivas y brotes de formación de estrellas masivas con telescopios terrestres, desde el aire y desde el espacio, al mismo tiempo que se han registrado grandes avances en la elaboración de modelos teóricos. Estos progresos requerían la celebración de un simposio para abordar las distintas fases evolutivas de las estrellas masivas.” En Lanzarote se discutieron aspectos novedosos sobre la evolución de estas estrellas y su formación, sobre nuevas observaciones desde telescopios gigantes en tierra y espaciales y sobre su presencia en galaxias del universo primitivo.

ENTIDADES

PATROCINADORAS:

IAC,
Unión Astronómica
Internacional (IAU),
Ministerio de Ciencia y
Tecnología,
Gobierno de Canarias,
Cabildo de Lanzarote,
Ayuntamiento de Teguise,
Universidad de La Laguna,
Iberia,
DISA Corporación
Petrolífera, S.A.

Más información:

<http://www.iac.es/proyect/iau212/>

Entrevistas y fotos realizadas
por Annia Domènech.



CÉSAR ESTEBAN
Investigador del IAC
y organizador del Congreso

LAS ESTRELLAS MASIVAS, UNA VIDA CORTA PERO DESLUMBRANTE

El simposio de la Unión Astronómica Internacional (IAU) celebrado en Lanzarote ha sido un hito en varios aspectos. Es el primer evento de este tipo que se celebra en España desde hace casi treinta años y además ha logrado reunir a los mejores especialistas mundiales en aspectos muy diferentes relacionados con las estrellas masivas, desde el estudio de sus atmósferas hasta su importancia en los primeros momentos de evolución del Universo.

La física de las estrellas masivas tiene importantes implicaciones en Astrofísica. Durante su evolución desde la Secuencia Principal hasta la fase de pre-supernova, estas estrellas dominan el campo de radiación interestelar y enriquecen este mismo medio con elementos pesados. Son progenitoras de supernovas, fuentes de rayos cósmicos y proporcionan importantes tests para comprobar las teorías de nucleosíntesis estelar. En la última década, se ha vuelto evidente el papel primordial de las regiones de formación estelar masiva en la evolución del Universo. Durante los últimos años se han obtenido grandes cantidades de resultados observacionales relativos a estrellas masivas y regiones de formación estelar intensa, tanto provenientes de telescopios terrestres, como de satélites y telescopios espaciales y que cubren todo el Universo conocido, desde el centro de la Vía Láctea a las galaxias del Grupo Local y las galaxias a alto desplazamiento al rojo. Debido a su luminosidad (son las estrellas más brillantes del Universo) y sus características espectrales, las diferentes fases evolutivas de las estrellas masivas y las regiones de formación estelar pueden ser observadas y estudiadas hasta enormes distancias. Actualmente, no sólo están teniendo lugar rápidos desarrollos observacionales en el terreno estelar y el extragaláctico, sino que también las mejoras en los aspectos teóricos y las técnicas numéricas han producido importantes avances en los modelos de atmósfera e interior estelar, de síntesis espectral de galaxias y de la estructura de las regiones de formación estelar.

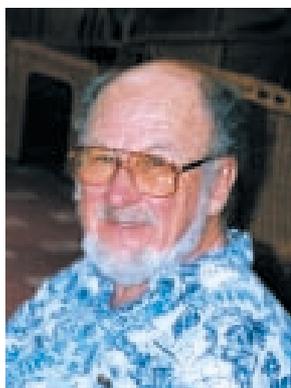
Según las normas de la propia IAU (la asociación mundial de astrónomos profesionales): *“La serie de Simposios es el buque insignia científico del programa de reuniones de la IAU. Los Simposios se organizan sobre una base amplia de temas científicos, que sin embargo deben estar bien definidos y ser de considerable interés general”*. Su propuesta y organización son especialmente complejas y suelen atraer a un gran número de participantes. En nuestro caso contamos con la participación de unos 175 astrónomos de unos 25 países, aunque contamos con más de 200 solicitudes pues, desgraciadamente, el número de participantes tuvo que restringirse, debido a la capacidad limitada de la sala de conferencias del Hotel Occidental Oasis, el espléndido marco donde se celebró la reunión.

Las primeras ideas sobre la celebración de esta “odisea” no se generaron en Troya, donde comenzó la Odisea de Ulises, sino en el simposio número 196 de la IAU, titulado “Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies” y celebrado en Puerto Vallarta (México) en noviembre de 1998. En dicha ocasión propusimos las Islas Canarias como anfitrionas

del siguiente simposio de la IAU sobre estrellas masivas y se comenzaron a definir los temas que se podrían tratar, que fueron finalmente los siguientes: atmósferas de estrellas masivas (observaciones y modelos de atmósferas, estrellas binarias); interiores de estrellas masivas (modelos de evolución de estrellas individuales y binarias, evolución de estrellas a metalicidad cero, modelos de supernova); distribución de las estrellas masivas en los contextos galácticos y extragalácticos; interacción de las estrellas masivas con el medio (nebulosas anulares, vientos galácticos, *starbursts* y las estrellas masivas a alto corrimiento al rojo). Finalmente, con la colaboración del Profesor Karel van der Hucht (SRON, Holanda) que fue co-organizador y con mucho esfuerzo de todos, pudimos llevar a cabo exitosamente este proyecto en Lanzarote.

No podemos dejar de agradecer a todas las instituciones que han colaborado con nosotros como son: el Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Gobierno de Canarias, el Cabildo de Lanzarote, el Ayuntamiento de Teguiise, la Universidad de La Laguna, Iberia y la Corporación DISA. El apoyo del personal del IAC fue fundamental, especialmente de nuestras estupendas secretarías del Área de Investigación: Tanja, Judith y Eva y de los infatigables miembros de los Servicios Informáticos Comunes, que instalaron y mantuvieron nuestro pequeño centro de cálculo durante el congreso, especialmente a Jesús, Isa, Víctor, Jorge, Elito y Kiko. También tenemos que agradecer a Gabi, por el magnífico diseño del póster, a Nicola y a Denise, por mantener nuestra página web y al personal de administración y mantenimiento del instituto, sobre todo a Tili, Ramón y José María. Gracias, en fin a todos por contribuir a que esta “odisea” llegara a buen puerto, a nuestra Ítaca particular.

A MASSIVE STAR ODYSSEY



PETER S. CONTI
Universidad de Colorado
(Boulder, Estados Unidos)

Cuál es la importancia de las estrellas masivas en el Universo? “Las estrellas masivas producen muchos de los elementos que nos rodean actualmente en la Tierra. De hecho, muchos de los elementos del Universo que se forman en estrellas (aparte del hidrógeno, el helio y unos pocos más) son sólo creados en estrellas masivas, bien a lo largo de su vida, bien cuando explotan como supernovas.”

••• ¿Cómo se estudian estas estrellas?

“Al ser de los objetos más luminosos del Universo, pueden verse a grandes distancias, aunque son excepcionalmente brillantes en el ultravioleta, longitud de onda en la que han sido detectadas con satélites. Cuanto más lejos están, mayor es el corrimiento al rojo de su longitud de onda, que se desplaza hacia la región del óptico. Entonces, las líneas más marcadas de las estrellas y sus partes más brillantes en el ultravioleta pueden ser observadas en el óptico. Así podemos adivinar cómo era la población estelar del principio del Universo.”

••• ¿Qué relación tuvieron las estrellas masivas con el Universo temprano? “Creemos que las primeras estrellas que nacieron eran todas masivas. Después, al evolucionar y morir, los elementos químicos que liberaron al medio dieron lugar a otras generaciones de estrellas. Las estrellas masivas nacen y mueren continuamente, dentro de un período de 10 millones de años, por tanto estrellas que nacieron en los inicios del Universo todavía deberían existir. Se las llama Estrellas de Población III.”

••• Actualmente, ¿cómo es la formación de estrellas?

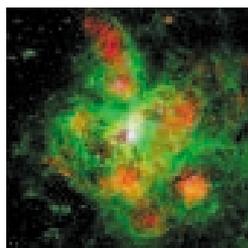
“Una galaxia parecida a la nuestra suele presentar formación estelar continua y homogénea en el disco tanto de estrellas de poca como de gran masa, aunque algunas regiones locales podrían tener mayor formación estelar en este momento. En cambio, las galaxias *starburst* están formando muchísimas estrellas ahora mismo, de las cuales vemos las más masivas, que son también las más brillantes. Con su firma espectroscópica nos podemos preguntar cuántas estrellas están naciendo.”

••• ¿Qué importancia tienen las *starburst*?

“Lo interesante de las *starburst* es que nos cuentan las condiciones en las cuales las estrellas masivas se forman. La formación estelar es probablemente la parte menos comprendida de la astrofísica estelar.”

••• ¿Podría explicarnos qué son las estrellas Wolf-Rayet?

“Fueron nombradas así por dos astrónomos que, en 1867, en el Observatorio de París, observaron tres estrellas. A diferencia de la mayoría de las estrellas en el cielo, estas estrellas presentaban un espectro de líneas de emisión en lugar de líneas de absorción. Las líneas de absorción aparecen cuando la luz emitida por la superficie de la estrella es absorbida en determinadas longitudes



de onda debido a la presencia de ciertos elementos en la atmósfera estelar, como hidrógeno o nitrógeno. Como resultado se dan transiciones de estos elementos en el óptico u otras longitudes de onda. Las Wolf-Rayet se caracterizan por tener un espectro de emisión como si tuvieran una atmósfera extendida.”

••• ¿Son habituales las estrellas Wolf-Rayet?

“En nuestra galaxia conocemos unas 250 estrellas Wolf-Rayet. Debe haber dos o tres mil. Las partes oscuras de la Vía Láctea son debidas a absorciones interestelares entre nosotros y algunas estrellas lejanas. Las estrellas masivas son lo bastante brillantes para ser vistas desde el otro lado de la galaxia, pero el polvo que hay en el camino absorbe mucho la luz visible, así que no podemos verlas desde muy lejos. Por ello sólo un 10% de las estrellas Wolf-Rayet han sido identificadas, ya que están en el plano de la Vía Láctea, donde hay mucho polvo.”

••• ¿Qué importancia tendrán los nuevos telescopios en el estudio de estas estrellas?

“Uno de los telescopios que me parece más interesante es el SIRTf (*Space Infrared Telescope Facility*), inaugurado hace un año. El infrarrojo, cuyas longitudes de onda son cuatro o cinco veces las del óptico, atraviesa el polvo, ve a través de él, aunque no completamente, ya que todavía hay un oscurecimiento. Hay varios proyectos de búsqueda en la Vía Láctea de estrellas de nueva formación, viejas, Wolf-Rayet, etc. y de regiones que típicamente forman pequeños o grandes cúmulos estelares.”

A.D.

Estrellas masivas y gas en expansión en la región de 30 Doradus.
© Q.D. Wang (Northwestern University, Illinois) y
The Astrophysical Journal.



ROBERTA M. HUMPHREYS
Universidad de Minnesota
(Estados Unidos)

Defíneme a Eta Carinae.
“Se trata de la estrella más masiva y luminosa de nuestra región en la Vía Láctea. Probablemente, con una masa inicial 150 veces la del Sol y una luminosidad $10^{6.7}$ veces la luminosidad solar. Se trata de una estrella muy evolucionada e inestable.”

••• ¿En qué consistió la expulsión de masa que experimentó hace unos años?
“Aproximadamente hace unos 160 años sufrió una gran erupción en la que expulsó tres veces la masa solar, y sobrevivió. Estuvo implicada una gran cantidad de energía y, por tiempo breve, fue la segunda estrella más brillante en el cielo. Hoy en día se aprecia la preciosa nebulosa bipolar de dos lóbulos. Cuando explotó, su energía igualó a la de una supernova; sin embargo, continuó existiendo. Y nadie sabe por qué

ocurrió la gran erupción, seguramente por algún tipo de inestabilidad interna, ya que expulsar tres masas solares significa probablemente expulsar toda la atmósfera externa.”

••• ¿Había sufrido otras explosiones previamente?
“La evidencia que tenemos sugiere que probablemente hubo otra erupción u *outburst* previo, puesto que hay eyecciones de la estrella que obligatoriamente deben haber sido expulsadas hace cientos y quizás miles de años. Incluso en los noventa ha habido eyecciones menores, así que continúa siendo muy inestable.”

••• ¿La excepcionalidad de esta estrella la invalida como modelo para conocer otras?
“Alguna gente puede pensar que es un caso único, del cual no tenemos que preocuparnos. Pero no es un bicho raro. Estrellas muy masivas y luminosas llevan a cabo algo parecido a la gran erupción de Eta Carinae, lo que implica que no es excepcional. Podríamos esperar encontrar otras como ella en todas las galaxias.”

••• ¿Qué problemas quedan por solucionar?
“La cuestión principal es el origen y el coste subyacente del incidente acaecido a Eta Carinae.”

••• ¿Qué provocó la gran erupción?
“Pienso que tuvo algo que ver con el curso de la evolución estelar, la presión de la radiación saliente de la estrella sobrepasó la gravedad de la estrella, la parte más externa de la estrella evolucionó y su envoltorio empezó a expandirse. Sin embargo, no sabemos por qué liberó tanta masa. Está relacionado con el límite de Eddington.

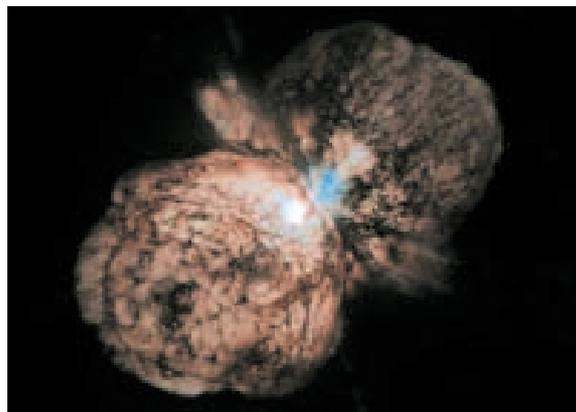
El límite de Eddington es un límite físico básico de balance entre la presión de radiación hacia fuera y la de la gravedad hacia dentro. Si la presión de

radiación excede a la gravedad, la estrella se vuelve inestable y expulsa masa. Algo parecido a esto ocurrió, pero no se sabe por qué.”

••• ¿Cuándo se empezó a estudiar esta estrella?
“Eta Carinae ha sido observada durante los últimos cien años. Hasta la gran erupción se veía a simple vista. Después, fue oscurecida por la gran cantidad de polvo formado y quedó difuminada. Sin embargo, desde los años cuarenta vuelve a ser visible con el ojo desnudo.”

••• ¿Es un objeto interesante para los astrónomos aficionados?
“Es un objetivo muy popular, al ser visible con el ojo desnudo y estar en una zona muy bella de la Vía Láctea. Además, pueden seguirla con sus instrumentos. En mi caso, yo trabajaba con estrellas masivas cuando empecé a trabajar con Eta Carinae. Utilizo principalmente la radiación ultravioleta, óptica e infrarroja. Es un buen objeto para el estudio de la evolución estelar, puesto que se puede analizar con detalle; más desde que tenemos el Telescopio Espacial Hubble, el cual, gracias a su alta resolución, es fantástico para observar.”

A.D.



La estrella Eta Carinae. J. Morse (U. Colorado), K. Davidson (U. Minnesota) et al., WFPC2, HST, NASA.



ROLF-PETER KUDRITZKI
Universidad de Hawai
(Estados Unidos)

Cuál es la importancia de las estrellas masivas en el Universo?

“Las estrellas son los principales componentes de las galaxias. Para entender cómo las galaxias y todo el Universo evolucionaron hay que entender la formación y evolución estelar; entender, por ejemplo, la transición de estrellas muy masivas desde recién formadas hasta el fin de su vida como supernovas. Éste es uno de los temas candentes de la moderna astronomía, ya que actualmente se pueden detectar supernovas a enormes distancias en el Universo. Se ve la estrella progenitora y cómo se genera la explosión.”

••• ¿Cómo se estudian los vientos estelares?

“Se pueden aplicar dos métodos: el teórico y diagnósticos de espectroscopía para ver cómo son los vientos estelares. La línea espectral formada en el viento estelar te cuenta algo del

brillo intrínseco de la estrella y de la velocidad absoluta del material que está perdiendo, por tanto se puede utilizar como indicador de distancia. Ello permite que las estrellas masivas, que son muy luminosas, sean utilizadas para medir la distancia a otras galaxias. Este último es un tipo de medida que yo he desarrollado y ahora estamos probando. Gran parte de las discusiones que tienen lugar en este encuentro son sobre este método.”

••• ¿Cuáles son los puntos controvertidos de esta discusión?

“Para empezar, no está muy claro si la relación entre la potencia del viento estelar y el brillo absoluto de la estrella es suficiente para la determinación de distancias. Somos escépticos respecto a ello porque la relación podría ser más complicada, con efectos que todavía no han sido determinados. El punto más controvertido es si podemos utilizar este sistema cuando miramos estrellas individuales en galaxias muy distantes. Un problema habitual es si lo que vemos es una única estrella o varias. La resolución espacial del telescopio podría no ser lo bastante buena para distinguir a estrellas como individuos diferentes. En ese sentido, los grandes telescopios como el VLT y el Keck son un paso hacia delante para entender la evolución estelar y la Astrofísica estelar en otras galaxias.”

••• ¿Qué nos cuentan las bajas metalicidades?

“Todo lo que se aprende de objetos con baja metalicidad puede ser utilizado para entender el espectro de galaxias con alto corrimiento al rojo en el Universo más distante y temprano. Esto es así puesto que cuando la primera generación de estrellas nació éstas contenían sólo hidrógeno y helio y su metalicidad era baja.

Con los grandes telescopios se ven galaxias con un alto corrimiento al rojo, de aproximadamente seis, lo que implica que están a una lejanía de 14

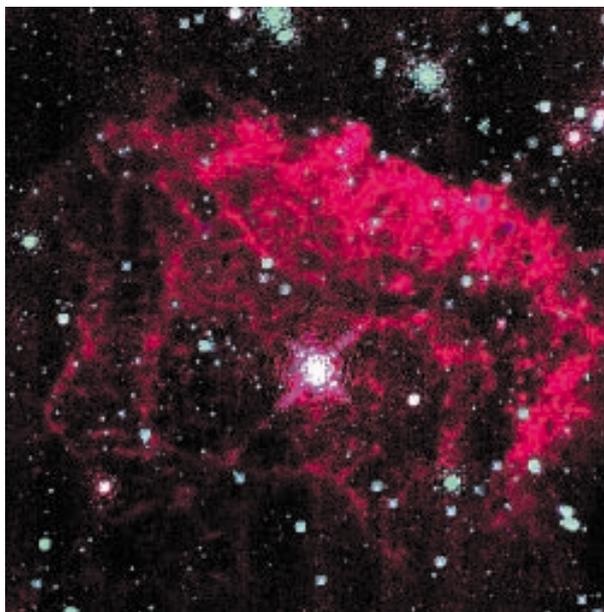
billones (millones de millones) de años luz, y se pueden obtener espectros de ellas.

Se investigan las propiedades físicas que tienen las estrellas con muy baja metalicidad en las galaxias cercanas y se aplica este conocimiento a las galaxias del Universo lejano. Esto se hace para entender las propiedades de la población estelar en esas galaxias a través de su espectro.”

••• ¿Cómo definiría el estudio del Universo?

“Pienso que es entender nuestro propio mundo. Para un astrónomo el mundo es mayor que la Tierra, entonces hay que comprender cómo era el Universo cuando se formó. Una de las grandes cuestiones en Astrofísica es por qué el Universo no es homogéneo, por qué hay estructuras (galaxias, cúmulos...), y para saber esto hay que investigar la física de los objetos, que son los bloques básicos en la formación del Universo.”

A.D.



«Estrella de la Pistola», una de las estrellas más brillantes de nuestra galaxia y que se encuentra en el centro galáctico.

© Don Figer (UCLA). HST, NASA.

A MASSIVE STAR ODYSSEY



CLAUS LEITHERER
STScI (Estados Unidos)

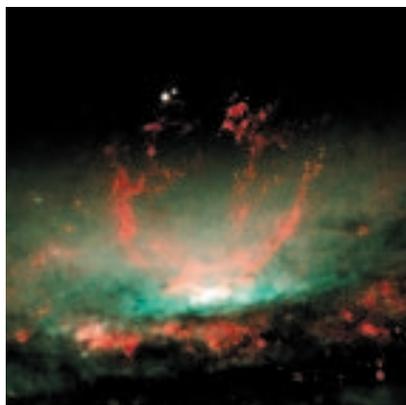
Usted trabaja haciendo modelos teóricos de síntesis de población estelar. ¿Qué proceso se sigue para ello?

“Nuestros modelos deben poder ser utilizados a distancias que están fuera del rango que puede ser calibrado, por ejemplo en un universo con alto corrimiento al rojo. Para ver si funcionan, primero se prueban en la Vía Láctea y después cada vez un poco más lejos: en galaxias cercanas, galaxias que no tienen corrimiento al rojo cosmológico y galaxias con un elevado corrimiento al rojo. Se prueban paso a paso, intentando hacer las calibraciones.

A la vez, hay que estar preparado para que el modelo dé respuestas incorrectas. El problema es que el error sistemático es mayor que el error formal. Y sobre el primero no se puede hacer nada realmente.”

••• ¿Qué estrellas se tienen en cuenta en un modelo?

“Nosotros intentamos incluir todas las estrellas en las que pensamos. Sin



embargo, por ejemplo en las galaxias *starburst* del Universo local, las estrellas de 100 ó 200 masas solares son tan raras que no contribuyen al espectro completo. Es decir, si elimináramos todas las estrellas por encima de las 100 masas solares, no se apreciaría ninguna diferencia en el espectro. Las estrellas de entre 40 y 50 masas solares son más importantes en el modelo, puesto que hay muchas más.

Esta relación puede variar en el Universo temprano, con alto corrimiento al rojo, debido a la distancia a la que se encuentra. Creado en un entorno químico diferente, la masa inicial de la estrella era mayor. Si se formaron estrellas con una masa centenares de veces la masa solar, ello se apreciaría en el espectro.

El último es un ejemplo de que hay que tener mucho cuidado con estos modelos ya que algo podría ser fundamentalmente diferente en el universo con alto corrimiento al rojo respecto al universo con bajo corrimiento al rojo.”

••• ¿Qué elementos químicos se están considerando?

“Intentamos considerarlos todos. El código que tenemos, con las principales líneas para las *starbursts*, es el más usado.

Lo que nos diferencia de otros códigos es que nos concentramos en la población estelar joven, dominada por todo tipo de estrellas, e intentamos predecir tantas propiedades como sea posible y reproducir el espectro completo. Trabajamos todas las líneas de emisión en el óptico (el hidrógeno, el nitrógeno, el helio...); pero también el espectro en el ultravioleta (las líneas de absorción en el carbono, el silicio...). Asimismo, predecimos el ritmo de supernovas, el número de estrellas Wolf-Rayet, cuánta energía es inyectada en el medio interestelar por los vientos estelares y por las explosiones de supernova. Con ello, podemos hacer predicciones para los flujos de gas a gran escala que presentan algunas galaxias.

Se comparan los modelos con la observación real. En teoría, las galaxias *starburst* presentan vientos hacia el exterior. Si tomas una imagen de lo que llega de las galaxias *starburst* se ve que el medio interestelar es expulsado de estas galaxias.”

••• ¿Ha habido formación estelar reciente?

“Las galaxias *starburst* son galaxias en las que ahora mismo centenares de millones de estrellas se están formando delante de nuestros ojos. La típica galaxia *starburst* en sus inicios tiene la talla de un cúmulo globular, pequeño (de pocos parsecs), pero muy concentrado, ya que hay muchas estrellas formándose, de hecho más estrellas que las que se encuentran en el disco de la Vía Láctea.”

••• ¿Este tipo de galaxias nos cuenta algo del origen de la Vía Láctea?

“Creemos que sí. Una de las creencias es que cuando se formó la Vía Láctea hubo un gran *starburst*, quizás hace 8 o 10 gigaaños, y apareció la primera generación de estrellas. En cierto sentido, la Vía Láctea se parecía a los *starbursts* que se ven hoy en día.”

A.D.

Brote de formación estelar en NGC 3079.
© G. Cecil (U. North Carolina), S. Veilleux (U. Maryland), J. Bland-Hawthorn (AAO), A. Filippenko (U. California Berkeley). HST, NASA.



ANDRÉ MAEDER
Observatorio de
Ginebra (Suiza)

Cómo empezó a dedicarse a la evolución de las estrellas masivas?

“Yo trabajaba en la evolución de las estrellas y un día escribí un libro de divulgación donde puse que las estrellas masivas son las más interesantes, ya que son las precursoras de las supernovas, fabrican elementos, se ven de lejos... y entonces me pregunté: si opinas esto, ¿por qué no las estudias?”

●●● ¿Qué nos cuentan del Universo?

“Su interés radica en que son los reactores nucleares que fabrican los elementos del Universo. Estos no son generados por estrellas como el Sol, sino por estrellas de gran masa. Otro aspecto interesante es que la luz que se observa de galaxias a diez, doce y trece mil millones de años luz procede principalmente de las estrellas masivas.”

●●● ¿Cómo estudia las estrellas masivas?

“Como toda la Astrofísica, con dos pies. Por un lado, la observación y, como no es posible analizar una estrella en un laboratorio, por modelos de ordenador. Entre estos dos campos existe un intercambio. Hay investigadores que se alegran cuando el modelo coincide con la observación; sin embargo, yo estoy más contento cuando no coincide porque ello implica que hay un progreso que se puede hacer, que se pueden mejorar los modelos, puesto que hay algo que no ha sido comprendido.”

●●● ¿Cuáles son los últimos desafíos en los modelos de ordenador?

“Los grandes ordenadores, que permiten hacer programas con los cuales se hacen simulaciones sobre las estrellas, son realmente excepcionales. Pero todavía hoy los modelos que se hacen son en una dimensión, con una coordenada. Sin embargo, en una estrella que gira, que es aplanada por la rotación, con una sola coordenada ya no es suficiente. Probablemente, el gran desafío consista en hacer modelos en dos y tres dimensiones, donde se considere la geometría compleja, no sólo en función de la distancia al centro.

Actualmente, empiezan a existir modelos en 2D y 3D.”

●●● ¿Cuándo se elaboraron los primeros modelos?

“Alrededor de 1905, Emden hizo modelos analíticos de esferas de gas. Pero no fue hasta la aparición de los ordenadores, en los años sesenta, cuando los primeros modelos se empezaron a desarrollar. Fueron una revolución.”

●●● ¿Cómo pierden masa las estrellas ?

“El satélite IUE (*International Ultraviolet Explorer*), lanzado el 1978, que observaba las estrellas en el ultravioleta mostró que las estrellas perdían masa por el viento estelar.

El viento solar es el responsable de las auroras boreales, un fenómeno importante, pero en las estrellas con una masa veinte o treinta veces la del Sol el viento será miles de veces más fuerte que el solar.

En ese proceso, la estrella se evapora, se adelgaza de un modo extraordinario. Por ejemplo, una estrella que al comenzar a quemar hidrógeno en su centro tendría cien masas solares, cuando termina la quema puede tener alrededor de unas treinta. Todo habrá partido en forma de viento estelar. Además, las estrellas giran sobre ellas mismas, lo que se sabe desde los tiempos de Galileo, quien observó que el Sol giraba.

En general, en los modelos no se había tenido en cuenta que las estrellas giran sobre sí mismas. Esto cambia bastantes cosas; existe la fuerza centrífuga y se generan corrientes internas.

Cuando una estrella gira sobre sí misma, no gira como una fuerza libre, sino con movimientos que arañan su interior. Esto significa que el reactor nuclear va a estar constantemente realimentado por el gas que viene del borde, lo que cambia todas sus propiedades. Por un lado, la pérdida de la materia. Por otro, la rotación que empieza a romper el interior de la estrella. Con esto nos divertimos.”

●●● ¿Cómo es nuestra galaxia y cómo ha evolucionado el Universo?

“Nuestra galaxia tiene un 98% de hidrógeno y helio. El 2% restante consiste en elementos más pesados (oxígeno, hierro, etc.). En el pasado del Universo había menos elementos pesados, ya que las estrellas todavía no los habían fabricado.

La cuestión es cómo fue la evolución de las estrellas masivas en las épocas más precoces del Universo. Si estas estrellas giraban deprisa, cómo evolucionaban, si eran mayores y más masivas que actualmente, cuál era su composición, su metalicidad... Saber cuáles eran las propiedades de esta primera generación de estrellas es una cuestión muy importante para la Cosmología, tanto observacional como teórica, para poder comprender nuestro Universo.”

●●● ¿Podría ponernos un ejemplo de *starburst* y explicarnos su importancia?

“Todo el mundo conoce la Nebulosa de Orión en la constelación del mismo nombre. En otras galaxias se encuentra el equivalente a cien mil veces esta nebulosa de estrellas que están naciendo. Las *starburst* son zonas donde se forman muchísimas

estrellas al mismo tiempo. Son fenómenos muy importantes en el Universo ya que generan muchas estrellas masivas y otros elementos. Se trata de formación estelar bastante violenta.

También se encuentran explosiones de supernova, resultado de la evolución que estudiamos.

••• ¿Qué tipo de elementos químicos producen las estrellas masivas?

“Principalmente elementos cuya masa atómica es múltiple de cuatro: el carbono (12), el oxígeno (16), el neón (20), el magnesio (24), el silicio (28), el azufre (32), y así hasta el hierro (56). Éstos también son los elementos más abundantes del Universo, la razón de ello es que el proceso nuclear de las estrellas los fabrica más fácilmente. Los elementos fabricados son expulsados al espacio. El reactor nuclear pierde masa por lo que contamina el medio que le rodea.”



ANTHONY F. J. MOFFAT
Universidad de Montreal
(Canadá)

Se dedica a la observación o al campo teórico?

“Principalmente, trabajo en la observación, aunque me gusta interpretar, pero no voy tan lejos como para desarrollar modelos teóricos. Mi estrategia consiste en observar siempre los mismos tipos de objetos con tantas técnicas diferentes como sea posible (radio, infrarrojo, óptico, UV, rayos X, e incluso algunas veces rayos gamma), utilizando satélites y telescopios terrestres.”

••• ¿Qué particularidades presenta cada tipo de radiación?

“Cada una te cuenta algo diferente, aunque complementario. Por ejemplo, los rayos X son fotones de alta energía y, por tanto, informan sobre el gas caliente. Las

••• ¿Qué importancia tienen los grandes telescopios?

“La importancia de los grandes telescopios radica en que con ellos se determina qué elementos están presentes y su abundancia. Además, permiten ir muy lejos en el Universo y ver las estrellas a gran distancia, así como obtener espectros detallados de toda la galaxia en los cuales no se llegan a distinguir las estrellas.”

A.D.

ondas de radio suelen proceder de regiones más frías, aunque no siempre. Si ambos tipos de radiación vienen de la misma zona y observas ambas, las ondas de radio informan sobre cuán grande es el campo magnético, y los rayos X sobre la temperatura.”

••• ¿Cómo definiría a las estrellas Wolf-Rayet?

“Son estrellas que tienen vientos estelares muy fuertes y un espectro muy raro: consiste en líneas de emisión en vez de líneas de absorción. Muchas de las estrellas conocidas tienen un espectro de líneas de absorción, por ejemplo el Sol. Pero los de las Wolf-Rayet consisten en líneas de emisión, procedentes de sus vientos estelares, que son un plasma caliente en expansión bastante denso. Esto fue descubierto hace cien años por dos astrónomos en París.”

••• ¿Dónde se hallan las estrellas masivas en el interior de una galaxia?

“En el disco. Las galaxias espirales que rotan tienen también un halo, pero éste es viejo, con estrellas que se formaron hace miles de millones de años. Hoy todo ocurre en el disco, cuya densidad aumenta especialmente hacia el centro de la galaxia. El número de estrellas Wolf-Rayet aumenta mucho más rápido que el resto, ya que requieren mucho material interestelar para generar el viento estelar y la metalicidad (los metales son los elementos procedentes de la evolución estelar) también aumenta hacia el centro. Al fin y al cabo, es en el centro de la galaxia donde ocurre con mayor rapidez la fusión estelar, que inyecta elementos en el medio interestelar que darán lugar a la siguiente generación de estrellas.”

••• ¿Qué interés especial tiene la región NGC 3603?

“Es un cúmulo muy denso que contiene muchas de las estrellas masivas conocidas; probablemente tiene la mayor colección de las estrellas más calientes de la galaxia. Esta región es mi preferida. La observo desde hace treinta años. Al principio, sin cámaras CCD, ni detectores ni nada. Hoy tenemos satélites. Observar algunos segundos con el Telescopio Espacial Hubble proporciona tanta información como la que yo tardaba varias semanas en reunir.”

••• ¿Cree que conocer la NGC 3603 ayuda a entender regiones similares en otras galaxias?

“Por supuesto. Es una región cercana, por lo cual podemos discernir cada estrella individualmente. En otras galaxias más alejadas, esto se vuelve cada vez más difícil, la información se confunde y lo que pensamos que es una estrella pueden ser varias.”

A.D.



NOLAN R. WALBORN
STScI (Estados Unidos)

Qué líneas espectrales estudia?

“Mi especialidad son los espectros de las estrellas de alta temperatura, masivas, tanto en el óptico como en el ultravioleta. En el ultravioleta se obtienen muchas líneas espectrales, pero en el espectro óptico de las estrellas calientes hay relativamente pocas, por tanto se utilizan casi todas en la clasificación. Aparte de las líneas de hidrógeno y helio, principalmente las líneas de metales livianos (carbono, nitrógeno, oxígeno, silicio, magnesio...). Lo ideal es que estén presentes dos estados de ionización consecutivos, ya que la razón de dos iones es un criterio de clasificación horizontal, relacionada con la temperatura; por ejemplo He I y He II (el inerte y una vez ionizado); o Si III y Si IV.

••• ¿Qué ventajas tiene la observación en el óptico frente al infrarrojo o viceversa?

“El óptico, especialmente en el azul-violeta, contiene muchas líneas útiles para la clasificación. Históricamente era el más utilizado, ya que las emulsiones fotográficas que se utilizaban en el s. XX eran sensibles a esa longitud de onda. El margen de clasificación se encontraba entre 3.900 y 4.900 Angstroms.

Ahora existen nuevos instrumentos espaciales en el infrarrojo que permiten hacer clasificaciones en otras regiones del espectro y comparar si coinciden o no con los resultados anteriores. El infrarrojo es importante porque permite observar estrellas oscurecidas por el polvo, ya que en esas circunstancias esta onda se extingue menos que la óptica.

Con el infrarrojo se pueden estudiar estrellas muy distantes, que no están en nuestra galaxia, y que están enrojecidas por el polvo, y también estrellas muy jóvenes que todavía están dentro de la nube de polvo en la cual se formaron. Por este motivo, se han desarrollado sistemas para clasificar en el infrarrojo.”

••• ¿Y la radiación ultravioleta?

“Todas las estrellas masivas tiene vientos, están expulsando sus capas exteriores. Estos fenómenos se distinguen sobre todo en el ultravioleta, que permite observar las capas exteriores de la estrella. Este tipo de radiación tiene que observarse con satélites, ya que la atmósfera terrestre no deja que la atraviese. En mi caso, he trabajado en la composición de los tipos espectrales derivados del óptico con los perfiles de viento en el UV.”

••• ¿Qué rango de la evolución estelar estudia?

“Las estrellas masivas en sus etapas de alta temperatura, cuando están en la secuencia principal, donde cualquier estrella pasa la mayoría de su vida convirtiendo hidrógeno en helio. Salen de la secuencia principal y se convierten en gigantes y supergigantes. También estudio las etapas inestables de alguna de estas estrellas por debajo de cierta masa (unas 50 masas solares), tras las cuales se convierten en supergigantes amarillas y rojas.”

••• ¿Qué importancia atribuye al espectro en la evolución estelar?

“En Astronomía, el espectro es uno de los elementos principales para estudiar estrellas o cualquier otro objeto. Las líneas que se observan revelan qué elementos químicos están presentes, cuál es su temperatura, su presión, y, además, se puede medir su velocidad radial. Por ejemplo, se han descubierto anomalías en las abundancias de carbono, nitrógeno y oxígeno en las estrellas masivas que se identifican con el resultado de la mezcla con productos producidos en los procesos nucleares del interior estelar. La proporción relativa de las líneas de carbono, nitrógeno y oxígeno es muy importante para diagnosticar el estado evolutivo de una estrella.”

••• ¿Qué diferencia hay entre las estrellas tempranas y tardías?

“Para una persona que no sepa nada de Astronomía, estrellas tempranas son las de alta temperatura y tardías las de baja temperatura. En principio, la temperatura está relacionada con la masa. En la secuencia principal, las estrellas más masivas son más luminosas y calientes.

En realidad, lo de temprana y tardía está relacionado con la temperatura del Sol. Llamamos tempranas aquellas cuya temperatura es mayor que la del Sol y son tardías si es menor. Cuando estos términos fueron introducidos, los tipos espectrales no se entendían ni tampoco cuál era la temperatura de cada tipo espectral.

En la secuencia principal, donde la estrella pasa el 90% de su vida transformando hidrógeno en helio hay una relación entre su masa y su temperatura. Luego, cuando la estrella empieza a agotar su hidrógeno, su posición en el diagrama de luminosidades y temperaturas se empieza a desplazar, se produce un cambio en su temperatura, en su estado evolutivo.”

••• ¿Hacia dónde se encamina ahora la investigación? ¿Qué resultados se esperan obtener en este campo?

“Todo el temario de este simposio, realmente. Está el lado observacional y el teórico. Estamos intentando entender primero cuáles son los problemas, cuál es la fenomenología. Yo trabajo en eso. Describo los espectros, los ordeno en frecuencias, descubro anomalías. Después hay que interpretarlos y explicarlos, es muy complicado. Existe mucha incertidumbre sobre la

estructura y evolución de las estrellas. Cada vez que descubrimos algo encontramos diez preguntas nuevas. Es sumamente compleja la variedad de estrellas peculiares que todavía no entendemos.”

A.D.



KAREL VAN DER HUCHT
SRON National Institute for
Space Research (Países Bajos)
Co-organizador del Congreso

Cuándo se empezaron a celebrar los simposios sobre estrellas masivas?

“Empezaron en los años setenta en Sudamérica. Desde entonces, cada cuatro años hay un simposio de la IAU (Unión Astronómica Internacional) sobre estrellas masivas, de cuya parte científica soy actualmente co-responsable.”

••• ¿Qué es una estrella masiva?

“Una estrella con una masa diez, veinte, hasta cincuenta veces mayor que la del Sol. La masa de una estrella se calcula a partir del estudio de binarias.

Utilizando la espectroscopía, con el corrimiento de la longitud de onda se obtiene la órbita de una estrella alrededor de otra (en las binarias). A partir de la órbita y aplicando las leyes de Kepler se encuentra la masa y ésta permite determinar si se trata de una estrella masiva o no.

Una estrella masiva se diferencia no sólo por la masa sino también por su evolución, ya que quema más rápidamente el material en su interior que otra de menos masa. El tiempo de vida de una estrella masiva (6 ó 7 millones de años) es mucho más corto que el de una estrella de masa solar (8.000 millones de años). Desde luego, no es a escala de la vida del hombre.”

••• ¿Qué importancia tienen estas estrellas en el estudio del Universo?

“Las estrellas masivas presentan un viento estelar muy fuerte con el que devuelven materia al medio interestelar, a partir del cual se formaron. En los procesos que ocurren en su interior, partiendo del hidrógeno se forman elementos más pesados, como el carbono, el oxígeno o el hierro. Estos elementos otra vez en el espacio interestelar pueden volver a utilizarse en la formación de nuevas estrellas. Por ejemplo, en el caso del Sol, que es una estrella de cuarta generación, la nube interestelar de la que procede contendría elementos pesados, no sólo hidrógeno.

Las estrellas de baja masa pasan por estos mismos procesos, pero carecen de vientos estelares fuertes. Estrellas como el Sol mueren silenciosamente y se convierten en una enana roja. En cambio, las masivas finalizan su vida con una explosión de supernova en la que la mayor parte de la materia es expulsada, tras lo cual aparece un agujero negro.

El hierro en nuestra sangre, el fósforo en el cerebro, el carbono en los huesos; es decir, elementos comunes para nosotros, se encontraban originariamente en el interior de las estrellas masivas.”

••• ¿Existe algún catálogo de estrellas masivas? ¿Cuál es su distribución en la Vía Láctea?

“Obviamente, sólo hacemos listas de nuestro vecindario. En la Vía Láctea siguen los brazos espirales y están situadas en el disco, no en el halo.

Por su corta vida, no se desplazan mucho. Deben existir unas 60.000 estrellas masivas viejas en la galaxia, pero registradas sólo hay unas 3.000. Y hablamos de la fase final de las estrellas masivas, las llamadas Wolf-Rayet, en nuestra propia galaxia sólo hay catalogadas unas 250.

Como ya he dicho, una estrella masiva deviene al final de su vida una supernova, de gran espectacularidad e influencia en el entorno, por lo que es muy interesante poder predecirla. Por ejemplo, en 1987 hubo una supernova en la región de la Nube Mayor de Magallanes. Se la llamó Supernova 1987-A, apreciable a simple vista desde el Hemisferio Sur, que fue catalogada antes de que explotara.”

••• ¿Qué probabilidad hay de vivir la explosión de una supernova?

“No muy alta. Aproximadamente, se da una explosión cada 300 años. En nuestra galaxia esperamos una supernova en cualquier momento, de hecho ya debería haber explotado, ya que la última se observó en el s. XVI. Esperemos que lo haga en nuestro lado de la galaxia para que podamos verla.”

A.D.



Paul Murdin

PAUL MURDIN



Particle Physics and Astronomy Research Council (*hasta 2001*) (Reino Unido)

Paul Murdin siempre ha estado muy vinculado a los Observatorios del IAC, desde que en la década de los 70 llegara a las Islas Canarias y fuera testigo de los primeros pasos del Observatorio del Roque Los Muchachos, constatando la gran calidad del cielo canario para la observación astronómica. Su nombramiento como Director de la División de Astronomía del *Particle Physics and Astronomy Research Council* supuso el colofón a una carrera no sólo dedicada a la dirección de políticas de investigación; también a la gestión de los tiempos de observación de los telescopios y a la adecuación de los recursos para la optimización de la instrumentación. En su honor se organizó el Workshop “Science from La Palma- Past, Present and Future” en octubre de 2001 con el que fue homenajeado con motivo de su jubilación. Autor, también, de diversos libros de divulgación, concibe la astronomía como una ciencia capaz de aportar soluciones a problemas sociales, un elemento de discusión sujeto a la opinión pública y una materia en constante renovación que hace que sus avances no sean más que eslabones de su meteórica evolución. Su forma de entender la astronomía le ha llevado a pensar que el valor de esta ciencia no radica en su legado, sino en aquello que realmente queda por descubrir. En febrero participó en el congreso “Communicating Astronomy” (*ver Congresos*).

**ASTRONOMÍA
EN CANARIAS**
Un testigo
de excepción

ASTRONOMÍA EN CANARIAS

Un testigo de excepción

ENTREVISTA CON PAUL MURDIN

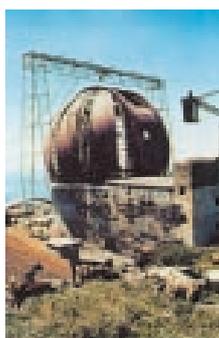


¿Cuándo comienza su vinculación con el Observatorio del Roque de los Muchachos y cuál ha sido su trayectoria profesional desde entonces?

“Llegué a las Islas Canarias por primera vez a finales de los setenta. Por entonces, estaban construyendo el primero de los telescopios británicos en el Roque de los Muchachos, en La Palma. El lugar me impresionó profundamente. Canarias es un sitio muy especial, primero por su belleza, que me enamoró enseguida. Es bello también para la astronomía por la claridad de sus cielos, algo que reconocí rápidamente. Las cumbres de La Palma y Tenerife son un lugar extraordinariamente atractivo, especialmente para un inglés como yo, acostumbrado a estar en ciudad, en un llano lleno de árboles y, si me permite, de ‘civilización’; subir a las cumbres canarias, lugares de impresionante naturaleza, llenos de contrastes, causa una gran impresión. Ayudé a establecer los telescopios británicos en Canarias como asesor científico del proyecto. Una vez concluida la instalación, trabajé en el período de prueba para asegurarnos de que todo funcionaba como estaba previsto. Luego me designaron responsable de operaciones de los telescopios, por entonces el JKT y el INT. Fui testigo de la afluencia de astrónomos de todas partes para utilizar nuestros telescopios en La Palma, asegurándome de que los instrumentos hacían lo que querían que hicieran, si funcionaban bien (eso era lo mínimo), si funcionaban de una manera científicamente correcta para los astrónomos, si había formas de mejorar su prestación. Siempre me ha interesado la ciencia, no sólo como el estudio de la realidad externa del Universo, sino también como fenómeno sociológico. Es impresionante comprobar cómo los científicos se reúnen, procedentes de distintos países y culturas, y trabajan juntos en equipos internacionales. Tienen predisposición y voluntad de trabajar así y yo consideraba mi trabajo el garantizarles un ambiente favorable.

Me entusiasmaba participar en las sesiones de observación. Venían a utilizar los telescopios para cosas que a mí nunca se me hubieran ocurrido, y eso era maravilloso. Estuve unos cinco años haciendo este trabajo, luego regresé a Inglaterra para continuar con mi carrera científica. Comencé a organizar a los astrónomos en su investigación científica de la misma manera y, en 1990, me trasladé al *Royal Observatory of Edinburgh* (ROE) con el objeto de organizarlo. Sin embargo, a pesar de la distancia, siempre mantuve el contacto con el Instituto de Astrofísica de Canarias a través de mi pertenencia a algunos comités administrativos de los telescopios. Más tarde, en 1994, me convertí en un auténtico burócrata científico, haciendo trabajo puramente administrativo, gestionando fondos, con muy poca ciencia, como miembro del *Particle Physics and Astronomy Research Council* (PPARC). Luego me designaron representante del PPARC en el comité gestor de los telescopios; por entonces el Telescopio “William Herschel” ya estaba construido. Así, me convertí en miembro del Comité Científico Internacional (CCI), indicando al director, a los responsables y al *Royal Greenwich Observatory* (RGO) la política a seguir con los telescopios, tratando de que las relaciones entre las diferentes comunidades funcionasen bien y, por supuesto, marcar los límites financieros en los que llevar a cabo todo esto. Ése fue mi trabajo hasta finales de 2001, en que tuve que jubilarme al cumplir los 60 años.

Fueron veinte años de contacto con las Islas Canarias en los que pude ver el crecimiento del observatorio, desde que no era más que un agujero en el suelo hasta convertirse en una instalación científica madura.”



Las cabras, en primer plano, ignoraban la importancia del Telescopio «William Herschel», que se estaba instalando en el Observatorio del Roque de los Muchachos (momento que recoge la fotografía).

¿Cómo ve usted el futuro del *Isaac Newton Group of Telescopes* (ING) en el marco del *European Northern Observatory* (ENO)?

“Todos los científicos se enamoran de sus instalaciones, dedican mucho tiempo y trabajo a construir telescopios o el tipo de instalación con el que trabajan. Aprenden a usarlas, comprueban su aprovechamiento y los resultados científicos que se obtienen con ellos y es siempre triste contemplar que el progreso de la ciencia ha cambiado la importancia del aprovechamiento de un instrumento o una instalación científica. Pero es un hecho natural de la evolución científica que la

importancia de una instalación disminuye a lo largo de su vida útil: llega un momento en que ya no está en la cresta de la ola, puede seguir siendo útil, pero no de vanguardia, y esa es la situación a la que ha llegado el Grupo de Telescopios "Isaac Newton". Posiblemente inspirados en grandes instrumentos como el telescopio espacial "Hubble", los astrónomos han aprendido a mejorar sus telescopios terrestres con técnicas como la óptica adaptativa; además, los ingenieros han sido capaces de construir telescopios mayores, capaces de recoger más luz y, por tanto, alcanzar mayor detalle en la imagen, en definitiva, de hacer más ciencia. El ING ha cambiado ya como respuesta a esta tendencia evolutiva en la ciencia y se ha convertido en una institución de apoyo al trabajo de los grandes telescopios de vanguardia. Cuando se construya el GTC, pienso que el ING realizará un trabajo complementario al del GTC, igual que lo está haciendo ahora como complemento al trabajo del Gemini en la comunidad británica o al de los telescopios del ESO. Cuando España tenga en funcionamiento el GTC considerará los telescopios del ING de esa misma manera. Pienso que el ING tiene futuro. Es difícil determinar cuánto porque depende del siguiente paso en la tendencia científica. Su desafío consiste en mantenerse tan competitivo en este nuevo panorama como lo ha sido en los últimos años. Sí, el ING tiene futuro, sobrevivirá, cambiará, pero le quedan décadas de vida."



¿Qué posibilidades tiene el Observatorio del Roque de los Muchachos de atraer la instalación de telescopios muy grandes, como el de 50 m (Euro50) o el de 100 m (OWL)?

"Me sorprendería mucho que el mundo construyese más de dos o quizá tres de esos telescopios muy grandes. El proyecto OWL tiene un coste estimado del orden de mil millones de euros, lo que es mucho dinero para una sola instalación. Si sólo se construye uno de estos telescopios deberá instalarse en el mejor sitio posible, y estoy seguro de que así será. Creo que el Observatorio del Roque de los Muchachos podría ser el mejor sitio, pero, por supuesto, existen otras posibilidades que tendrán que estudiarse con todo detalle. Los distintos emplazamientos y sus peculiares características tendrán que ser analizados de tal manera que se estudie cómo cada una de esas peculiaridades favorecen el aprovechamiento del telescopio y se aproveche al máximo la decisión de instalarlo en uno o en otro lugar. Si se construyese más de uno de estos grandes telescopios, obviamente las posibilidades de instalación en La Palma serían mayores, por la simetría hemisférica."

Vista del Observatorio del Roque de los Muchachos, en el que perfilan, entre otros, los tres telescopios del ING.

Foto: M. Briganti (SMM/IAC)

Usted ha participado en el congreso "Communicating Astronomy". ¿Hasta qué punto es necesario comunicar la ciencia?

"Lo que hemos comprobado en este congreso es que hay mucha gente preocupada. Hemos escuchado presentaciones donde se sostenía que la posición de la ciencia en la sociedad actual se está deteriorando, que hay más interés por la astrología que por la astronomía, que se desconfía de la ciencia. Tengo que decir que no estoy de acuerdo con estas opiniones. Nunca antes he visto a la ciencia mejor considerada por el público de lo que está ahora y no me asusta en absoluto el que haya controversias y aspectos científicos sobre los que se está reflexionando, como el caso de la enfermedad de las 'vacas locas', o de la conveniencia o no de la vacunación de los niños, los alimentos transgénicos, ... Hay un debate intenso en la sociedad sobre temas científicos, algo que hasta hace poco no se producía, y es que vivimos una época en que la gente conoce por dónde va la ciencia y es capaz de comprender algunos de los temas científicos más candentes. Por supuesto, también es cierto que muchos de estos temas se debaten de una forma que no resulta satisfactoria para los científicos, en cierto modo los medios de comunicación son los responsables de esta confusión, otras veces es la complejidad de los temas tratados la que dificulta su divulgación. En definitiva, resulta difícil divulgar y comprender estos temas para sacar ideas claras, pero se trata de un proceso político, un proceso comunitario y en el mundo occidental actual se trata de procesos que se debaten abiertamente por la opinión pública. El hecho de que haya cosas negativas es parte de un proceso que debe subrayar también las cosas

"Creo que el Observatorio del Roque de los Muchachos podría ser el mejor sitio para el Proyecto OWL, de 100 m, aunque existen otras posibilidades."

ASTRONOMÍA EN CANARIAS **Un testigo de excepción**

ENTREVISTA CON PAUL MURDIN



positivas. Soy optimista. Ahora, ¿dónde encaja aquí la astronomía? Pues cuenta con unas ventajas fabulosas para contribuir a este proceso. Por supuesto, no podemos opinar sobre la conveniencia o no de una vacuna u otra, pero sí tenemos mucho que decir sobre los procesos de debate sobre ciencia, donde nuestra ventaja es doble: por un lado, nuestra ciencia es multidisciplinar, estudia todo lo que esté alejado, abarcando física, química, matemáticas, todas las ciencias, porque estudiamos los experimentos naturales que Dios ha puesto ahí para nosotros. Dios ha hecho lo que ha hecho y debemos enfocar nuestros experimentos con su conocimiento, tratando de conocer su planteamiento cuando lo construyó. Es decir, tenemos un enfoque multicisciplinar, lo que significa poder resolver problemas sociales y científicos de especial complejidad. Además, la gente tiene una cierta motivación hacia la astronomía. Hay algo en nuestros genes o en nuestro cerebro que nos hace interesarnos por la astronomía, y debemos aprovechar esa circunstancia para hablar de temas científicos de forma que no resulte amenazante para la sociedad. Qué menos amenazante que lo que sucede en una galaxia a miles de años luz. Se trata de acostumbrar a la gente a abordar las cosas de manera científica, al debate científico. Incluso podemos lograr su participación en la astronomía a través de acontecimientos como fiestas de las estrellas, observaciones con telescopio, acceso a telescopios robóticos vía internet, etc. Creo que los gobiernos nos contemplan como una forma de educar al público en la ciencia, por eso les interesa la astronomía como actividad pública. Los temas debatidos en este congreso demuestran que la gente está apurando las herramientas para poder hacer este trabajo, es decir, debatir sobre astronomía, contar a la gente en qué consiste el trabajo de un astrónomo, comunicar la astronomía con entusiasmo. El congreso ha tenido mucho éxito desde este punto de vista.”

¿Cuáles son para usted los aspectos importantes a que se enfrentará en el futuro la publicación en Astronomía?

“Quienes presenten ponencias sobre publicaciones científicas nos podrán indicar cómo hacerlo mejor. Un consejo que supongo que oiremos es que deberíamos contar la astronomía como se cuenta una historia, un relato. Al escribir libros sobre astronomía deberíamos no sólo recoger los hechos objetivos acerca de las estrellas y las galaxias, sino hablar también de las personas que han participado en el proceso. De esta manera las publicaciones tendrían más éxito. Aún así, creo que la publicación en Astronomía ya es un éxito, hay muchos libros de astronomía en las librerías, aparecen muchos artículos sobre el tema en los periódicos, muchos programas de televisión,... Ya tenemos éxito, pero también podemos tener más éxito aún. Si creo que la publicación en astronomía tiene problemas, si tenemos oportunidades para mejorar, la respuesta es ‘sí.’”

“Debería haber un reconocimiento formal por parte de la comunidad astronómica hacia los que dedican parte de su tiempo a la divulgación.”

¿Existe sinergia entre los astrónomos profesionales y los divulgadores científicos?

“La comunidad astronómica es muy amplia. Quizá en el pasado hubo un tiempo en que los astrónomos vivían en su propia torre de marfil, el erudito inmerso en su estudio, encerrado durante meses en su telescopio como un ermitaño y sin hablar con nadie. Pero en la actualidad no es así. Hoy los astrónomos colaboran con mucha gente para avanzar en su ciencia, con ingenieros, por supuesto, para construir los telescopios, y con divulgadores profesionales para divulgar su trabajo. Siempre me ha parecido útil discutir los libros o artículos con divulgadores profesionales. Me parece estupendo que muchos divulgadores profesionales se hayan vinculado a la astronomía para ayudarnos a tener aún más éxito con la divulgación.”

¿Debería concederse espacio en los currículos académicos para la divulgación científica?

“Creo que la respuesta depende de lo que signifique exactamente la inclusión en el currículo. Si se refiere a una gran especialización que suponga separar al divulgador de los astrónomos, la respuesta es ‘no’. Pienso que cuanto más flexible sea el programa académico, más posibilidades hay de conseguir una carrera que no sea una línea recta sino flexible, y que permita trabajar con personas diferentes y progresar vinculando muchas cosas entre sí. Yo lo pondría de otro modo: ¿debería haber un reconocimiento formal por parte de la comunidad astronómica hacia los que dedican parte de su tiempo a la divulgación? Para mí, la respuesta es ‘sí’ y creo que la mayoría de los astrónomos estarían de acuerdo en que se reconozca adecuadamente a quienes contribuyan a la ciencia con su talento divulgador. No a una carrera, pero sí a un reconocimiento.”

La figura de Carl Sagan. ¿Fue un científico divulgador o un divulgador de la ciencia?

“Mi imagen de Carl Sagan es que era un científico de gran éxito en el estudio de los planetas. De hecho, fue el primero y el más importante de su especialidad que tenía un don especial para comunicar su trabajo de forma clara y atractiva. Esto le ayudó a progresar en sus actividades científicas, porque le permitió ejercer una gran influencia en la política científica en torno a la ciencia planetaria y muchos de los proyectos espaciales estuvieron inspirados por él. Fue capaz de explicar al público en general los conceptos astronómicos con una sencillez abrumadora; primero, tenía un gran talento para hacerlo; pero, en segundo lugar, practicaba. Tuve ocasión de verlo justo antes de una de sus intervenciones en televisión y practicaba mentalmente las citas, las frases, las palabras que iba a emplear para pronunciarlas de la manera más efectiva. Trabajaba mucho y, por supuesto, tuvo mucho éxito. Ganó mucho dinero, esa fue su compensación. Pero no lo tengo por un científico que dejó de serlo para dedicarse a la divulgación, lo veo más bien como un especialista en ciencia planetaria que era capaz de divulgar la ciencia asombrosamente bien.”

¿Qué problemas se ha encontrado editando la *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*?

“El proyecto, para empezar, era de envergadura, un proyecto de un millón de dólares, con lo que suponía mucho trabajo. Se trataba de recoger absolutamente todo sobre astronomía. Nos propusimos confeccionar un gran libro con 2,5 millones de entradas al precio de 600 dólares, nada barato, sobre la astronomía actual. Querían recoger toda la astronomía en sus páginas. Así que reunimos a un enorme equipo de astrónomos -unos 700- para que escribieran los artículos y produjeran la estructura del libro y lo llevaran a buen fin. Era como gestar un bebé, pero más bien un bebé de elefante, porque el trabajo llevó tres años, más o menos lo que tarda el embarazo de un elefante. El resultado ha sido un libro con muy buena crítica y del que la comunidad de astrónomos ha dicho que es realmente la astronomía que ellos hacen, una instantánea de la astronomía actual. Tengo que decir que estoy muy orgulloso del trabajo hecho. Hay algunos errores, hay cosas que podían haberse hecho mejor, pero se trataba de gestionar un enorme presupuesto y trabajamos bajo presión e igual que admito los errores también veo los éxitos. Otra cosa de la que estoy orgulloso es que la comunidad de personas que participó en la confección del libro es la comunidad astronómica en su conjunto: no los amigos de Paul Murdín, ni los astrónomos europeos, ni los británicos, sino la comunidad astronómica en su conjunto, por eso lo han admitido y ha tenido tanto éxito.

Ahora el reto consiste en mantenerlo al día: hemos sacado una versión en papel, que nos ayudará desde el punto de vista financiero, pero también hemos sacado una versión en red, en internet, y estamos experimentando para ver cómo podemos hacerla rentable económicamente. Además, estamos aprovechando las propiedades de la red en cuanto a la forma en que se pueden colgar de ella imágenes, secuencias, y actualizarla frecuentemente para desarrollar la edición electrónica. Además de esto, acabo de empezar a trabajar en una edición divulgativa del libro, destinada al público en general. Dentro de un año aproximadamente espero tener publicada una versión más asequible del libro.”

“Siempre me ha interesado la ciencia, no sólo como el estudio de la realidad externa del Universo, sino también como fenómeno sociológico. Es impresionante comprobar cómo los científicos se reúnen, procedentes de distintos países y culturas, y trabajan juntos en equipos internacionales.”

CARMEN DEL PUERTO Y BEGOÑA LÓPEZ BETANCOR (IAC)



Rolf Krauss

ROLF KRAUSS



Museo de Prehistoria de Berlín (Alemania)

La interpretación astronómica de las Pirámides egipcias sigue siendo objeto de debate. El egiptólogo Rolf Krauss, del Museo de Prehistoria de Berlín (Alemania) -anteriormente del Museo Egipcio-, quien impartió un curso de doctorado en el IAC sobre “Historia de la Astronomía”, conjuntamente con el investigador del IAC Juan Antonio Belmonte, pronunció el pasado 24 de enero la conferencia “Las orientaciones de los canales de la Pirámide de Keops”. En esta charla demostró que tales canales no están orientados con criterios astronómicos, contrariamente a lo propuesto por algunos autores, y que, por tanto, no eran caminos abiertos para que el alma del faraón alcanzara las estrellas.

ASTRONOMÍA EGIPCIA El origen del calendario

ASTRONOMÍA EGIPCIA **El origen del calendario**

ENTREVISTA CON ROLF KRAUSS



¿Qué importancia tuvo la estrella Sirio para la civilización egipcia?

“Sirio fue la única estrella utilizada en el calendario de 365 días. La ascensión heliaca de Sirio era el hito astronómico que marcaba el comienzo del año. Como el calendario egipcio sólo tenía 365 días -no había años bisiestos-, la ascensión de Sirio se iba trasladando a lo largo del calendario: ascendía en el mismo día durante cuatro años y luego se trasladaba al día siguiente. A lo largo de los siglos, fue rotando por todas las estaciones y el ciclo se completaba al cabo de 1.461 años egipcios o 1.460 años julianos. El comienzo y el fin de este ciclo queda recogido en los textos del romano Censorinus, según el cual, en el año 139 d.C., con el emperador Antonino, finalizó uno de esos ciclos de 1.460 años y empezó uno nuevo. Evidentemente, la población del Imperio romano quedó impresionada por el acontecimiento, y en Alejandría, por ejemplo, se acuñaron monedas con la imagen del fénix, símbolo entonces del dios solar. Otro autor romano, Tácito, dijo que el fénix vivió 1.460 años.

Otro aspecto que vincula a Sirio con la civilización egipcia es que la gente hablaba de la ascensión heliaca de Sirio no sólo en relación con el calendario, sino que lo utilizaban de forma metafórica. Por ejemplo, podía decirse por entonces que una mujer era tan bella como Sirio cuando asciende de forma heliaca. Es decir, Sirio no solamente tenía un papel importante desde el punto de vista técnico para el calendario egipcio, sino que estaba integrada en la cultura popular.”

¿Qué utilidad ha tenido el estudio de la astronomía egipcia en el establecimiento de la cronología?

“El estudio de la astronomía egipcia juega un papel importante en el establecimiento de la cronología. Sin embargo, el punto de partida ha sido la sincronía entre la historia mesopotámica y la egipcia. Las listas de reyes babilónicos y asirios se ha conservado bastante bien hasta el año 1400 a.C. Hay cierta sincronía entre faraones y reyes mesopotámicos; por ejemplo, el famoso faraón Ramsés II tuvo contacto indirecto con un rey babilónico, lo cual nos permite fijar el principio del reinado de Ramsés II en el intervalo desde 1285 hasta 1271 a.C. Es aquí donde entra en juego el estudio de la astronomía egipcia. Por coincidencia, hay una fecha lunar del año 52 de Ramsés II, o sea, un año entre 1233 y 1219 a.C. Mediante cálculos astronómicos, podemos determinar esa fecha lunar en 1228 a.C. y, en consecuencia, el primer año del reinado de Ramsés II en 1279 a.C.

Luego hay otro problema: si vamos hacia atrás en el tiempo, hasta el 1800 a.C., no hay ninguna sincronía entre la historia babilónica y la egipcia. Aquí estamos solos en el empeño; sabemos con poca precisión durante cuánto tiempo gobernaron los reyes egipcios, pero tenemos cierta idea y podemos sumar los mandatos de cada uno de los reyes como los conocemos y obtener así una distancia entre Ramsés II y los reyes del llamado Imperio Medio, lo que debe ser un período aproximadamente de unos 600 años antes de Ramsés II. Es una distancia mínima entre el período de Ramsés II y el Imperio Medio, porque no conocemos todos los reinados con exactitud.

Hace 100 años fueron hallados fragmentos de papiro en la escombrera del templo en Iahun, a unos 60 km al sur de El Cairo. Se encontró un fragmento que decía que, en el año 7 del reinado de Sesostri III, Sirio ascendió heliacamente entre los días 226 y 228 del calendario de 365 días. Existen varias incertidumbres en torno al cálculo de la ascensión heliaca de Sirio. Por ejemplo, no sabemos desde qué lugar en Egipto se observaba la ascensión. Podía ser desde el sur, a una latitud de 24°, o en la costa mediterránea, a 32°. La visibilidad de la ascensión heliaca de Sirio varía

“La moderna astronomía nos ayuda a establecer la cronología egipcia. Lo que necesitamos son fuentes egipcias con dataciones astronómicas.”

del norte al sur en torno a un día por grado de latitud, de modo que es preciso saber desde dónde se observaba. En términos cronológicos, esta distancia de unos siete días se traduce en aproximadamente 30 años en la cronología. Hay otros problemas, de modo que esta fecha de la ascensión de Sirio sólo nos indica que ese rey reinó alrededor del año 1850 a.C. + 30 años. Afortunadamente, se encontraron otros papiros en Ilahun que contenían fechas lunares. Juntos reunían 20 dataciones lunares, todas ellas de años de Sesostri III y de su sucesor. Estas fechas permiten el cálculo astronómico, pues ya sabemos en qué período debe buscarse en torno al 1850 a.C. Es decir, es posible calcular las 20 fechas lunares. Según dichos cálculos, el año 7 de Sesostri III coincide con el año 1830 a.C.

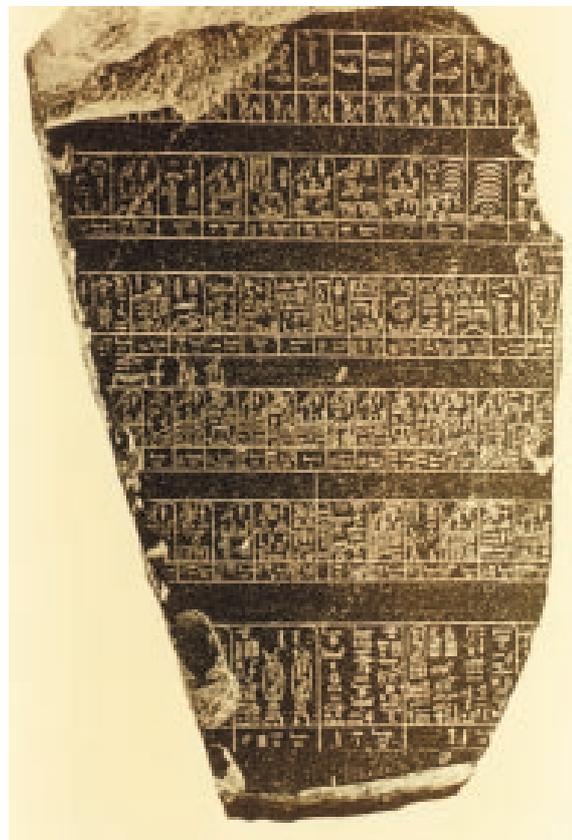
De este modo, la moderna astronomía nos ayuda a establecer la cronología egipcia. Lo que necesitamos son fuentes egipcias con dataciones astronómicas, sin las cuales la astronomía no puede ayudarnos. De no ser así, siempre nos quedaría la tradición histórica que dice que tal rey reinó durante tantos años y, como mucho, conseguiríamos una cronología mínima. Normalmente, las fuentes no nos dicen que un rey determinado murió el año tal de su reinado.”

¿Podemos determinar con precisión el origen exacto de nuestro calendario de 365 días?

“Podemos fijar aproximadamente el año 2740 como el comienzo del calendario civil. La base de la conclusión es que en el año 1830 a.C. Sirio ascendió heliacamente el día 228 y que la ascensión avanzaba un día cada cuatro años. Una estela con los anales de las primeras dinastías hace menciones del calendario de 365 días. Hay fragmentos mayores de la piedra en El Cairo y en Palermo. *La piedra de Palermo* nos muestra que, al menos en torno al 2500 a.C., se utilizaba ya el calendario de 365 días porque, casualmente, este fragmento recoge la muerte de un rey y la ascensión al trono de su sucesor. La inscripción dice cuánto tiempo el rey muerto vivió en su último año de reinado, digamos 5 meses y 15 días, ya que el siguiente rey reinó en su año de ascensión al trono el resto del tiempo hasta completar los 365 días. Así que es evidente que este calendario se aplicaba ya en aquella época.”

¿Tuvo algo que ver la astronomía con la orientación de las construcciones egipcias?

“En general, la astronomía no tiene relación alguna con la construcción de los edificios egipcios. Hay algunas excepciones a la regla. Por ejemplo, en el caso de las pirámides de la IV y V dinastías es evidente la orientación de las pirámides al norte, algo que sólo es posible si se tiene en cuenta la astronomía. La orientación de las pirámides se ha estudiado desde el siglo XIX, pero los métodos utilizados no han dado buen resultado o, de funcionar, habría que admitir que probablemente los egipcios no habrían sido capaces de utilizar el método propuesto. Sin embargo, desde hace pocos años se ha presentado la sugerencia de que utilizaron un par de estrellas circumpolares cuando se encontraban en tránsito simultáneo. Esta idea ha sido desarrollada por Juan Antonio Belmonte, del IAC, y sugiere que el tránsito simultáneo de dos estrellas del carro de la Osa Mayor señalaba directamente al polo en torno al siglo XXVI a.C. y antes, debido a la precesión, señalaba al oeste y luego al este. Lo curioso es que las pirámides de la IV dinastía tienen ligeras desviaciones del norte, de acuerdo con el cambio en el dicho tránsito simultáneo. Yo, como egiptólogo, acepto esta explicación sobre todo porque la cronología que resulta de ella es la que yo prefiero como arqueólogo. Había otras sugerencias que implicaban una cronología más tardía para las pirámides, según la cual las pirámides se habrían construido cien años más tarde de lo que creen los arqueólogos. Sería muy difícil explicar esos cien años de



*Piedra de Palermo
(V Dinastía).
Imagen: J.A. Belmonte.*

ASTRONOMÍA EGIPCIA **El origen del calendario**

ENTREVISTA CON ROLF KRAUSS



diferencia, así que me quedo con la explicación de Belmonte, porque de su propuesta se deduce una cronología que a mí, como arqueólogo, me encaja perfectamente.”

¿Con qué fuentes de información contamos para el estudio de la astronomía egipcia?

“Las fuentes más antiguas son los textos de las pirámides que fueron escritos en las paredes de la cámara funeraria del rey Unas, en torno al año 2300 a.C. Esta práctica se mantuvo los siguientes 250 años, hasta la época en que dejaron de construirse pirámides por motivos de inestabilidad política en Egipto. Posteriormente, estos textos aparecieron en los sarcófagos. Más tarde aún, en torno al 1500 a.C., y después, estos textos aparecieron en el Libro de los Muertos. Son textos donde se habla de la Luna, del canal sinuoso que yo explico como el cinturón de la eclíptica, etc. Con frecuencia se habla también del rey deificado, transfigurado, que asciende al cielo y aparece en la forma de una estrella y al que se atribuyen determinadas acciones.

Además hay otras fuentes astronómicas, sobre todo numerosas listas de los decanos, o sea, grupos de estrellas, o estrellas individuales, cuyas salidas marcaban las sucesivas horas nocturnas.”

¿Hasta qué punto hubo creencias astrológicas en Egipto?

“Las primeras indicaciones de la existencia de creencias astrológicas en Egipto procede de la época del faraón Meneptah, que reinó poco antes del año 1200 a.C. Hubo una guerra entre

Egipto y Libia. Los libios habían atacado a los egipcios y éstos ganaron la guerra, tras la cual se grabaron inscripciones en roca que contaban lo acontecido en la batalla. En ella aparece una línea donde se habla de "los que observan sus estrellas", y han previsto que Egipto no perderá esta guerra. Es una referencia clara a la astrología.

En mi charla analizaba un calendario del siglo XIII a.C., en el cual cada día del año ha sido clasificado como bueno o malo. Por ejemplo leemos: "El día 164 no dejes tu casa por la mañana porque es cuando el dios Set aparece en la proa de la barca del dios del Sol y lucha con el demonio Apofis. Sabemos que el dios Set se corresponde con el planeta Mercurio, lo que se conoce de los textos de los sarcófagos desde el 2000 a.C. Además, el dios Horus que también aparece en el calendario, es una forma del



*Textos de las Pirámides.
Tumba de Pepi I
(VI Dinastía)
Imagen: J.A. Belmonte*

planeta Venus. Yo me pregunté: ¿por qué no hacemos corresponder dioses con planetas? Y, ciertamente, el calendario parece ser del año 1297-96 a.C. y nos dice, por ejemplo, cómo se vio Venus, la estrella vespertina, la primera vez en el año en el día 169 y cómo, siete meses después, el ojo del Horus Mayor, o sea el planeta Venus, se llenó por completo (el máximo brillo), y más ejemplos de este tipo. En este caso, existe una explicación astrológica: cuando el planeta Venus o Mercurio haga esto o lo otro, así tendrás un buen o un mal día. Ésa es la astrología egipcia que, quizá con los siglos, se fue perdiendo. Sea como fuere, desde el año 600 a.C., los egipcios estuvieron bajo la influencia de los babilonios, adoptando su astrología, de modo que Egipto fue una mezcla de la astrología babilónica y la helenista.”

¿Tiene el actual conocimiento de la historia de Egipto alguna aplicación o uso en la astronomía moderna?

“Yo diría que no. El estudio de la astronomía egipcia no sirve de ayuda a la astronomía actual, es más bien al revés. Tenemos las fuentes y luego utilizamos las posibilidades de cálculo de la astronomía moderna para estudiarlas si es que tienen algún interés astronómico. Si los egipcios hubiesen registrado eclipses de Sol, podría servir de ayuda para la astronomía, pero no existen tales registros. Los egiptólogos necesitan la base de la astronomía moderna y sería interesante que los astrónomos vieran que, si se aplica la astronomía moderna al calendario lunar o a las fechas de ascensión heliaca de Sirio, el sistema funciona.”

“*La piedra de Palermo* nos muestra que, al menos en torno al 2500 a.C., se utilizaba ya el calendario de 365 días porque, casualmente, este fragmento recoge la muerte de un rey y la ascensión al trono de su sucesor.”

¿Qué piensa de la divulgación de la astronomía egipcia y sus interpretaciones esotéricas?

“Yo diría que no se puede evitar. Mucha gente piensa de forma irracional y tiene tendencias esotéricas; es algo que no podemos cambiar. Tenemos que vivir con el esoterismo y no sirve de nada decir que estas cosas no tienen ninguna razón de ser.”

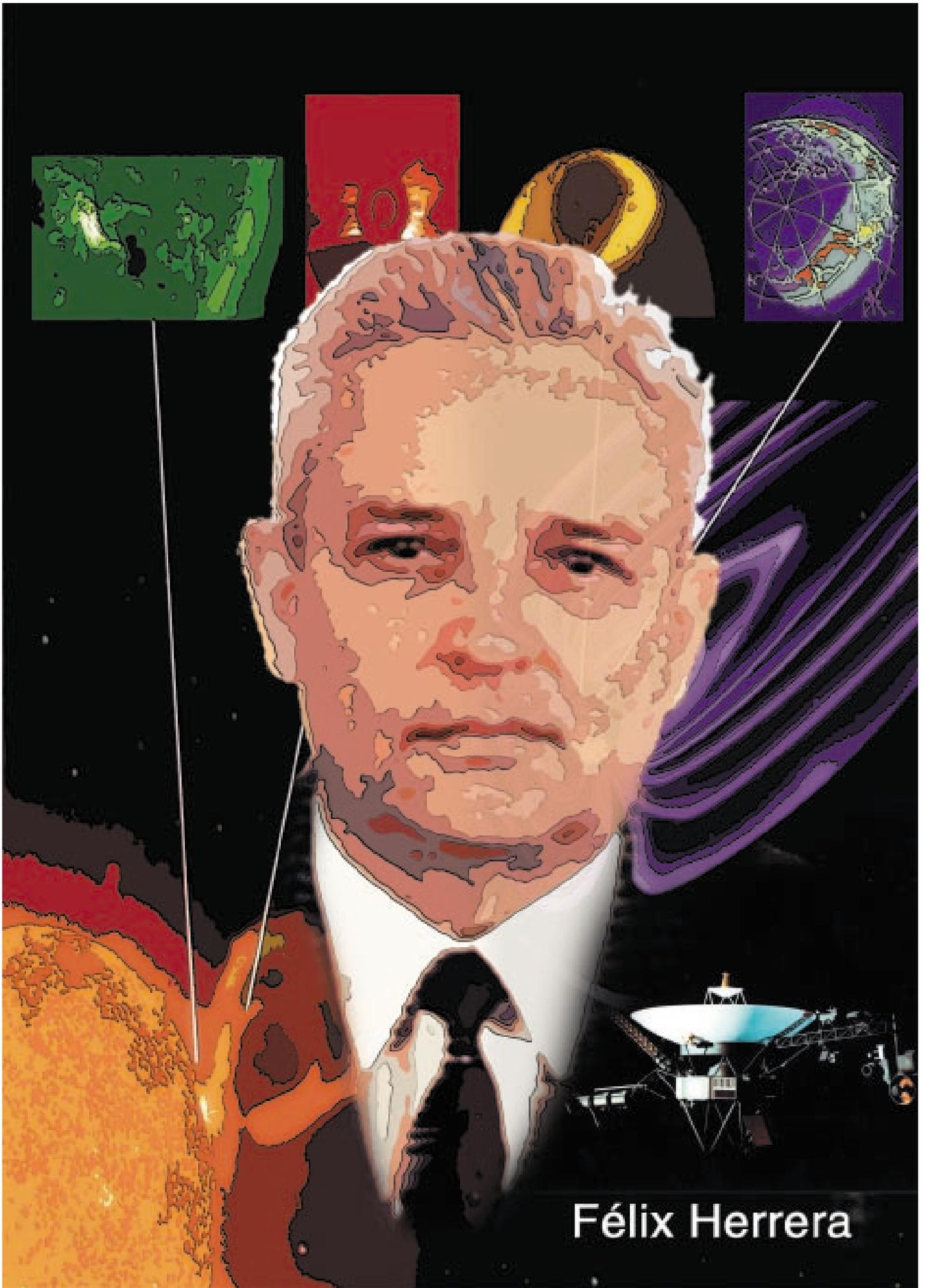
¿Cómo nació en usted la pasión por Egipto?

“Tengo que decir que no siento ninguna fascinación por la civilización egipcia. Soy egiptólogo porque quería investigar la relación entre el antiguo Egipto y el Israel bíblico. Tenía dos posibilidades: estudiar el Viejo Testamento o estudiar Egiptología. Como no soy un hombre religioso, descarté la primera posibilidad, así que me hice egiptólogo. Hace tan sólo un par de meses publiqué un libro en alemán sobre Moisés, el mismo libro había aparecido un año antes en francés. Es un libro muy crítico, en el que sostengo que la mayor parte de lo que dice el Viejo Testamento son fantasías, no tiene nada que ver con la verdadera historia y, probablemente, no será bien recibido en países tan católicos como España, por ejemplo.”

Museos extranjeros como los grandes museos británicos, franceses o alemanes han llevado a cabo una labor fundamental para la arqueología egipcia a lo largo de los siglos. ¿Se conocería la historia de Egipto como la conocemos hoy si no fuera porque museos europeos como el de Berlín han hecho algo más que organizar exposiciones?

“Evidentemente, si los museos europeos se hubiesen conformado con hacer exposiciones y no hubieran ido a Egipto a excavar, conoceríamos mucho menos. El Museo de Berlín ha realizado importantes excavaciones, por ejemplo, en Amarna, la capital de Akhenaton y Nefertiti. El Museo Británico ha hecho también excavaciones muy importantes y sigue haciéndolas. El Louvre no realiza este tipo de trabajos, que son labor de otras instituciones francesas. Pero, en general, fue bueno que los museos no se limitasen a exponer lo que tenían sino que organizaran excavaciones en lugares como Egipto.”

CARMEN DEL PUERTO Y BEGOÑA LÓPEZ BETANCOR (IAC)



Félix Herrera

FÉLIX HERRERA

Facultad de Física de la Universidad de La Laguna (Tenerife)

El Profesor Félix Herrera Cabello, Decano de la Facultad de Física de la Universidad de la Laguna (Tenerife), presentó poco antes de fallecer el libro *La realidad de una ficción. Logros y problemas en la exploración del espacio*. Allí explicaba los inicios y el desarrollo de la exploración espacial que, como a él mismo le gustaba repetir, vivió muy de cerca desde su puesto en los diferentes programas de la NASA. Este físico inquieto era un pozo sin fondo de anécdotas sobre aquellos años en los que la NASA empezaba a ser la NASA y el hombre llegaba por primera vez a la Luna. No sólo tenía mucho que contar, además era de esa gente especial que disfrutaba haciendo vivir sus experiencias a todo aquél que deseara escucharle.

**LA PRIMERA
"NASA"
ESPAÑOLA
Experiencia
personal**

LA PRIMERA "NASA" ESPAÑOLA Experiencia personal

ENTREVISTA CON FÉLIX HERRERA



Dinámico de habla y movimiento, Félix Herrera Cabello era del club de los que se entrevistan solos, no sólo por lo mucho que tenía que contar; también por lo que disfrutaba compartiendo sus experiencias. Y es que, como él mismo repetía, le tocó vivir muy de cerca la evolución de los ordenadores y los inicios y el desarrollo de la exploración espacial desde su puesto en los diferentes programas de la NASA. Decano de la Facultad de Física de la Universidad de la Laguna (Tenerife) en el momento de su fallecimiento, acababa de publicar el libro *La realidad de una ficción. Logros y problemas en la exploración del espacio*, un compendio riguroso y ameno (no siempre son conceptos enfrentados) de sus experiencias y conocimientos. Por fin podemos saber qué hacía un gomero en la NASA...

“El dinero invertido en la exploración del espacio siempre es rentable pues hace caminar juntas a la ciencia y la tecnología, lo que, por ejemplo, mejora la instrumentación en los quirófanos y permite la globalización de las comunicaciones.”

¿Cuándo aterrizó en la NASA?

En el año 58, con mi incorporación en Lima (Perú) a la red de estaciones Minitrack para seguir el primer satélite artificial, que se suponía iba a ser americano, pues era una de las experiencias planificadas durante las actividades del Año Geofísico Internacional en el bienio 1957-58. Entonces los rusos nos sorprendieron con el lanzamiento del *Sputnik*, y lo seguimos, claro, aunque los americanos no estaban tan preocupados por el satélite como por el cohete que lo puso en órbita. En sus inicios, el proyecto se llamaba *Vanguard* y lo llevaba la marina y el ejército. La NASA se fundó poco después, en octubre de ese mismo año. Los primeros satélites aportaron datos sobre el medio exterior que no coincidían con las ideas que se tenían, por lo que en un principio se pensó que eran erróneos, hasta que se comprobó que todos daban resultados similares indicando la existencia de una realidad en el medio exterior diferente a la prevista.

La comunicación por satélite es hoy casi una vulgaridad, pero en sus inicios debió de ser una odisea.

El primer satélite de comunicaciones fue *Echo 1*, lanzado en 1960, un satélite pasivo de treinta metros de diámetro que se comportaba como un espejo para las microondas y que empezó a funcionar realizando la primera transmisión trasatlántica de la historia, incluido un discurso de Eisenhower. Sometido al bombardeo de micrometeoritos, se desintegró por la debilidad de su estructura, parecida al celofán. Después se desarrollaron los satélites activos. Como nadie imaginó las repercusiones que iban a tener, se trató de “locas” a las compañías pioneras en su explotación, pero hoy la comunicación trasatlántica se resuelve con tres satélites geoestacionarios, y con un simple móvil podemos comunicar con cualquier punto del planeta.

¿Había una gran diferencia entre los programas rusos y los americanos?

Los rusos tenían mejores sistemas de propulsión y ello les permitía poner mayor carga útil en el espacio: el *Sputnik 1* pesaba unos 80 kilos y el *Sputnik 2*, que transportó a la perra *Laika*, unos 500. Incluso se permitían el lujo de instalar pesados teléfonos en sus naves. En esta etapa, los americanos no pudieron hacer lo mismo: el *Explorer 1* y el *Vanguard 2*, lanzados por la NASA, pesaban 13 kg y 1,5 kg, respectivamente, hasta el punto de controlar el estaño de las soldaduras para aligerar peso. Ello obligó a la miniaturización y, por vía indirecta, al desarrollo de la microelectrónica.

¿Cómo empezó en el mundo de los vuelos tripulados?

Con mi traslado en 1962 a la Estación Espacial de la NASA en Maspalomas (Gran Canaria) para trabajar como ingeniero de enlace de comunicaciones con los centros estadounidenses. Por el circuito de alta frecuencia del cual era responsable circulaban datos de radar, telemetría, voz...era muy complejo: de Maspalomas iba a las Palmas por línea telefónica, desde allí se transmitía por enlace hertziano en onda corta a Inglaterra, donde enlazaba con el cable submarino que amarra en Andover y por los circuitos de microondas llegaba a Houston. Contamos para ello con la valiosa colaboración de la Compañía Telefónica Nacional de España y de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones. Cuando se empezaron a lanzar los satélites de telecomunicaciones para el

proyecto *Apollo*, cuyo objetivo era pisar la Luna, me pasé al campo de la física solar, donde estuve durante el proyecto *Apollo* y las actividades de la estación *Skylab*.

¿Podría explicar la importancia del Sol en un viaje al espacio?

En nuestro planeta, un aumento de la actividad solar (radiación electromagnética y corpuscular) provoca, entre otros efectos, las auroras, las tormentas magnéticas y la interrupción de las comunicaciones, de consecuencias no demasiado graves. Sabemos que la vida en la Tierra es posible porque la atmósfera y el campo magnético terrestres hacen de paraguas contra las radiaciones. En el espacio exterior, como en la superficie de la Luna, que carece de atmósfera y campo magnético, el peligro por radiaciones aumenta. Por ello, la NASA estableció tres observatorios -Houston, Australia y Maspalomas- de forma que, como la Tierra gira, siempre hubiera como mínimo uno activo observando el Sol. Por otro lado, Canarias era una zona crítica puesto que la confirmación de la inserción nominal en órbita después del lanzamiento de Cabo Kennedy se hacía desde Maspalomas y, además, era zona de recuperación de cápsulas en esa época, por lo que siempre había barcos y aviones preparados en caso de emergencia.

“El primer satélite de comunicaciones fue *Echo 1*, lanzado en 1960, que se comportaba como un espejo para las microondas y que empezó a funcionar realizando la primera transmisión trasatlántica de la historia, incluido un discurso de Eisenhower”.

¿Por qué no proteger a los astronautas directamente?

La cápsula con la que los astronautas del programa *Apollo* llegaron a la Luna estaba protegida contra las radiaciones, incluso podían utilizarla como escudo. Sin embargo, el módulo lunar y el traje espacial, no. Un traje espacial protegido hubiera limitado la movilidad de los astronautas en la Luna. En el caso del módulo lunar, darle más protección implicaba aumentar su peso y una mayor potencia del sistema de propulsión, multiplicando con ello el coste del programa. Era más sencillo disponer de tres observatorios y, en caso necesario, cambiar el plan de vuelo o abortarlo si era necesario. Por suerte, no nos vimos obligados a ello.

¿Qué margen de maniobra tenía el observatorio?

El chorro de partículas asociado a un aumento de la actividad solar (fulguración) tarda de una a cuatro horas en llegar hasta la Luna. Éste era el tiempo del cual disponíamos para evaluar el peligro y decidir si se tenía que cambiar el plan de vuelo o, incluso, hacer despegar antes de tiempo el módulo lunar y acoplarlo al de comando.

Los astronautas son vistos como los grandes conquistadores del espacio, quizás antes más que ahora.

Posiblemente. Los primeros astronautas (como pioneros) eran verdaderos héroes, pues estuvieron sometidos a los procesos de reentrada a la Tierra de tipo balístico, a 28.000 km/h, con una temperatura del medio exterior de unos 2.500 °C, realización de actividad extravehicular, etc. El ruso Yury Gagarin fue pionero en ir al espacio tres años después del lanzamiento de los primeros satélites. Los americanos continuaron con los vuelos suborbitales y luego John Glenn circunvaló tres veces nuestro planeta.

Básicamente, ¿qué requerimientos añadidos tiene un vuelo tripulado?

Hay que mantener las constantes vitales de los astronautas en la cápsula (temperatura, pulsaciones, presión sanguínea...), lo que en esa



Armstrong, recogiendo muestras lunares. Misión Apollo. © NASA.

LA PRIMERA "NASA" ESPAÑOLA Experiencia personal

ENTREVISTA CON FÉLIX HERRERA



época implicaba la presencia de médicos en las consolas de control y una red de estaciones alrededor del mundo. Actualmente, las técnicas de lanzamiento están más controladas y los satélites artificiales permiten conseguir el mismo control a un coste menor.

¿De qué autopistas se sirven las naves para viajar por el espacio?

Normalmente no se hace un disparo directo al lugar de destino sino que se utilizan las fuerzas gravitatorias de los planetas (las órbitas económicas de Hohmann), por lo cual se tarda más, pero se consume menos energía y permite el uso de un sistema de propulsión más sencillo. Ya en órbita también se hacen correcciones.

El alunizaje del 69 estuvo precedido por muchos pequeños grandes avances.

Primero, se llevaron a cabo algunos vuelos orbitales para comprobar que los hombres sobrevivían a ellos. Después se logró el acoplamiento de naves, la actividad extravehicular tras lo cual se realizó la transferencia de la órbita de la Tierra a la lunar y la circunvalación de la Luna, como hizo el *Apollo VIII*. Simultáneamente, se enviaron vehículos para estudiar la estructura física y química de la Luna y verificar si soportaría un alunizaje... La realidad era mucho más compleja de lo que parece en las películas.

Siempre se ha creído que el enfrentamiento ruso-americano determinó el logro del "gran sueño de la humanidad".

El viaje a la Luna resultó ser una "batalla política": los rusos iban pisando los talones a los americanos, pero se retrasaron por un desacuerdo en los planes de vuelo. Es cierto que después de desarrollar el cohete *Saturno* (con millones de piezas y sistemas de guías y control), los americanos dieron un fuerte impulso al programa espacial y cogieron ventaja. Realizaron una serie de vuelos pero, pese a la enorme inversión, de la noche al día suspendieron el proyecto *Apollo* y se abandonó el desarrollo del *Saturno*, lo que demuestra la componente política de la cuestión: una vez lograda la victoria ya no les interesaba continuar.

¿Cómo se desarrolló el viaje a la Luna de los astronautas Armstrong, Collins y Aldrin?

Salieron de la Tierra con el cohete *Saturno*, de 112 m y 2.900 toneladas de peso. A la Luna llegó la cápsula (módulo de comando), el módulo lunar y el módulo de servicio. Después de realizar el descenso y ascenso de la superficie lunar se estrelló el módulo lunar para estudiar cómo se propagaban las ondas en su superficie. Durante el vuelo de regreso, el módulo de comando y el de servicio se separaron poco antes de la entrada a la Tierra, a la que llegó la cápsula con los astronautas, que se recuperó en el mar, donde los americanos recuperaban sus naves. Los rusos las recuperaban en tierra no por una supuesta supremacía como se ha creído habitualmente, sino por una cuestión logística, ya que su red de seguimiento estaba distribuida en el continente.

Después del mes de julio de 1969, ¿pasó la exploración espacial a manos americanas?

Es cierto que los americanos llegaron a la Luna y que los rusos se quedaron aquí abajo, pero experimentaron en estaciones espaciales como la *Mir*, lo que les ha servido para marcar el paso durante el ensamblaje de la Estación Espacial Internacional. Los americanos están ahora pagando, de alguna manera, la experiencia rusa, aunque después del proyecto *Apollo*, también se dedicaron a montar estaciones en órbita como la *Skylab*, a la que fueron tres tripulaciones con el objetivo de estudiar la Tierra y, principalmente, el Sol. El programa científico de la *Skylab* era tan extenso que los astronautas estuvieron a punto de provocar el primer motín espacial. Posteriormente, la NASA desarrolló el transbordador, que despegaba como un cohete y aterrizaba como un avión. Esto facilita su puesta en órbita y disminuye las exigencias físicas de los astronautas. El transbordador ha permitido poner y reparar satélites en órbita, así como participar en el actual montaje de la Estación Espacial Internacional.

“La NASA estableció tres observatorios -Houston, Australia y Maspalomas- de forma que, como la Tierra gira, siempre hubiera como mínimo uno activo observando el Sol.”

Hoy, probablemente el sueño de la humanidad se haya alejado un poco más, hasta Marte. ¿Qué requerimientos técnicos tiene un vuelo al Planeta Rojo?

Para ir a Marte, el sistema de propulsión deberá poner unas 700 toneladas en órbita, de las cuales el vehículo de descenso y ascenso al planeta pesaría unas cien. El combustible para el viaje de retorno se tendrá que obtener de los recursos de Marte, ya que no podrá ser transportado. Además, los astronautas no contarán con el apoyo terrestre puesto que las señales tardarán muchos minutos en ir y volver y, en cambio, con la Luna la comunicación era prácticamente instantánea, en segundos. También se necesitará una red de satélites para controlar la actividad del Sol en el lado que no vemos desde la Tierra. Como lanzadera, ya no se podrá utilizar el *Saturno* y todavía no se sabe qué energía utilizará el vehículo. Las incógnitas son aún muchas.

¿Cómo puede afectar un viaje de este tipo al cuerpo humano?

Todavía se desconocen algunos de los problemas de tipo fisiológico que se pueden presentar. El viaje de ida y vuelta a Marte será de unos dos años según la órbita que se elija. El récord de permanencia en el espacio lo tienen los rusos con un año y pico, aunque la Estación Espacial Internacional permitirá estudiar los cambios en el organismo durante estancias largas. El psicológico es otro de los problemas. Desde la Luna se ve nuestra casa, la Tierra, pero desde Marte será un mero punto de luz. Y si ya se crean problemas en un barco en alta mar...

Entonces, tardaremos mucho en visitar a los marcianos, en caso de que existan.

Alrededor de tres o cuatro décadas. Pero ya sería una conmoción encontrar algún tipo de vida. Si se hubiera mantenido la pugna entre los rusos y los americanos, probablemente ya se estaría allí. Tengamos en cuenta que desde que se lanzó el primer satélite artificial hasta que se llegó a la Luna pasaron 12 años, pero desde el viaje a la Luna ya han transcurrido 33. Ahora los programas se hacen en colaboración internacional, la prueba es la Estación Espacial Internacional, en la que participan Estados Unidos, Rusia, Europa, Canadá, Japón...

¿Qué utilidad tendrá la Estación Espacial Internacional?

Será multidisciplinar, incluyendo campos como la medicina, la física solar, las comunicaciones... Ha sido muy controvertida por el coste que ha supuesto, pero mi experiencia me ha demostrado que el dinero invertido en la exploración del espacio siempre es rentable pues hace caminar juntas a la ciencia y la tecnología, lo que, por ejemplo, mejora la instrumentación en los quirófanos y permite la globalización de las comunicaciones.

¿Por qué abandonó la NASA?

Tras el proyecto *Skylab* se cerraba la estación de Maspalomas. Entonces, me propusieron ir a Madrid, donde la NASA tenía tres estaciones: Robledo de Chavela, Cebreros y Fresnedillas, pero decidí hacer la tesis en física solar en el Instituto de Astrofísica de Canarias. Después me incorporé a la Universidad, donde me dediqué a la docencia e investigación, montando, entre otros, el laboratorio de comunicaciones y teledetección.

Con la tecnología actual, supongo que podríamos regresar a la Luna hoy mismo.

Desde el punto de vista americano no, pues no se dispone del lanzador adecuado. Yo siempre he dicho que poner un hombre en la Luna el año 69 con la tecnología de entonces fue toda una proeza.

“Los primeros astronautas eran verdaderos héroes, pues estuvieron sometidos a los procesos de reentrada a la Tierra de tipo balístico, a 28.000 km/h, con una temperatura del medio exterior de unos 2.500°C.”

“Si se hubiera mantenido la pugna entre los rusos y los americanos probablemente ya se estaría en Marte.”

ANNIA DOMÈNECH

Félix Herrera Cabello (1932-2002)

El pasado 23 de mayo, Félix Herrera Cabello nos dejó inesperadamente tras una breve enfermedad que no trascendió a la mayoría de sus amigos. Se fue en pleno ejercicio de su actividad profesional como Decano de la Facultad de Física y como Catedrático de Física Aplicada. Así tenía que ser en un hombre como Félix cuya vitalidad y empuje desbordaba incluso a los más jóvenes. Lo inesperado del evento nos dejó desolación y vacío; así lo comentábamos la misma tarde del sepelio un grupo de abrumados amigos que nos reunimos ante una taza de café para rememorar momentos de convivencia, lucha y buen humor que compartimos con él.

A Félix lo conocí en los inicios de mi tesis doctoral, allá por 1974. Él era 15 años mayor que yo y contaba ya con un brillante historial profesional desarrollado en IBM y en la NASA por tierras americanas y de Gran Canaria. A pesar de nuestra diferencia de edad sintonizamos inmediatamente. Me cautivaron su empuje ante las dificultades (*"Hay que coger el toro por los cuernos"*, decía), su descarnada sinceridad, su rebeldía «juvenil» contra lo corrupto del «sistema» y sus continuos brotes de humor socarrón incluso en momentos de adversidad. Él fue mi maestro en muchos aspectos de la ciencia y de la vida. Compartimos dificultades, horas de laboratorio, períodos de observación en el telescopio Newton del Observatorio del Teide, reuniones con nuestras respectivas familias, viajes de trabajo y también de vacaciones; y en todo momento aprendía de él.

Luego reorientó su camino hacia la Universidad y nos separamos en distancia, aunque no en afecto. Félix era de los que recuerdan la fiesta onomástica de los amigos y de los que no dudan en acudir cuando se les necesita. Así seguimos manteniendo el contacto en los últimos años; en nuestros encuentros en la Facultad hacíamos un repaso de nuestras

actividades, yo le hablaba de mis hijos y él me contaba de sus nietos.

Con estas letras quiero rendir homenaje a una gran persona que me honró con su amistad durante los últimos 28 años y de la cual guardo entrañables recuerdos. Lo único que lamento es que no pude despedirme de él, aunque tengo el convencimiento de que desde su nueva morada seguirá dándonos su amistad y apoyo.

JOSE ANTONIO BONET (IAC)



Escuela de Jóvenes Astrónomos de la IAU-UNESCO. En color sepia, José Antonio Bonet, a la izquierda, y Félix Herrera, a la derecha. Atenas, septiembre de 1975.

IN MEMORIAM

La noche del 20 al 21 de julio de 1969, Félix Herrera Cabello estaba expectante ante el televisor. Se iba a transmitir en directo la llegada del Hombre a la Luna. De alguna forma era como la culminación de un sueño en el que Félix había participado, primero en la estación de Huancayo en Perú, país en el que conoció a su mujer, Ana, y más tarde, ya en su tierra, en la estación gran Canaria de Maspalomas.

A varios miles de kilómetros me encontraba en Vigo esperando contemplar también el suceso. Era también para mí la conclusión de una gran aventura, en cuya realización sólo había puesto mi entusiasmo. El futuro nos iba a unir al cabo de pocos años.

Fue al regreso de mi primera estancia en Alemania, allá por enero de 1975, cuando me encontré con Félix Herrera Cabello. Había oído hablar de su trabajo, pero no había tenido ocasión de conocerlo personalmente. Junto a Juan Casanovas, nuestro jefe directo, y José Antonio Bonet, formábamos un pequeño grupo que, con las dificultades propias del momento, tratábamos de impulsar el estudio del Sol desde Canarias.

De sus trabajos con la NASA, Félix traía una gran experiencia en el estudio de las fulguraciones solares y su influencia sobre la Tierra. Era normal que las “flares” fuera el tema de muchas de nuestras discusiones y el germen de varios trabajos de colaboración. Sus narraciones sobre sus estancias en Boulder nos hacían soñar a los que por entonces veíamos el paraíso científico estadounidense como una meta difícil de alcanzar.

A mi definitiva vuelta de Alemania en enero de 1977, me encontré con la responsabilidad de coordinar el desarrollo del grupo solar en el entonces naciente IAC. Mi ímpetu juvenil y las ganas de emprender nuevos caminos me llevaron a algunas discusiones con Félix, en las que ambos pusimos nuestra vehemencia y nuestras razones. Al final llegamos a un buen acuerdo y su idea de poner en funcionamiento el telescopio Razdow se llevó a cabo. Fue un duro trabajo ya que el telescopio llevaba desmontado desde junio de 1972, cuando se substituyó por el entonces flamante VNT. Diferentes fases del proyecto, que constituyó su tesis doctoral, le llevaron a comprobar en Alemania el buen estado del filtro birrefringente, entonces y ahora que permitiese la detección automática de una programada de observaciones. Todo ello sin la en día llamaríamos un telescopio robótico. Lo despachos ubicados en los antiguos barracones, diría que cariñosa los diferentes componentes



Imagen del disco solar obtenida con el Heliógrafo Razdow, del Observatorio del Teide (Tenerife). Autor: Pere Lluís Pallé © IAC.

Terminada la labor de desarrollo, Félix Razdow en una pequeña cúpula del Observatorio complicado equipo, desde la cámara de cine con al disco ocutor y al filtro de H α . Parte esencial lo el sistema de alerta fotométrico de fulguraciones

La prueba decisiva fue la participación Year (1980). Tres entusiastas becarios (Artemio pasaron muchas horas realizando observaciones bajo la coordinación y atento seguimiento de Félix. Un gran éxito que hizo posible otras colaboraciones.

El desarrollo y resultado de unas oposiciones al C.S.I.C, en enero de 1981, le condujo a desviar su camino hacia la Universidad, decisión que no pudo resultar más acertada. Después de una excelente trayectoria profesional obtuvo la plaza de catedrático de Física Aplicada y resultó elegido Decano de la Facultad de Ciencias Físicas. Su Laboratorio de Teledetección quedará como huella de su buen hacer. Curiosamente se encuentra en los mismos terrenos donde a finales de los años setenta enfocaba su Razdow hacia el Sol lagunero.

Tanto o más que mi visión de su trayectoria profesional quisiera resaltar mi recuerdo personal de Félix. Su tenacidad en conseguir un objetivo le hizo adaptarse a aquel Instituto, en donde nos enseñó lo que significaba ser un profesional y programar un trabajo. Su visión crítica de los problemas nos hizo poner muchas veces los pies en el suelo. Disfrazado con una aparente seriedad tenía un gran sentido del humor, recuerdo especialmente las narraciones de las dificultades que tuvo que pasar en los años cincuenta, en la que incluía numerosos dichos sudamericanos, fruto de su larga estancia por aquellas tierras.

A finales del pasado marzo estuvimos tomado café juntos en la Facultad de Farmacia, antes de asistir a una conferencia. Hablamos de nuestros respectivos achaques, de la Universidad, del Euro, del Sol y de muchas otras cosas. Poco me imaginaba que iba a ser nuestro último encuentro.

Ahora nos encontramos con un IAC en el que parece que disponemos de todo lo necesario para que se realice una gran investigación. Valgan estas líneas, especialmente para los más jóvenes, como testimonio de la aportación de una gran persona. Con una cierta perspectiva temporal, pienso que en el IAC todos pudimos haber hecho más por y con Félix durante su estancia entre nosotros.

En el funeral, su hijo señaló que Félix se había pasado media vida observando el cielo desde la Tierra y que ahora se encontraba contemplando la Tierra desde el Cielo. Estés donde estés, recibe un fuerte abrazo.

MANUEL VÁZQUEZ (IAC)

Un puente entre estrellas y planetas

ESTRELLAS DE BAJA MASA, ENANAS MARRONES Y PLANETAS EXTRASOLARES (P6/95)

Investigador Principal: R. Rebolo

Investigadores: J. Montalbán, V. Sánchez Béjar, J.A. Caballero, G. Israelian, M.R. Zapatero Osorio, X. Delfosse

Colaboradores del IAC: R.J. García López

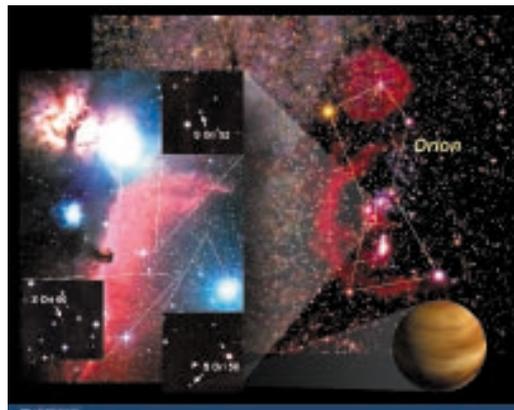
En el Universo existen objetos de todos los tamaños y formas posibles: desde microscópicas partículas de polvo interestelar hasta inmensos supercúmulos de galaxias, pasando por planetas como la Tierra y estrellas cien veces más masivas que el Sol. Sin embargo, hasta hace poco no se conocían objetos cuya masa estuviera entre la de Júpiter, que era el planeta más grande conocido, y la estrella más ligera. En 1995, se descubrió el primer planeta gigante ubicado fuera del Sistema Solar (después se ha visto que la mayoría de ellos son más masivos que Júpiter) y la primera enana marrón, denominada Teide 1, puesto que fue descubierta por los integrantes del proyecto *Estrellas de baja masa, enanas marrones y planetas gigantes* del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) desde el Observatorio del Teide.

Con ambos objetos se llenaban huecos de la fauna cósmica. Las enanas marrones se sitúan entre los planetas gaseosos mayores, cuya masa es aproximadamente doce o trece veces la de Júpiter (M_{Jup}), y las estrellas más ligeras, de masa setenta veces M_{Jup} . Como elemento comparativo, este planeta es mil veces menos masivo que el Sol pero trescientas veces más que la Tierra.

La energía de una estrella se genera principalmente por reacciones de fusión nuclear que convierten el hidrógeno en helio. Para ello, su masa debe ser lo suficientemente grande de tal modo que su temperatura sea elevada y pueda desencadenar la reacción de un modo estable. En el caso de las enanas marrones, es insuficiente; por tanto, no ocurre. Sin embargo, la distinción entre planetas y enanas marrones no es fácil. Normalmente se considera que se trata de un planeta si la masa del objeto no basta para que por reacción nuclear ni siquiera se destruya deuterio, un elemento químico isótopo del H más fácil de quemar que el propio H.

El año pasado un equipo de astrofísicos del IAC, del Instituto de Tecnología de California y del Instituto Max Planck de Astronomía descubrió en la región de Orión, a unos 1.000 años-luz de la Tierra, tres planetas gigantes, de masa entre cinco y quince veces la de Júpiter, y varios cuerpos que podrían serlo. Por primera vez se habló de planetas no ligados a una estrella.

El brillo de un objeto no depende sólo de su



lejanía sino también de su luminosidad intrínseca. Como la radiación que emite es la que permite su estudio (los espectros indican las moléculas y átomos que contiene e, indirectamente, su temperatura superficial, gravedad...), las estrellas débiles, enanas marrones y planetas extrasolares son difíciles de conocer. Han sido necesarios telescopios más grandes para poder desentrañar sus misterios. El Test del Lito proporciona la temperatura interna de un objeto y, por tanto, permite distinguir entre masas diferentes. Esto ha permitido la clasificación de muchas enanas marrones, tanto cerca del Sol como en los cúmulos estelares.

Actualmente, astrofísicos de todo el mundo se preguntan sobre las enanas marrones:

¿Se forman como una estrella o como un planeta? ¿Dónde se encuentran? ¿Cómo evolucionan al envejecer? ¿Cuál es la composición química de su atmósfera? ¿Rotan rápido o despacio? ¿Tienen climatología, por ejemplo nubes de polvo pasajeras que podrían provocar una disminución de su brillo? ¿Forman parte de sistemas múltiples? ¿Cuál es la relación de las enanas marrones con la Vía Láctea, por ejemplo su contribución a la masa total de la Galaxia?

Algunas de las respuestas ya se conocen en parte. Se sabe que en cúmulos estelares jóvenes las enanas marrones se detectan con más facilidad, aunque también se descubran flotando libres en el espacio interestelar; y que, con el tiempo, se contraen y apagan paulatinamente, de hecho tras miles de millones de años se enfrían tanto como un planeta. Es probable que tengan girando a su alrededor planetas u objetos parecidos.

Para responder a estas preguntas, se utilizan los modelos de evolución estelar más recientes y los mayores y más avanzados telescopios.

Localización del cúmulo estelar sigma Orionis y cartas de búsqueda para tres candidatos a planeta con masas entre 5 y 15 M_{Jup} . (Zapatero Osorio et al., 2000).

Material elaborado por JOSÉ A. CABALLERO, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

La madurez de una estrella

ESTUDIO FÍSICO DE NEBULOSAS PLANETARIAS (P15/86)

Investigador Principal: A. Manchado

Investigadores: E. Villaver, D.A. García Hernández, Y. Grosdidier, C. Domínguez Tagle

Colaboradores del IAC: A. Herrero, A. Mampaso, M. Serra Ricart

Las estrellas que vemos en el cielo no son todas iguales, aunque lo parezcan. Tampoco tienen la misma edad; como los seres vivos, nacen, viven y mueren. La evolución estelar engloba los cambios que una estrella experimenta a lo largo de su vida. Para estudiarla, gracias a los trabajos de Hertzsprung y Russell se puede recurrir a su famoso diagrama, que pone en relación el brillo de una estrella con su temperatura, de tal modo que es posible deducir cuál es su masa y fase evolutiva a partir de su posición en el diagrama. Una estrella es un objeto luminoso que en algún momento de su vida transforma hidrógeno en helio por fusión nuclear. Su tamaño oscila entre 0,08 y 120 masas solares (la masa del Sol es habitualmente utilizada como unidad de medida); por debajo, su calor es insuficiente para que ocurra la combustión de hidrógeno; por encima, su propia radiación la destruiría. Las estrellas se clasifican según el estado evolutivo en el cual se encuentran. La mayoría de ellas están en la fase de secuencia principal, cuando queman hidrógeno en su núcleo. Una vez la estrella ha consumido el hidrógeno, empieza a quemar helio.

El proyecto *Nebulosas Planetarias*, del IAC, estudia las últimas fases de la evolución de las estrellas de masa baja e intermedia, es decir, estrellas cuya masa es menor que diez veces la masa del Sol. En particular, las fases entre las estrellas situadas en la Rama Asintótica de Gigantes (RAG), cuando el helio se ha agotado en el núcleo y continúa quemándose en la capa que lo envuelve, y el estado de nebulosa planetaria, cuando las capas externas de la estrella han sido expulsadas formando una nebulosa a su alrededor y en el núcleo queda una enana blanca. Las estrellas de la RAG tienen entre 0,8 y 8 masas solares. Internamente, tienen un núcleo degenerado de carbono y oxígeno envuelto por una fina capa de helio, a su vez rodeado por una atmósfera exterior pulsante de hidrógeno. Estos pulsos pueden hacer perder a la estrella un 80% de su masa (en forma de gas y granos de polvo), que se sitúa rodeando a la estrella de tal modo que en muchos casos impide que su luz la atraviese, con lo que no es posible la observación en el dominio del óptico. Posteriormente, la pérdida de masa disminuye, la estrella aumenta su temperatura y la envoltura se expande: ha llegado a la fase post-RAG. Entonces, la expansión provoca una disminución en la densidad de la envoltura y la radiación procedente de la estrella caliente la envoltura expulsada, la ioniza y se hace visible, apareciendo una nebulosa planetaria, definida como la envoltura de gas y polvo de una estrella resultante de la expulsión de materia en sus últimas etapas evolutivas.

Con este proyecto se pretende determinar los mecanismos de pérdida de masa durante las últimas fases de la vida de las estrellas y cómo estos son influidos por fenómenos como los campos magnéticos, la rotación estelar y la presencia de estrellas dobles. La importancia de este conocimiento radica en conocer cómo la pérdida de masa afecta a la morfología y cinemática de las nebulosas planetarias resultantes. El mayor problema para conocer la fase de transición post-RAG es que, por su corta duración, se conocen muy pocas estrellas que estén en ella, y, además, el oscurecimiento causado por las envolturas circunstelares originadas en la fase previa dificultan la observación. Conocer lo que ocurre en esta fase es crucial porque es determinante no sólo en la evolución hacia nebulosa planetaria, sino también, en la de la química de nuestra galaxia, ya que en



el proceso se transfiere mucho material al medio interestelar. La mayoría de este material está compuesto por granos de polvo, moléculas o átomos, que pueden ser detectados en longitudes de onda infrarrojas o de radio. El hidrógeno molecular (H_2) es un componente importante de las envolturas de estrellas que evolucionan desde la fase RAG hasta la de nebulosa planetaria; de hecho, en objetos post-RAG, el mecanismo que excita las moléculas de H_2 está relacionado con el tipo espectral de la estrella central y con la morfología de la nebulosa. Asimismo, se estudian las abundancias de litio y el mecanismo que lo produce así como el enriquecimiento en elementos pesados (como Rb, Zr, Ba, Te o Nd) en estrellas RAG ricas en oxígeno de nuestra galaxia (las estrellas galácticas RAG más masivas) utilizando datos de espectroscopía óptica. Análisis preliminares dan resultados distintos a los obtenidos en estrellas RAG no galácticas bien conocidas. Se quiere conocer si dichas diferencias son debidas a la variación de la cantidad de metales en nuestra galaxia, a distintos ritmos de pérdida de masa, etc.

Para aquellas estrellas que no se han podido observar en el rango óptico, el estudio debe complementarse en el infrarrojo, donde podemos medir el cociente isotópico $^{12}C/^{13}C$ que está relacionado con el mismo mecanismo que produce litio en este tipo de estrellas. Con dicha finalidad, en este proyecto se colabora en el diseño, construcción y explotación científica del espectrógrafo infrarrojo LIRIS (desarrollado en el IAC) y que verá la luz durante el año 2003. Los resultados obtenidos permitirán estudiar la evolución química de estas estrellas, comprobar los modelos teóricos de la producción del litio, determinar la eficiencia de los procesos de transporte de material desde el interior estelar hasta sus atmósferas en función de parámetros como la masa y la metalicidad estelar, e incluso conocer cómo contribuyen estas estrellas al enriquecimiento progresivo del medio interestelar de nuestra galaxia.

Imagen de la nebulosa planetaria He 2-437. © Catálogo Morfológico de Nebulosas Planetarias del Hemisferio Norte. Autores: A. Manchado et al.

Material elaborado por ANÍBAL GARCÍA HERNÁNDEZ, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

El espejismo fidedigno

ASTROFÍSICA RELATIVISTA Y TEÓRICA
(P6/88)

Investigador Principal: E. Mediavilla

Investigadores: J. Buitrago, M. Serra Ricart, A. Oscoz, D. Alcalde, V. Motta, C. Abajas, R. Barrena, J.A. Muñoz, L. Crivellari, J. Betancort, E. Puga

Las apariencias engañan, pero no siempre gratuitamente. A veces incluso pueden utilizarse para el estudio de algunos fenómenos celestes, como ocurre con las lentes gravitatorias, un curioso aliado que, mintiendo, ayuda a descubrir parte de la verdad del Universo.

En un desierto, la aparición inesperada de un oasis inverosímil provoca la desesperación del viajero sediento, quien probablemente no se detenga a indagar qué ha provocado el espejismo. El culpable es un cambio en la temperatura de las capas de aire a ras de suelo que curva la trayectoria de los rayos de luz de tal modo que algo que no existe aparece ante los ojos. Deducir a partir de una ilusión óptica una serie de circunstancias reales, como pueda ser la edad del desierto o qué camino ha seguido la arena hasta allí, parece de locos. Sin embargo, algo semejante es lo que hacen los astrónomos cuando analizan una lente gravitatoria.

Y es que los espejismos no son exclusivos de la Tierra, también se encuentran en el cielo, donde a veces un elemento aparece repetido, como en un laberinto de espejos, y no se sabe qué imagen es la auténtica. Se habla entonces de lentes gravitatorias que, al igual que en el desierto, también se generan por la curvatura de los rayos de luz, en este caso inducida por el campo gravitatorio de un cuerpo (llamado lente) situado entre la fuente de luz y la Tierra. La gravedad -la fuerza que atrae dos cuerpos- aumenta con la masa; por ello, la masa de la lente y su alineación con la fuente de luz determinarán el tipo de imagen resultante: múltiple (la mayor parte de las veces desdoblada, aunque se lleguen a obtener hasta cuatro copias como en la Cruz de Einstein), con la posición modificada, deformada o, cuando la masa de la lente es pequeña y, por tanto, la desviación de los rayos de luz también, se da el efecto *microlente*, que consiste en un brillo mayor.

En investigación científica, es habitual partir de unos conocimientos para llegar a otros. Las lentes gravitatorias podrían ponerse como un ejemplo paradigmático en este

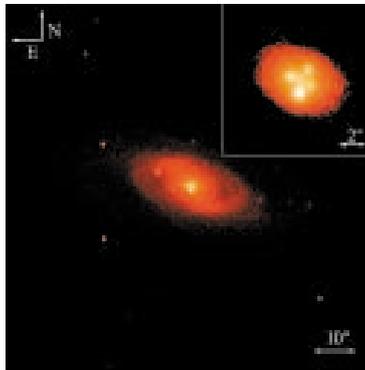


Imagen de la lente gravitatoria QSO 2237+0305 obtenida por nuestro grupo en el NOT en el filtro R. El seeing es de 0.5". La escala es logarítmica para que puedan apreciarse las cuatro imágenes del espejismo gravitatorio, que aparecen en el núcleo de la galaxia lente.

sentido. Como la curvatura de los rayos de luz en presencia de un cuerpo con masa es un fenómeno conocido y de mecanismo sencillo, se considera una herramienta fiable en Astrofísica y Cosmología. Principalmente, la medición de la desviación de la luz se utiliza para deducir la masa (tanto la que se ve como la que no se ve, es decir, la famosa materia oscura) de múltiples objetos, desde una estrella hasta el mismo Universo. Por ejemplo, el experimento MACHOS estudia las propiedades de las estrellas de la Vía Láctea analizando cómo desvían individualmente la luz procedente de las Nubes de Magallanes, que son dos galaxias satélites de la nuestra.

En una aplicación mucho más general, se puede conocer la masa del Universo: a partir del número de cúasares y de lentes gravitatorias resultante, se deduce cuántas galaxias interfieren en el camino de la luz actuando como lentes. Esto es posible porque tanto el contenido en masa de un cuerpo como su distribución influyen en cómo desvía la luz procedente del objeto más alejado, habitualmente un cúasar.

El proyecto *Astrofísica relativista y teórica* del IAC se dedica al estudio de las lentes QSO 0957+561 y QSO 2237+0305 o Cruz de Einstein, nombradas según su posición en el cielo. La primera, observada desde 1996 mediante el telescopio IAC-80, ubicado en el Observatorio del Teide, informa sobre la edad del Universo y el contenido de materia de las galaxias. La segunda, analizada mediante el telescopio NOT (Telescopio Óptico Nórdico) del Observatorio del Roque de los Muchachos, lo hace sobre los misteriosos agujeros negros.

Material elaborado por DAVID ALCALDE MORALES, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

Quemando etapas

ESTRELLAS MASIVAS AZULES
(P8/98)

Investigador Principal: A. Herrero

Investigadores: L.J. Corral, M.R. Villamariz, M.A. Urbaneja, G. Gómez, S. Simón Díaz

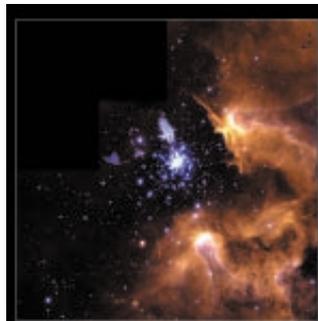
Hay quien vive de forma breve pero intensa, y no sólo en la Tierra. En el cielo, las estrellas de mayor masa son las que menos tiempo existen. Esto es debido a que para ser tan luminosas y calientes requieren una quema de combustible muy elevada lo que acelera su evolución. Cuando han agotado el combustible, explotan con gran liberación de energía e incremento de luminosidad, parte de su masa es lanzada al medio interestelar y el núcleo restante se transforma en una estrella de neutrones o en un agujero negro. Una estrella de neutrones está compuesta sólo por estas partículas atómicas tras la fusión de los núcleos de los átomos. Es un cuerpo extremadamente denso que en sus inicios gira rápidamente y emite pulsos de radiación electromagnética, por lo que también se denomina púlsar. En cambio, un agujero negro es un cuerpo con una gravedad superficial tan grande que ni la luz puede escapar a su atracción y sólo se detecta por su influencia gravitacional en los objetos de su entorno.

En el espacio, donde muchos objetos generan luz, el color depende de su temperatura. Las estrellas masivas, tan calientes como son, se perciben como blancoazuladas, en cambio las más frías se ven rojas. Esto provoca una paradoja aparente, ya que el hombre suele asociar equivocadamente el color rojo al calor y el azul al frío.

El brillo de un objeto cuando se observa desde la Tierra no depende sólo de lo lejos que esté sino también de su brillo intrínseco. La radiación liberada por las estrellas masivas es tan energética que logra arrancar los electrones del hidrógeno del medio interestelar que las rodea, dando lugar a las llamadas regiones H II, y también genera viento estelar, que consiste en la expulsión de material de las capas más externas de la estrella. La continua pérdida de materia se percibe incluso en galaxias muy lejanas donde, junto con su gran luminosidad, permite que las estrellas masivas sean los únicos objetos de naturaleza estelar que pueden ser analizados individualmente a semejante distancia.

Para estudiar las estrellas masivas se establecen modelos de sus atmósferas y se utiliza la espectroscopía, que permite la identificación de los elementos químicos que conforman un objeto analizando la luz que emite. Con ello, se obtiene su temperatura, gravedad y velocidad del viento estelar, de qué está formada, y qué capacidad de ionizar posee. Esto último determina, junto a la composición química del medio, las características de las regiones H II.

Las estrellas masivas más jóvenes están muy relacionadas con el entorno del cual proceden, en parte porque no han tenido tiempo de que su composición se modifique. Las estrellas masivas protagonizan un bucle puesto que se originan a partir de materia interestelar - en gran parte previa constituyente de otras estrellas- que cuando



mueren experimentando una gran explosión es devuelta al medio circundante con una enorme liberación de energía. De hecho, la estrella se vuelve tan brillante como la galaxia en la que se encuentra. Es lo que conocemos como supernova.

El proyecto *Estrellas Masivas Azules* del Instituto de Astrofísica de Canarias se dedica al estudio de estos objetos en varias galaxias, incluyendo nuestra Vía Láctea, así como al de sus distintos estados evolutivos.

El conocimiento de las estrellas masivas tiene utilidades en muchos campos de la Astrofísica. Entre otras, su análisis en diferentes regiones de una galaxia sirve para trazar la distribución de algunas especies químicas, lo que ayuda a esclarecer cómo evolucionan químicamente las galaxias a partir del material inicial del cual se formaron. También se pueden utilizar para medir distancias a galaxias cercanas comprobando así los resultados obtenidos con otros métodos de cálculo de distancias que se utilizan a escalas mucho mayores del Universo. Y, por supuesto, para verificar las predicciones de la teoría de evolución estelar, campo en el que en los últimos años se han hecho avances considerables.

NGC 3603.

© W. Bradner (JPL/IPAC),
E.K. Grebel (U. Washington),
You-Hua Chu (U. Illinois),
HST. NASA.

Material elaborado por Miguel A. Urbaneja y Sergio Simón Díaz, dos de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH.

FRANCISCO SÁNCHEZ:

- "Astrofísica en el Siglo XXI (la astronomía que viene)" (30/1). Facultad de Física. Universidad de Santiago de Compostela.
- "El Gran Telescopio Canarias puente científico/tecnológico entre Europa y América" (6/3). V Foro Hemisférico de Ciudades Hermanas. Santa Cruz de Tenerife.
- "El Gran Telescopio Canarias" (20/3). II Feria de Astronomía Escolar. Instituto San Hermenegildo. La Laguna (Tenerife).
- "Canarias: A Key Player in European Astronomy" (26/3). Con motivo de la reunión del CREST. Santa Cruz de Tenerife.
- "Investigación en el Instituto de Astrofísica de Canarias" (24 y 29/4). Con motivo de la I Feria de I+D+i "Canarias investiga" organizada por la Consejería de Educación Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias, en Tenerife y Gran Canaria, respectivamente.
- "Astrofísica en Canarias" (25/4). Asociación de Estudiantes de Física. Facultad de Matemáticas de la Universidad de La Laguna.
- "ENO in European Astronomy" (27/5). Comparecencia ante el Comité ITRE del Parlamento Europeo.
- "Mirando el Cielo desde La Orotava" (4/6). Pregón de las Fiestas de La Orotava (Tenerife).

LUIS FERNANDO RODRÍGUEZ RAMOS Y ANTONIO FRANCISCO RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ:
- "Espacio Acústico Virtual" (23/5). Para alumnos de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad de La Laguna.

LUIS FERNANDO RODRÍGUEZ:
- "Espacio Acústico Virtual" (30/4). Con motivo de I Feria de I+D+i "Canarias investiga", organizada por la Consejería de Educación Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias, en Tenerife y Gran Canaria.

ALEJANDRO OSOZ:
- "Cosmología: origen y evolución del Universo" (6/2). En las «Jornadas de Astronomía y Astrofísica». Organizadas por la Fundación Santa María en colaboración con la Asociación para la

Enseñanza de la Astronomía y el IAC en Bilbao.

ANTONIO MAMPASO:

- «¿Por qué todo es simétrico?» (20/2). Instituto de Estudios Hispánicos del Puerto de la Cruz.
- «¿Por qué todo es simétrico?» (12/4). Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife.
- «¿Por qué todo es simétrico?» (31/5). Palacio Salazar de Santa Cruz de La Palma.

CARMEN DEL PUERTO:

- "Del agujero negro a la primera página" (21/3). Instituto de Educación Secundaria "Medina Albaida" de Zaragoza, dentro del programa "Ciencia Viva".
- "Del agujero negro a la primera página" (3/6). Dentro del Programa para Mayores de la Universidad de La Laguna. (charla conjunta con LUIS CUESTA).

MANUEL VÁZQUEZ:

- "La búsqueda de vida extraterrestre" (25/4). I Jornadas de conferencias "Astrobiología siglo XXI", organizadas por el Aula de Cultura de la Facultad de Biología en el Instituto de Bioquímica "Antonio González" de la Universidad de La Laguna.

MIQUEL SERRA-RICART:

- "Planetas más allá del Sistema Solar" (26/4), en las I Jornadas de conferencias "Astrobiología siglo XXI", organizadas por el Aula de Cultura de la Facultad de Biología en el Instituto de Bioquímica "Antonio González" de la Universidad de La Laguna.

LAURA VENTURA:

- Curso "Introducción a la Astronomía" (14-15/6). En La Palma, para 30 profesores suecos de enseñanza secundaria, organizado por el International Education and Development Centre, Kurscentrum Umea/Uppsala (Suecia).

ÁNGEL R. LÓPEZ SÁNCHEZ:

- "Uso de los programas de astrofísica CLEA en el Aula" (30/4). Dentro de las XV Jornadas Estatales de Astronomía. Palacio de Exposiciones y Congresos de Teruel.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALDO

- «El Sol, una estrella de película» (19/3). IES San Hermenegildo, La Cuesta, Tenerife, dentro de la II Feria Internacional de Astronomía, organizada por el Proyecto Internacional "Stars in the School", coordinado por dicho Instituto.
- «El Sol, nuestra estrella» (12/4). IES de Geneto, La Laguna, Tenerife.
- «Una estrella de película» (25/4). Colegio de Enseñanza Primaria de Guayonje, Tacoronte, Tenerife.
- «Conviviendo con una estrella» (29/4). Aula Magna de la Facultad de Físicas de la Universidad de La Laguna, dentro del ciclo «Ciencia y espacio» organizado por la Asociación de Estudiantes de Física AEFI-Quark.
- «Y eso de la Ciencia, ¿qué es?» (29/5). Salón de Actos del Ayuntamiento de La Victoria de Acentejo, Tenerife, dentro del ciclo «Los jueves hablamos de Ciencia», organizado por dicho Ayuntamiento.
- «Una estrella de película» (31/5). Salón de Actos del Seminario de La Laguna, dentro de los actos de clausura del curso.
- Sección «Un tiempo para el espacio» (todos los domingos). Estudio 1 de Radio Nacional de España en Canarias, S/C de Tenerife. Sección de radio dedicada a la divulgación de Astronomía y Astrofísica dentro del programa «Canarias innova».

RAFAEL REBOLO:

- "Planteas más allá del Sistema Solar" (6/11/01) (omitida en el número anterior). Ciclo "Explorando el Sistema Solar y más allá", organizado por CosmoCaixa en Madrid.

- El IAC ha participado en el I Encuentro de Estudiantes de Historia de la Ciencia, organizado por la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, del 5 al 7 de abril, en la Casa de la Cultura de San Agustín, en la Orotava (Tenerife).

Ciencia y pseudociencia

Organizado por el Vicerrectorado de Extensión Universitaria de la Universidad de La Laguna, dentro de su oferta de cursos interdisciplinares, el curso "Ciencia y Pseudociencia hoy" contó con la participación de varios investigadores del IAC. El curso estuvo dividido en dos módulos, uno titulado "Un panorama de la ciencia contemporánea" (del 1 al 21 marzo) y otro titulado "El individuo, la sociedad y las pseudociencias" (del 2 al 23 de abril). Intervinieron por parte del IAC:

- Inés Rodríguez Hidalgo: "¿Qué es esa cosa llamada ciencia?"
 - Basilio Ruiz Cobo: "¿Cómo desciframos hoy el Universo?"
 - David Martínez Delgado: "Amenazas del cielo".
 - Ramón García López: "La comunicación interna de los resultados científicos".
 - Manuel Vázquez Abeledo: "¿Existe vida inteligente fuera de La Tierra?"
 - Jesús Burgos Martín: "Ciencia y tecnología en el marco de las políticas de I+D+i".
 - César A. Esteban López: "Arqueoastronomía: templos, dioses y astros".
- Verónica Motta Cifuentes: "Astrología versus astronomía".

Otros cursos

"El espacio exterior desde Canarias", curso universitario organizado con motivo del CCXXV Aniversario de la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife, del 22 al 30 de enero, en La Laguna (Tenerife).

Charlas:

- "La materia y la energía en el Cosmos". Rafael Reboló López. 22/1.
- "¿Qué nos enseña la Física estelar?". Ramón García López. 23/1.
- "El Sol, una estrella de película". Inés Rodríguez Hidalgo. 29/1
- "El Gran Telescopio CANARIAS: el Universo desde Canarias". José Miguel Rodríguez Espinosa. 30/1.

"E.T., por favor, illámanos!"

HEATHER COUPER Y
NIGEL HENBEST,

Fecha: 01/03/02

Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife. Conferencia de divulgación con motivo del Congreso "Communicating Astronomy".



© Universal Studios

Los medios de comunicación tratan de persuadirnos de que el Universo está lleno de vida, ya sea utilizando marcianos, a ET,...

Desde el remoto nacimiento de una estrella hasta las heladas arenas de Marte, también los científicos se suman al tren de la búsqueda de vida extraterrestre. Los descubrimientos recientes no han hecho más que avivar el debate: bacterias fósiles en un meteorito de Marte, inmensos océanos en la luna de Júpiter Europa y evidencias de otros mundos girando en torno a estrellas lejanas. ¿Consiste la vida extraterrestre sólo en limos verdes o hay inteligencias superiores a la nuestra enviando mensajes a la Tierra? En esta conferencia, Couper y Henbest plantearon los pros y los contras de la "vida extraterrestre".

"¿Astrología para escépticos?"

VERÓNICA MOTTA

Fecha: 28/06/02

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

La creencia en el poder predictivo de la Astrología está bastante extendida en nuestra sociedad. Muchas personas creen, incluso, que la Astrología cuenta con algún respaldo científico. Esta charla estuvo planteada como un breve curso de Astrología, donde se presentan sus técnicas y herramientas más comunes, para que los asistentes descubran por sí mismos que esta práctica adivinatoria carece de relación alguna con la Ciencia. Igualmente, mediante estudios estadísticos, se analizó su pretendida capacidad predictiva, para concluir que es inexistente.



Diseño: Gotzon Cañada

"Feria de [I+D+i] "Canarias investiga"

Durante los días 24 y 25 de abril, en Santa Cruz de Tenerife, y 29 y 30 de abril, en Las Palmas de Gran Canaria, el IAC participo en la I Feria de [I+D+I] de Canarias "Canarias Investiga", organizada por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias. La exposición presentada por el IAC contaba con 17 paneles expositivos, 2 expositores grandes, una maqueta del GTC, una zona de proyección, donde se visionaban las cintas "Los Espejos del Tiempo", "El Gran Telescopio CANARIAS" y



"La Ley del Cielo", y un espacio dedicado al estudio de radio para la emisión del programa de RNE "Canarias Innova".



Vídeo La Ley del Cielo

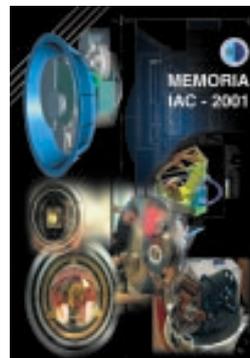
El IAC ha editado un vídeo de 10 minutos de duración -también en CD-rom- sobre "La Ley del Cielo", realizado íntegramente con las herramientas disponibles actualmente en el Servicio Multimedia del IAC, y bajo la supervisión de la Oficina Técnica de la Calidad del Cielo (OTPC) de los Observatorios de Canarias y el Gabinete de Dirección del IAC.



Carteles

Como todos los años, el IAC ha editado el cartel correspondiente a la convocatoria de becas de verano en este Instituto. También se han editado los siguientes carteles:

- IAU Symposium N. 212: "A massive star odyssey, from main sequence to supernova" (ver sección de "Congresos")
- Third International Workshop on "Solar Polarization" (ver última página)
- XIV Canary Islands Winter School of Astrophysics "Dark matter and dark energy in the Universe".



Memoria del IAC

El IAC ha editado, en papel y en CD-rom, la Memoria correspondiente al año 2001, donde se recoge la actividad anual del Consorcio Público IAC en todas sus áreas, así como la labor realizada en el campo de la divulgación.

El cielo de los magos

Subtítulo: *Tiempo Astronómico y Meteorológico en la Cultura Tradicional del Campesinado Canario*
Autores: Juan Antonio Belmonte y Margarita Sanz de Lara
Ediciones La Marea. Islas Canarias, 2001.
ISBN: 84-930421-6-1
253 Págs.

A veces nos preguntamos qué veracidad científica poseen ciertas prácticas de los mayores del campo cuando utilizan los fenómenos de la bóveda celeste. Las labores agrícolas y ganaderas más cotidianas se encuentran influenciadas por el ritmo impuesto por los astros; y las festividades, costumbres y tradiciones más arraigadas de Canarias guardan una relación asombrosa con fenómenos astronómicos.

El Cielo de los Magos es un intento de definir hasta qué punto el acontecer del cielo puede caracterizar la vida en el campo. En esta obra, pastores, agricultores y ganaderos de las islas se convierten en narradores de su convivencia con lo que acontece por encima de sus cabezas. Las épocas de arado, siembra y cosecha o las previsiones meteorológicas encuentran una explicación en la aparición de ciertas estrellas en el firmamento a lo largo del año; y las festividades y tradiciones de los pueblos tienen su razón de ser en creencias y mitos relacionados con los astros, conformando un calendario de festejos y celebraciones.

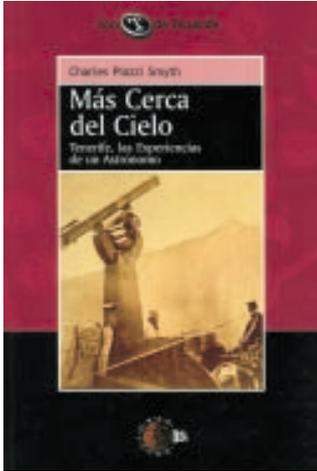
Los autores del libro, el investigador del IAC Juan Antonio Belmonte y Margarita Sanz de Lara, recogen los testimonios de pastores y agricultores de Teno Alto, Adeje, Pozo Negro...etc, con los que recopilan una serie de afirmaciones, anécdotas y curiosidades que describen con fidelidad la esencia del saber popular y la complicidad que guardan celosamente los campesinos con el acontecer del cielo. La correspondencia con sus actividades campesinas, los numerosos nombres que los lugareños atribuyen a las estrellas y planetas y el temor manifiesto de los entrevistados, por la extinción de



este saber con el ocaso de sus vidas, marcan profundamente la lectura. Una obra en la que se dan la mano la astronomía, la sabiduría muchas veces ignorada de los mayores y la contemplación de antiquísimas costumbres que tienen su reflejo en el Sol, la Luna y las estrellas.

RUBÉN GARCÍA

EDICIONES



El 18 de julio fue presentado en Santa Cruz de Tenerife el libro "Más cerca del cielo", una traducción al español realizada por Emilio Abad del libro de Charles Piazzi Smyth (1819-1900) *Tenerife: An Astronomer's Experiment* (Londres, Lovell Reeve, 1858).

En el acto de presentación intervinieron, además del traductor, el Director de la editorial IDEA (Francisco Pomares), que edita el libro, y Francisco Sánchez, Director del IAC.

Esta obra es una excelente traducción de un libro que dio la base científica a la implantación y desarrollo de los observatorios de montaña en el siglo XX y que consolidó de la bondad de los cielos de Canarias para la observación astronómica. Además es un libro de viajes escrito con ironía y sensibilidad por un astrónomo singular que inició la arqueoastronomía de las pirámides de Egipto y terminó siendo Astrónomo Real de Escocia.

Bautizos cósmicos

El asteroide descubierto el 13 de septiembre de 1996 por Manuel Blasco, desde el Observatorio Astronómico de Mallorca, ha sido bautizado oficialmente con el nombre (2014) *Markidger*, antes denominado provisionalmente *1996 RL5*. Este bautizo es en honor al investigador del IAC Mark Kidger por su contribución a la astronomía española dedicándose al estudio de la naturaleza de los cometas, meteoros y asteroides, así como por su apoyo al Observatorio de Mallorca.

OTRAS NOTICIAS

Premios

- **Francisco Sánchez** ha sido galardonado con el Premio Nacional de Ciencia 2001 que otorga la Fundación CEOE.
- **Rafael Rebolo** ha sido galardonado con el Premio Canarias 2002 en la modalidad "Investigación e Innovación", concedido el pasado 22 de marzo.
- El IAC ha recibido uno de los Premios a las Mejores Prácticas en la Administración General del Estado en su II edición, por la práctica: "Mejora en la gestión de los servicios de la OTRI mediante la implantación de un sistema de calidad de atención al usuario".
- **Almudena Zurita Muñoz**, que realizó en el IAC su tesis doctoral titulada "Gas ionizado en galaxias espirales", ha obtenido el Premio Extraordinario de Doctorado en la División de Ciencias Experimentales y Técnicas de la Universidad de La Laguna correspondiente a 2001.

Conferencia Europea sobre Nuevas Tecnologías y Discapacidad

El Ministerio de Ciencia y Tecnología invitó al equipo responsable del proyecto para la creación de un "Espacio Acústico Virtual" (EAV) a presentar sus investigaciones y resultados en la Conferencia Europea de la Presidencia Española sobre las «Personas con discapacidad y Nuevas Tecnologías: Un Mercado Abierto», que se celebró en el Palacio de Congresos de Madrid, los días 6 y 7 de febrero. Esta reunión de ámbito internacional se enmarca dentro de las actividades de la Presidencia Española de la Unión Europea y tiene por objetivo principal conseguir que los actores de la sociedad de la información contribuyan a la integración de las personas con discapacidad. Las conclusiones del congreso, junto con un documento sintético sobre las políticas en accesibilidad que se están llevando a cabo en Europa y EEUU, se recogerán en el libro de intenciones sobre Personas con Discapacidad y Nuevas Tecnologías.

El equipo del proyecto mostró las múltiples investigaciones que están en curso y las ideas de cara al futuro, así como los desarrollos tecnológicos realizados, entre los que cabe destacar el prototipo portátil para la utilización experimental por personas ciegas que será completado próximamente y entregado para su periodo de utilización regular en pruebas por personas invidentes. También se aprovechó lo adecuado del entorno para establecer contactos con empresas interesadas en la futura creación de un producto comercial útil para las personas ciegas.

EL PROYECTO EAV

El proyecto EAV ha desarrollado un nuevo mecanismo de percepción del espacio basado exclusivamente en sonidos y ha sido identificado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología como proyecto de especial relevancia y repercusión entre las personas con discapacidad. Es una colaboración entre el Instituto de Astrofísica de Canarias (Área de Instrumentación) y la Universidad de La Laguna (Departamento de Fisiología) y cuenta con el apoyo de otras instituciones como ONCE, ITC o IMETISA.

Más información:

- Página web de la revista IAC Noticias N. 1-2001:
<http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/iacnot.htm>
- Página web del proyecto:
<http://www.iac.es/project/eavi/welcome.htm>
- Página web del congreso:
<http://www.cermi.es/discapacidad-tecnologia/>

Reunión del Consejo Rector

El Consejo Rector del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) se reunió el pasado 22 de junio, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Tras la reunión, visitaron el Observatorio y muy especialmente las obras del Gran Telescopio Canarias. Esta reunión estuvo presidida por la Ministra de Ciencia y Tecnología, Anna M. Birulés, y en ella estuvo presente el Presidente del Gobierno de Canarias por parte de esta Comunidad Autónoma.

El punto fundamental de este Consejo fue la discusión y aprobación del nuevo pacto económico consorcial a través del cual se garantiza la financiación presupuestaria del IAC por parte de las Administraciones del Estado y el Gobierno de Canarias. Mediante un programa cuatrienal se planifica la actividad del Consorcio y se distribuyen en anualidades el presupuesto de ingresos y gastos. Consecuentemente se aprobó el presupuesto del IAC para 2003.

Otra cuestión tratada por el Consejo fue la tesorería del IAC, especialmente mermada como consecuencia de su pujante actividad y los retrasos en los pagos de contratos y subvenciones aprobados.

El Director del IAC presentó un informe sobre las actividades del Instituto y sus Observatorios Internacionales desde la última reunión y, en especial, sobre los principales logros científicos y técnicos, así como sobre las nuevas telescopios instalados en los Observatorios y el Gran Telescopio CANARIAS (STARE, MAGIC, MERCATOR, ..).

Se ratificó, entre otros, el acuerdo para formalizar el *European Northern Observatory* (ENO), que se ha constituido formalmente (ver página 4) el pasado 27 de junio en Oslo (Noruega).

En la rueda de prensa posterior, la Presidenta del Consejo Rector, tras congratularse por los avances de este centro desde el punto de vista científico, técnico y de acuerdos internacionales, destacó el acuerdo alcanzado de carácter consorcial para dar estabilidad



Miembros del Consejo Rector, presidiendo la rueda de prensa tras la reunión celebrada en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Foto: Luis Cuesta (IAC).

a la financiación del IAC en los próximos cuatro años -de 2003 a 2006-, “lo que permitirá -dijo- unas posibilidades mayores de desarrollo en función de esta financiación”.

Por su parte, el Presidente del Gobierno de Canarias y miembro del Consejo Rector del IAC, Román Rodríguez, señaló que se han tomado decisiones “que van a contribuir a que el IAC dinamice su funcionamiento y garantice su futuro” y también destacó el compromiso político en los presupuestos de los próximos años.

Refiriéndose al Parque Cultural del Roque de los Muchachos, Anna Birulés señaló que el Ministerio de Ciencia y Tecnología y el Ministerio de Medio Ambiente se han comprometido a resolver las cuestiones pendientes relacionadas con este centro que tendrá las características propias de los modernos centros de visitantes: “además de dar la descripción sobre el Parque tendrá elementos básicos de conocimiento cultural, científico y, por tanto, utilizará al máximo la capacidad de difusión y de divulgación de conocimiento que permite el IAC y los telescopios del Observatorio del Roque de los Muchachos”. Román Rodríguez destacó la relevancia que este proyecto tendrá “no sólo para el IAC, sino, especialmente, para la propia isla de La Palma y para la comunidad canaria”.

Se comentaron igualmente los esfuerzos por conseguir que la red académica de telecomunicaciones europea y su proyecto de futuro (GEANT) llegue hasta los observatorios de Canarias. Asimismo se destacó la iniciativa del gobierno de Canarias para hacer una propuesta de mejora en la modificación de la llamada Ley del Cielo y se analizó el estado actual del proyecto del Centro Común de Astrofísica de La Palma, la futura sede del IAC en esta isla, “con fechas muy próximas a la licitación”, subrayó la Ministra de Ciencia y Tecnología.

Tanto la Ministra de Ciencia y Tecnología como el Presidente del Gobierno de Canarias expresaron su apuesta clara a favor de la consolidación y el futuro de este organismo de investigación de excelencia “que nos hace punteros en Astrofísica”.

Añadió su felicitación al IAC por la labor de investigación, el interés por transferir tecnología y el esfuerzo por divulgar los contenidos de esta investigación, así como por los premios recibidos por alumnos y profesionales del IAC en distintos ámbitos.

Anna M. Birulés destacó igualmente la repercusión de los avances científicos y tecnológicos de la Astrofísica en la sociedad, entre ellos desarrollos de gran importancia para la inserción en la vida cotidiana de colectivos de discapacitados, en alusión al proyecto de creación de un espacio acústico virtual para personas ciegas.

Por la noche tuvieron ocasión de asistir a una observación astronómica con científicos del Observatorio.

Asistentes:

- **Anna M. Birulés i Bertran**, Ministra de Ciencia y Tecnología
- **Román Rodríguez Rodríguez**, Presidente del Gobierno de Canarias
- **José Miguel Ruano León**, Consejero de Educación, Cultura y Deportes
- **Dolores de la Fuente Vázquez**, Subsecretaria Ministerio de la Presidencia
- **Félix Ynduráin Muñoz**, Secretario General de Política Científica y Tecnológica
- **Francisco Sánchez Martínez**, Director del Instituto de Astrofísica de Canarias
- **Teodoro Roca Cortés**, Vicerrector de Planificación y Coordinación (Univ. La Laguna)
- **José Luis Perestelo Rodríguez**, Presidente del Cabildo de La Palma
- **Rafael Arnay de la Rosa**, Administrador de Servicios Generales del IAC
- **Gonzalo Babé Romero**, Jefe del Gabinete de la Ministra de Ciencia y Tecnología
- **José María Noguero**, Jefe del Gabinete del Presidente del Gobierno de Canarias

Imágenes de los miembros del Consejo Rector al comienzo de la reunión (arriba) y visitando el Observatorio, especialmente a las obras del GTC (abajo). Fotos: Luis Cuesta (IAC).



La Comisión de Investigación del Parlamento Europeo



Los miembros de la Comisión europea, en su visita al Instituto de Astrofísica, acompañados por el Director del IAC. Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

Una representación de la Comisión de Industria, Comercio Exterior, Investigación y Energía del Parlamento Europeo, encabezada por su Presidente, Carlos Westendorp, visitaron los días 20 y 21 de enero las

instalaciones del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y sus Observatorios del Teide (Tenerife) y del Roque de los Muchachos (La Palma). Durante su visita, los europarlamentarios estuvieron acompañados por el Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el Director General de Investigación de este Ministerio y el Presidente de la Comisión de I+D del Senado, así como por el Director del IAC y por otros investigadores de este Instituto. A su llegada a La Palma, el sábado día 19, se celebró una cena ofrecida por el Alcalde de Breña Baja, Jaime Sicilia, municipio donde se va a construir la sede del IAC en La Palma. El domingo, día 20, visitaron el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), donde recorrieron sus instalaciones y fueron informados de los proyectos más importantes, en especial las obras del Gran Telescopio CANARIAS (GTC). El lunes, día 21, se trasladaron a Tenerife para conocer las instalaciones del Instituto de Astrofísica en La Laguna y del Observatorio del Teide.

La Comisión de Ciencia y Tecnología del Senado



La Comisión de Ciencia y Tecnología del Senado visitó los pasados días 14 y 15 de mayo las instalaciones del Observatorio del Roque de los Muchachos y el Instituto de Astrofísica de Canarias. En la visita les acompañó el Director del Instituto, Francisco Sánchez, y miembros del Comité de Dirección del IAC. Esta Comisión está compuesta por Alonso Arroyo Hodgson, Juan Seva Martínez, Antonio Socías Puig, Eva Navarro Gonzalez, Adolfo Abejón Ortega, Jerónimo Saavedra Acevedo, Joseph Varela i Serra, Arnesi Gibert i Bosch, Francisco Xabier Albistur Marin y Mercedes Senen.

Algunos senadores, en el Telescopio «William Herschel» del Observatorio del Roque de los Muchachos. Foto: Juan Carlos Pérez Arencibia (IAC).

El Comité de Investigación Científica y Técnica (CREST) de la Unión Europea

En el marco de las actividades organizadas bajo la Presidencia Española de la Unión Europea, a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el grupo de altos directivos de la política científica de todos los países asociados con los Programas Marcos de Investigación Comunitaria se reunieron en Tenerife los días 26 y 27 de marzo.



Los miembros de CREST, en su visita al Instituto de Astrofísica en La Laguna (arriba) y al Observatorio del Roque de los Muchachos (abajo).
Fotos: Luís Cuesta y Juan Carlos Pérez Arencibia (IAC).

La reunión de este Comité, que se conoce por sus siglas en francés CREST (*Comité de la Recherche Scientifique et Technique*), estuvo presidida por el propio Director General de I+D de la Comisión Europea, Achilleos Mitsos.

Participaron además dos Directores de la misma Dirección General, Richard Escritt y Reinor Gerold, así como los Directores o Directores Generales de Investigación o de Política Científica de la mayoría de los países europeos, entre ellos Manuel de Hermenegildo, Director General de Política Científica del Ministerio de Ciencia y Tecnología - en total unas 70 personas.

Los dos días previos a la reunión, visitaron los observatorios del IAC: el Observatorio del Teide, en Tenerife, y el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. Entre otras instalaciones, visitaron las obras del Gran Telescopio CANARIAS. El martes 26 de marzo y al término de la reunión, visitaron el Museo de la Ciencia y el Cosmos, perteneciente al Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, el Instituto de Astrofísica en La Laguna y la Universidad de La Laguna (Facultad de Física y Laboratorio de Materiales).

CREST fue creado en 1974 y tiene carácter consultivo para la Comisión y el Consejo. Su función es emitir opiniones sobre cuestiones relacionadas con la investigación científica y técnica y, en particular, sobre la coordinación de las políticas nacionales de I+D. También participa activamente en el diseño, seguimiento y evaluación de los Programas Marco, principal instrumento de la política comunitaria de investigación y desarrollo tecnológico.

Miembros del Joint Research Center visitan el Observatorio del Roque de los Muchachos



Una representación del Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea visitó las instalaciones del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), durante los pasados 10 y 11 de mayo de 2002. Los asistentes fueron Karel Aim, José Pío

Beltrán, Antanas Cenys, Philippe Garderet, Killian Halpin, Alejandro Herrero, Hans Peter Jensen, Milos Komac, James Mc Quaid, Maximilian Metzger, Kurt Persy, Piedad Rasilla, Vladimir Sûcha, Corinne Tajchman y Jacques Wauterquin. En la visita les acompañó Francisco Sánchez, Director del IAC, Pedro Álvarez Martín, Director de la empresa "Gran Telescopio de Canarias", Jordi Cepa, investigador del IAC, y Juan Carlos Pérez Arencibia, administrador del Observatorio.

El JRC es una entidad que se dedica a estudiar las causas y consecuencias de los problemas globales que afectan a las sociedades, como la seguridad nuclear, la contaminación o el cambio climático. Además, asesora y supervisa las políticas comunes de las organizaciones internacionales encaminadas a combatir los mencionados problemas.



Los miembros del JRC, en su visita al Observatorio del Roque de los Muchachos.
Fotos: Juan Carlos Pérez Arencibia (IAC).

COLABORACIÓN CON IBERIA

El IAC firmó la renovación del acuerdo por el cual Iberia concede al IAC descuentos del 40% sobre tarifas completas y del 20% sobre tarifas promocionales publicadas hasta un importe de 10 millones de pesetas, así como facilidades especiales para congresos que organice el Instituto. Por su parte, el IAC se compromete a promocionar la compañía Iberia en sus diferentes boletines y publicaciones, figurando Iberia como patrocinador y transportista oficial de los congresos o reuniones científicas que se celebren organizados por el IAC durante la vigencia del acuerdo.

COLABORACIÓN CON LA ESCUELA ENSICA (TOULOUSE, FRANCIA)

En virtud de un acuerdo de colaboración con el IAC, un estudiante de ENSICA (Escuela Nacional Superior de Ingenieros de Toulouse, Francia), ha permanecido en el Instituto del 11 de marzo al 23 de agosto en período de prácticas.

CONCIERTO ESPECÍFICO EN CENTROS DE TRABAJO

En el marco de la serie de Conciertos Específicos de Colaboración que el IAC ha suscrito con la Dirección General de Ordenación e Innovación Educativa de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias, el Instituto ha firmado un Concierto Específico en Centros de Trabajo con el I.E.S. Tacoronte.

PLAN DE ACCESIBILIDAD

El IAC ha manifestado su interés en suscribir con el IMSERSO y la Fundación ONCE un convenio de colaboración para el desarrollo de un Plan de Accesibilidad para el Instituto de Astrofísica de Canarias en La Laguna, petición que ha sido aprobada por la Comisión de Seguimiento del Convenio IMSERSO/ONCE..

CONVENIO DE COLABORACIÓN CON EL CABILDO DE TENERIFE

En virtud de este convenio, el Cabildo Insular de Tenerife asimila el mantenimiento y conservación integral de las vías interiores del Observatorio del Teide.

Representantes de ESO visitan el IAC

Una delegación del *European Southern Observatory* (ESO), que proyecta construir un telescopio de 100 m (OWL), visitó el 14 de junio el IAC, con el fin de conocer las posibilidades concretas de su instalación en Canarias. El sábado, 15 de junio, los miembros de la delegación se desplazaron al Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, donde visitaron algunas instalaciones, entre ellas el Telescopio "William Herschel", el Telescopio Nacional italiano "Galileo" y las obras del Gran Telescopio CANARIAS (GTC). Esta delegación exploró posibles emplazamientos para el OWL dentro del Observatorio del Roque de los Muchachos. La calidad atmosférica de este observatorio, protegida por ley, su baja sismicidad, su adecuación para la observación infrarroja y la óptica adaptativa (técnica que requiere una alta estabilidad de la atmósfera), así como las infraestructuras desarrolladas, hacen de este observatorio uno de los pocos lugares en el mundo que podrían albergar telescopios de las características de OWL.

El OWL (de las siglas *Over Whelmingly Large*, "Abrumadoramente grande") será, si consigue la financiación necesaria, el telescopio más grande del mundo, con 100 m de diámetro. Su nombre -OWL-, que en inglés significa "búho", alude a la aguda visión de esta ave nocturna. Con este telescopio, en efecto, se podrían llegar a detectar planetas tipo terrestre así como las primeras estrellas y galaxias formadas en el Universo.

El ESO es un organismo internacional cuyo principal propósito es establecer los medios y la infraestructura necesaria para la observación del

cielo en el Hemisferio Sur. Está formado por nueve países europeos; España tiene abiertas negociaciones para su adhesión. Este organismo ya cuenta, entre otros, con el VLT (*Very Large Telescope*), cuatro grandes telescopios de 8 m instalados en Paranal (Chile).

La delegación de ESO que visitó el IAC estuvo compuesta por:

Guy Monnet, Jefe de Instrumentación del VLT.

Roberto Gilmozzi, Director del Observatorio de Paranal (Chile).

Philippe Dierickx, Diseñador óptico-mecánico del OWL.

Marc Sarazin, Responsable de la exploración del emplazamiento del OWL.

Jean-Louis Beckers, Gestor del proyecto del OWL.

Enzo Brunetto, Ingeniero mecánico del OWL.

(Ver entrevista en las siguientes páginas)



El grupo de representantes de ESO durante su visita al Observatorio del Roque de los Muchachos. A la izquierda, visitando las obras del GTC.

Fotos: Juan Carlos Pérez Arencibia (IAC).

Más información sobre OWL:

<http://www.eso.org/projects/owl/>

<http://www.eso.org/gen-fac/eso-info.html>

Representantes de ESO visitan el IAC



ROBERTO GILMOZZI
Director del Observatorio del Paranal (Chile)



GUY MONNET
Jefe de Instrumentación del VLT

El OWL, ¿cómo será físicamente?, ¿cuál será su tamaño?, ¿cuántos segmentos tendrá? “El número de segmentos depende del tamaño final que se decida para cada uno de ellos. Nuestra preferencia en cuanto al tamaño es inferior a 2,3 m. Las razones son varias: físicas, porque con 2,3 m se puede mantener la forma de cada segmento individual de forma pasiva, sin tener que añadir componentes activos que supondrían mayor complicación; la otra razón, puramente práctica, es que es el tamaño máximo que cabe en un contenedor normal, de modo que el envío al emplazamiento definitivo resulta más barato. El coste del traslado desde Europa hasta Chile de los espejos del VLT, de 8 m, fue de un millón de marcos alemanes (unos 500.000 euros). En contenedor podríamos trasladar quince de estos segmentos por unos 2.000 dólares (unos 2.000 euros), lo que ahorraría mucho dinero. Ahora, el número sería de unos 2.300 segmentos. Pero el tamaño real será decidido por la industria; se fabricarán donde los procesos industriales en marcha sean capaces de ofrecernos mayor rapidez y menor coste. En los estudios realizados por ahora nos ofrecen un tamaño del orden de 1,8 m y eso aumentaría el número de segmentos a aproximadamente 3.000. Estamos dispuestos a aceptar un tamaño en torno a 2 m, con lo que el número de segmentos estará entre 2.000 y 4.000. Es cuestión de costes”.

●●● ¿Y en cuanto a la cúpula? “No tenemos una cúpula en el sentido tradicional de una cubierta que gira con el telescopio. La razón es su elevado coste para un telescopio de 100 m de diámetro. Tampoco estamos convencidos de su utilidad. En los estudios que estamos realizando, el efecto del viento ha de tenerse muy en cuenta en el diseño y demuestran que se puede controlar con los sistemas utilizados para telescopios como el GTC, mientras que su introducción podría crear situaciones que no podríamos controlar. Por ejemplo, la turbulencia local generada por la propia cúpula tendría efectos peores que los de la turbulencia atmosférica. La atmósfera abierta nos daría la mejor turbulencia posible y cualquier turbulencia añadida empeora las condiciones. Esto significaría que los requisitos de óptica adaptativa, por ejemplo, serían aún mayores de los que de por sí generaría el propio tamaño. Un telescopio de 100 m requiere mucha óptica adaptativa y hay longitudes de onda que son imposibles de alcanzar; si encima añadimos un factor de 2 ó 3 en la turbulencia, especialmente turbulencia térmica, tenemos los efectos Venturi, debidos al factor viento, que tenemos actualmente en el VLT. La razón por la que el VLT es tan rígido es para protegerse del viento, lo que está bien en determinadas circunstancias, pero en otras se crea una carga extra al telescopio al añadirle rigidez. En cualquier caso, una cúpula para el OWL costaría muchísimo.”

●●● Pero el telescopio está dentro de un recinto. ¿A qué distancia se encuentra el telescopio del recinto? “Por el momento lo estamos retrayendo hasta 200 m. La idea es

tener un ángulo de observación claro hasta 60 grados. No obstante, uno de los pasos del estudio del efecto del viento es la posibilidad de evitar orientarlo en la dirección predominante del viento. La experiencia es que en cada emplazamiento hay un 70 % de cuadrante que contiene la dirección predominante del viento. Pongámoslo de la forma opuesta: si lo orientamos hacia la dirección predominante del viento y lo diseñamos con la forma adecuada en términos de aerodinámica quizá podríamos utilizarlo como un deflector para el viento, para evitar que el viento azote el telescopio con tanta fuerza. Es algo que queremos estudiar porque podría haber una fórmula barata de reintroducir algún tipo de protección contra el viento que nos sirva para velocidades del viento de 12-15 m/s, en vez de sólo 10 m/s, simplemente utilizando el diseño de la cúpula. Estamos trabajando en este sentido, tenemos algunos diseños preliminares que queremos probar con un software de simulación del viento, algo que no sucederá antes de unos meses. Al final, cuando el diseño esté más estabilizado, elaboraremos un modelo que probaremos en un túnel de viento. En el caso del VLT, todas las formas de las cúpulas se probaron en túneles de viento y funcionan a la perfección.”

●●● ¿Qué piensa de la colaboración entre el IAC y ESO, especialmente en torno al proyecto OWL? “En cierto sentido ya estamos colaborando. Colaboramos, por ejemplo, en el proyecto sobre *Adaptive Optics for Extremely Large Telescopes*, donde el IAC tiene un papel líder en el estudio de compensaciones de fase, lo que es importante puesto que mantener 2.500 ó 3.500 espejos en fase no es nada sencillo. Tenemos que estudiar el emplazamiento, lo que supondría potencialmente una enorme colaboración en el caso de que se instalase aquí. El IAC forma parte del *General Site Selection Study*. Además, el GTC de por sí es un experimento de fase que se ha realizado en la práctica, y estamos muy contentos de tener acceso directo a sus datos, lo que supone una importante colaboración. Por supuesto, estamos abiertos a una mayor colaboración con el IAC.”

●●● En cuanto al emplazamiento ¿Cuál es su opinión? “Digamos que estamos en la primera mitad de la discusión en torno al sitio. Hemos explicado cuáles son los requisitos de *seeing* del OWL y nos han hecho una presentación completa del sitio, de modo que la respuesta

políticamente correcta es que aún no podemos decir nada, pero hay muchos criterios para la selección del sitio para el OWL. En principio, un buen *seeing* y pocas nubes; luego se añadió el concepto de *global integrated humidity* por el infrarrojo y, atendiendo a lo visto aquí, estos criterios están sobradamente cumplidos. Hay criterios científicos, como el nivel de turbulencia atmosférica, con algunos elementos 'exóticos' como la cantidad de sodio en la alta atmósfera, que nos permitirá valorar la posibilidad de utilizar estrellas láser guía, en otras palabras, para las LGS y la óptica adaptativa es bueno tener muchos meteoritos, siempre que no caigan sobre el espejo. Pero también hay criterios no científicos, como disponer de una carretera, de un puerto, puesto que el transporte marítimo es más barato que el transporte aéreo. Es decir, son cuestiones relacionadas con el coste general de una instalación: carretera, puerto, economía del lugar. Tenemos también criterios políticos, como evitar un país en guerra civil, caso en el que se encuentran unos cuantos países ahora mismo, incluyendo algunos que desde el punto de vista astronómico serían interesantes, lo que los descarta como posible sitio para albergar un telescopio de 100 m. Otro criterio podría ser el encontrarse en Europa."

●●● **Se habla de cinco instrumentos para OWL ¿Podría definir en qué consisten?** "A este nivel sólo diría que lo más elemental es demostrar que se puede hacer un instrumento, y luego que se puede hacer un instrumento científicamente interesante. Tenemos que plantearnos como objetivo el avance científico, grandes innovaciones que contribuyan a vender un proyecto como éste a los astrónomos y a los no astrónomos, es decir, también a los políticos y al público en general. Ya ha pasado la época en que los telescopios se vendían sólo a los astrónomos. Ahora un telescopio ha de ir acompañado de una justificación científica crítica. La que hemos definido crítica para OWL es la búsqueda de planetas extrasolares de tipo terrestre. Interesa estudiar planetas que se encuentren en la llamada zona habitable en otros sistemas estelares, un área en torno a todas las estrellas donde el agua se encuentre entre el punto de ebullición y el de congelación. Creemos que esto es importante para hallar vida, porque el agua facilita las reacciones químicas en varios órdenes de magnitud. Las reacciones químicas pueden darse entre especies importantes para la vida aún en ausencia de agua, pero en presencia del agua se producen a velocidades miles de millones de veces superiores. Es decir, la presencia de agua es importante para la vida desde el punto de vista químico, como disolvente. La búsqueda de planetas de tipo terrestre en la zona habitable es uno de los estudios críticos, porque queremos saber si existe vida en otro lugar del Universo. No es sólo cuestión de imágenes, esperamos poder hacer espectroscopía, detectar la huella de la química que podría dar lugar a la vida o, si tenemos suerte, de la vida misma, si encontramos oxígeno en un planeta podemos pensar que es muy probable que sea similar a la nuestra. El oxígeno desaparece en unos pocos miles de años si se suprime la vida; si la vida en la Tierra se extinguiere, el oxígeno desaparecería en unos veinte mil años. El oxígeno es un claro indicador de la presencia de vida, porque es producido continuamente por las plantas y algunas bacterias. La otra justificación científica importante es el Universo muy lejano: tener un telescopio muy grande capaz de resolver galaxias a 10 ó 15 mil millones de años luz de distancia. En ambos casos se requiere que el tamaño del telescopio sea lo más grande posible. En el caso de los exoplanetas de tipo terrestre, hay un límite inferior por debajo del cual la espectroscopía es prácticamente imposible de realizar, que viene a ser por debajo de los 70 m. En términos de cosmología, el diámetro del espejo primario es menos crítico y menos condicionante. Por supuesto, a mayor diámetro más lejos se llega y más detalle se observa, pero también con telescopios más pequeños se puede hacer mucho, sin necesidad de llegar a 100 m. Por otro lado, creemos que la justificación científica para las exobiosferas, como lo denominamos, es el motivo conductor que determina el tamaño del telescopio. Es lo que dirige nuestra curiosidad. Saber si estamos solos en el Universo constituye la justificación científica más importante y es la que ha determinado la selección del tamaño."

●●● **¿Cómo se financiará y en qué plazo se construiría?** "En cuanto a la financiación, ESO cuenta con aproximadamente la mitad de los fondos para el presupuesto de la década de 2010-2020, siempre y cuando se den una serie de circunstancias, como que nada de lo que tenemos previsto vaya a costar diez veces más. Es una fecha un poco tardía. Nos gustaría tener el telescopio listo antes porque la escala temporal supone que, una vez completados los aspectos técnicos, se tardan otros diez años para empezar a hacer verdadera ciencia, es decir, las primeras observaciones podrían hacerse en el 2012 ó 2013 si empezamos ahora. Pero si el dinero es el factor determinante, en el caso del OWL tendríamos que retrasarlo todo hasta que pudiéramos empezar a gastar el dinero, porque no creo que la industria nos dé prioridad sabiendo que no podremos pagarles hasta dentro de diez años."

Por otro lado, si la industria acepta empezar a trabajar teniendo la financiación a partir del 2010 y si los presupuestos se mantienen constantes, la segunda parte vendrá en la siguiente década. Es un problema de fondos, pero la programación técnica prevé la primera luz para dentro de 10 años, y eso es lo más importante.

En cuanto a la procedencia del dinero, podríamos hacerlo únicamente europeo, lo cual no es fácil, y podríamos ir a por un proyecto al 50% con los americanos, al estilo de ALMA, que sería una buena solución. Podríamos esperar a ver los resultados de la colaboración en ALMA. Por el momento es un poco prematuro."

●●● **¿Cuál es la principal ventaja de OWL, además de aumentar la capacidad de resolución y limitar la magnitud derivada del tamaño?** "Entrar

en el régimen de la producción en masa. Además de que la ciencia debería ser el motor del asunto, es decir, poder alcanzar mayor resolución y mayor profundidad debería ser razón suficiente para hacerlo si nos lo



podemos permitir. Nuestro enfoque no se centra tanto en el tamaño como en el hecho de que hemos adoptado un nuevo enfoque en la fabricación de la mecánica, con la fabricación en serie de piezas idénticas, lo que nos permite entrar en el régimen de producción en masa y conseguir un telescopio mayor por el mismo dinero.

Para ser justos, no es un concepto nuevo. Ya se empleó en el telescopio Hobby-Eberly y, remontándonos aún más lejos, ya se aplicó en la construcción de la torre Eiffel en 1899."

●●● **En cuanto a la nomenclatura en astronomía, ¿quién sugirió el nombre para el telescopio?** "Fue Philippe Dierickx. Pero el significado del acrónimo va a cambiarse. Probablemente organizaremos un concurso dotado de un premio para el que proponga el mejor acrónimo para OWL. Queremos mantener el nombre de OWL porque designa a un ave nocturna con una

extraordinaria agudeza visual, y no hay que olvidar que en la antigua China, los herreros necesitaban un búho en su taller para poder fabricar espejos mágicos."

Entrevista realizada por Natalia R. Zelman, Carmen del Puerto, Luis Cuesta y Begoña López Betancor (IAC). Fotos: Luis Cuesta (IAC).

Georges Ellery Hale



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

Queridos amigos, les presento hoy la transcripción de una entrevista con el Profesor George Ellery Hale, nacido en Chicago en 1868, astrofísico que cuenta entre sus incontables méritos con el descubrimiento de campos magnéticos en el Sol.



© CALTECH

apasionaron los instrumentos y nunca estaba satisfecho, los quería cada vez más potentes y precisos.

U: ¿Qué significó para usted cierto libro de Cassell sobre Deportes y Pasatiempos?

H: Oh, fue un fantástico regalo que recibí con 13 años. En él se describía el *spectrum* de la luz solar, *that is*, su descomposición en los colores del arco iris cuando pasa por un prisma, y que su estudio es la clave para entender the *Physical Universe*. Así surgió mi interés por la Astronomía: construí dos espectroscopios, para observar y registrar *spectra* y fabriqué mi primer telescopio. Luego mi padre me compró uno de segunda mano, de 4 pulgadas, le coloqué una placa y fotografié un eclipse parcial de Sol, empecé a observar las manchas... y también a leer mucho y a experimentar en laboratorio. Con 18 años decidí estudiar Física en el *Massachusetts Institute of Technology* y más tarde fui asistente en el Observatorio de Harvard.

U: Creo que se definía usted como un experimentalista destinado a combinar la Física, la Química y la Astronomía, ¿es así?

H: *Oh, yes, that's correct. I was actually very lucky*, encontré mi camino muy pronto... y ya nunca lo abandoné.

U: 1889 fue un año especial para usted, ya que sus padres le permitieron casarse con Evelina Conklin al año siguiente, publicó su primer artículo e inventó usted el *espectroheliógrafo*, un instrumento muy novedoso para obtener imágenes del Sol en bandas de color muy estrechas, que revolucionó el estudio de la atmósfera solar. Sabemos también que un año más tarde fue elegido miembro de la Real Sociedad Astronómica Británica, y que fue usted quien acuñó la nueva palabra "Astrofísica", y el primer astrónomo del mundo nombrado Catedrático de esta especialidad en la Universidad de Chicago con sólo 24 años.

Pero se le asocia principalmente con los Observatorios Kenwood, Yerkes y Monte Wilson, ¿nos cuenta su historia?

H: *OK, Urania. First*, con un nuevo telescopio de 30 centímetros de diámetro comprado por mi padre y otros instrumentos, creé el Observatorio Físico Kenwood en la casa familiar. Luego conocí a Charles Tyson Yerkes, un millonario muy jactancioso, hombre de negocios y coleccionista de arte.

Aunque puso muchas pegs, finalmente aceptó financiar la construcción de un Observatorio con su nombre en Wisconsin, según mis planos. Se inauguró en 1897 con un telescopio de un metro, un espectroheliógrafo acoplado y otros instrumentos, despachos y laboratorios...

U: ...y, disculpe la interrupción, sabemos que usted fue su director hasta 1905, pero ¿tiene este Observatorio la culpa de que nunca llegase a completar su tesis doctoral?

H: Efectivamente, *what a sad story...* Durante la construcción del Observatorio Yerkes yo viajé a Berlín para continuar mis estudios; estaba muy preocupado con los problemas económicos, la decisión del sitio, un fuego en la fábrica... entonces no había *e-mail* y las noticias tardaban mucho. Así que me desanimé y decidí volver a casa, algo de lo que me arrepentiría siempre. Aunque en mi vida recibí muchos doctorados honoríficos, nunca sentí que había ganado ese título y prefería ser llamado Mr. Hale, no Dr. Hale.

U: *Anyway*, Dr. Hale (con todos los derechos), olvidemos la tristeza y sigamos hablando de sus años en California.

H: *All right*. Tras la inauguración de Yerkes, me encontré defendiendo la Astrofísica ante el *Executive Committee of the Carnegie Institution*, que deseaba fundar un centro de investigación excepcional. Entonces viajé a *Mount Wilson*, en California, y vi que era un lugar ideal para ubicar un nuevo telescopio de 59 pulgadas de diámetro. Tras muchas dificultades, *as usual*, en diciembre de 1904 nació *Mount Wilson*. Precisamente recibí el telegrama de aceptación mientras subía en mula a la montaña...¡qué recuerdos!

U: Este Observatorio, dirigido por el Profesor Hale durante 19 años,

URANIA ENTREVISTA A...

ha sido una de las facilidades astronómicas más productivas construidas nunca, y en él nació realmente la moderna Astrofísica. Pero, nunca satisfecho, impulsó usted el telescopio de 5 metros de Monte Palomar, cerca de San Diego. Aunque no vivió para verlo, deseo que sepa que el mayor telescopio del mundo durante tres décadas fue completado en 1948 y, tanto este instrumento como los Observatorios de Monte Wilson y Palomar, llevan hoy el nombre de Hale.

H: Oh, Urania, me da una gran alegría, *thanks a lot!*

U: Profesor, su investigación cubrió muchos aspectos de la Astrofísica, y hay quien le considera el mayor físico solar del siglo XX. Hoy pensamos que el mayor desafío para esta disciplina es comprender la complejidad del magnetismo del Sol, que precisamente usted descubrió. ¿Podría contarnoslo?

H: Por supuesto, en 1907 sugerí por primera vez la existencia de campos en *sunspots*, gracias al efecto Zeeman que se observa en el solar *spectrum* e indica que hay campo magnético en el objeto emisor de luz. En 1908 publiqué dos artículos en *Nature* y el propio Zeeman, descubridor de su efecto en el laboratorio doce años atrás, comentó que era un espléndido hallazgo, de gran importancia para la Física General y Solar.

U: Pues sí, Profesor Hale, sus trabajos ya sugerían la existencia de un campo magnético bien organizado a gran escala en el interior solar, apasionante tema que aún continúa abierto.

En fin, su trayectoria es abrumadora y no podemos revisar todos sus méritos, pero querría terminar recordando algunos: G.E. Hale convocó muchas reuniones internacionales con los mejores astrónomos del momento; fue fundador en 1895, y editor durante casi 30 años, de *Astrophysical Journal*, que pronto se convirtió en la publicación de investigación

astrofísica líder en el mundo; contribuyó a crear la *American Astronomical Society* y la *International Astronomical Union*; recibió numerosas medallas y distinciones; y además de muchísimos artículos científicos, publicó varios libros de divulgación. Un curriculum realmente impresionante.

Profesor, ha sido un verdadero placer tenerle aquí. Muchas gracias.

H: *You're welcome, Urania. See you soon!*

U: Hasta siempre, Profesor Hale.

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

APRENDIZ DE CIENCIAS

Recuerdo la primera vez que entré en el Museo de la Ciencia y el Cosmos del Cabildo de Tenerife, en La Laguna, me invadió un sentimiento de pequeñez e ignorancia frente al Universo. Sin embargo, esta sensación debió de quedarse allí, quién sabe si la mandé al espacio junto a un mensaje para los extraterrestres. Por primera vez (en mis visitas culturales), no había nada muerto, ningún elemento pendía por las paredes con carteles de no tocar. No necesitaba ir acompañada de seres de uniforme que repiten, cual letanía, un discurso dudosamente apre(he)ndido. Tampoco, tenía que haber leído sobre el tema, ni ser docta en el asunto. Era capaz de descubrir, yo solita, qué mecanismo o lección había en cada pieza expuesta. Me sentía dueña del saber que emanaba de los experimentos. Era responsable de su funcionamiento y no se rompían... ¡Eso sí era un milagro de la ciencia!

CIENCIAS VERSUS LETRAS

¡Qué miedo! Años y años renegando de la física y las matemáticas, convertida en un animal de letras y, de repente, ahí estaba yo, aprendiendo, disfrutando. Los años han pasado, y aunque encuentro el museo algo deteriorado, sigo descubriendo nuevas explicaciones útiles y reales. En cada visita, salen del ángulo oscuro de mi memoria la definición de fuerza, tiempo, los nombres de los planetas y muchos apuntes rancios que no significaron, en su momento, nada.

MUSEO TEMÁTICO

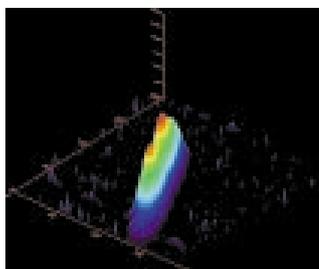
Toda esta nostalgia nace a propósito de una pregunta: ¿qué es el Museo de la Ciencia y el Cosmos? ¿Es una sala de exposición convencional? Supongo que usted, amigo lector, ya conoce mi respuesta. Creo que estamos ante un pequeño parque temático, con el que a diferencia de otros que hay en las Islas Canarias, no sólo te diviertes, sino que también aprendes. Sin la actividad del visitante, los inventos no tienen sentido, están muertos. Hay que manejar, hurgar, experimentar para que el museo cumpla su verdadero fin: acercar las ciencias y el cosmos a los visitantes.

Perdón, me voy al museo. ¿Se viene?

Pepi Déniz

(Como alumna de Periodismo de la Facultad de Ciencias de la Información de la Universidad de La Laguna realizó prácticas en el IAC durante el verano de 2001)

TESIS



Representación 3D de la detección del 5/12/01, con la presencia una capa esporádica sobre la capa estable de sodio mesosférico.

Estrellas láser

“Estrellas de referencia por láser: estructura y dinámica de la mesosfera terrestre”

SERGIO CHUECA URZAY

Director: *Jesús Jiménez Fuensalida (IAC)*

Fecha: 14/2/02

La turbulencia atmosférica introduce fuertes limitaciones en las prestaciones de los telescopios terrestres. Todas las soluciones para mitigar estos efectos pasan por la generación de Estrellas Artificiales por Láser (LGS), ya sean en capas bajas (de *scattering Rayleigh*) o en la mesopausa (resonante de sodio). El objetivo fundamental de este trabajo ha sido la caracterización de la atmósfera sobre los observatorios de Canarias, centrándose principalmente en los aspectos fundamentales para el desarrollo y aplicación de LGS. Su contenido se divide en varias partes: una introducción al campo de la Alta Resolución Espacial centrada en el desarrollo histórico que condujo a la generación de LGS; una revisión del conocimiento actual de los procesos mesosféricos relacionados con la capa de sodio (ondas de gravedad, capas esporádicas de sodio, aporte meteorítico de metales, escala de alturas de la mesopausa); desarrollo y optimización del equipo necesario para la generación de estrellas por láser; un estudio de la abundancia de sodio durante el día y un estudio de la focalización del haz, aspecto fundamental para la eficacia de los sistemas de estrellas por láser, para el que se han analizado los perfiles reales generados por el láser en el experimento IAC80-OGS.

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

La Nebulosa del Antifaz



Nebulosa del Antifaz. Imagen obtenida con el telescopio NTT, de ESO, en La Silla (Chile). © Romano Corradi et. al. (IAC).

El incremento creciente de descubrimientos relativos al Universo ha obligado a establecer unas normativas de carácter internacional para la designación de cuerpos u objetos celestes, abandonando el romanticismo que caracterizaba a la terminología astronómica de la antigüedad. Aun así, se conservan los antiguos nombres clásicos y la racionalista nomenclatura astronómica actual se ve alterada, muy a menudo, con términos que rinden culto a la metáfora.

En 1996, el investigador del IAC Romano Corradi encontró en un atlas astronómico un objeto con una morfología muy peculiar que nadie había estudiado anteriormente. Tras confirmarse que este objeto, catalogado como MRS 252, era una nebulosa planetaria del Hemisferio Sur, se le asignó un nombre con sus coordenadas galácticas: PN 321.6+02.2.

Pero una nebulosa tan espectacular, que iba a ocupar la primera página de la revista IAC Noticias, merecía un nombre acorde con su belleza. De ahí surgió, tras varias propuestas, la Nebulosa del Antifaz, que se justifica por el contorno que esta nebulosa evoca y que fue propuesto por César Esteban, asesor científico por entonces de la revista del IAC. En el artículo sobre este objeto se dice:

“... ¿tiene PN 321.6+02.2 algo de particular, o es tan sólo una nebulosa planetaria más, la última, descubierta entre el millar que conocemos en la Vía Láctea? ... estamos ante una hermosa estructura doble, lo que en la terminología habitual llamamos una “nebulosa bipolar” y a la que hemos decidido bautizar como la nebulosa del antifaz”. (VILLAVÉR, Eva. “La Nebulosa del Antifaz”, en IAC Noticias, N. 1-1997. Págs. 8-9.)



Héctor Castañeda
(IAC)

Múltiples universos

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.

Hace unos meses se presentó en los mejores cines de toda España (tal cual reza la publicidad) *El Único*, donde el astro oriental Jet Li desafiaba las leyes de la física y de la lógica batallando consigo mismo en múltiples universos (125 para ser preciso). Tras la proyección, discutía con mi amiga Julia el realismo de esta historia (a pesar del desmentido al final que indicaba que cualquier semejanza con hechos reales o personajes vivos o muertos era pura coincidencia).

Si definimos el Universo como el dominio del espacio y tiempo que los astrónomos pueden observar, es lícito plantearse la existencia de otros universos que sean diferentes en tamaños, contenidos, dimensiones o incluso las leyes de la física que los gobiernan.

En la película existen 125 universos, cuya evolución e historia son diferentes. Aunque no está explicado, es posible que estos universos paralelos se inspiren en una interpretación particular de la mecánica cuántica, conocida como la teoría de los “Muchos mundos”. El escritor Olaf Stapleton prefiguró así esta teoría en su libro “El Hacedor de Estrellas”: “Cuando una criatura se encontraba con varios posibles cursos de acción, tomaba todos ellos, creando de esta manera diferentes historias del cosmos”. Sin embargo, estos universos son, por el momento, fruto de la especulación física para resolver ciertas paradojas de la teoría cuántica, pero no existe ninguna base para su existencia real.

En la película, el método de transporte entre universos es el “agujero negro”. Ahora bien, un agujero negro es un objeto tan masivo que ni siquiera la luz puede escapar de él. Sin embargo, dentro del terreno de la especulación teórica, un objeto de la misma familia, conocido como “agujero de gusano”, podría llevarnos a otra parte del Universo (solucionando ciertos problemas técnicos, por supuesto).

Es interesante ahora advertir que, para los astrónomos, la idea de múltiples universos tiene otro significado, dentro de una base científica.

Existen dos tipos de Universo, el observable, todo lo que ha estado o está en contacto con nosotros, y el Universo en su totalidad, aquello que ha estado, estará o podría estar en contacto causal con nosotros. La esfera de contacto causal crece con la velocidad de la luz.

Por supuesto que en la actualidad existe un límite al cosmos que observamos, fijado por la capacidad técnica de nuestros instrumentos. Pero aunque pudiéramos mejorar nuestras herramientas de observación indefinidamente, existiría una frontera infranqueable. El límite absoluto

observable es el horizonte fijado por la distancia en que cualquier señal, moviéndose a la velocidad de la luz, ha viajado desde el momento de la Gran Explosión (el Big Bang). Si el Universo se está desacelerando, más y más galaxias serán observadas en el futuro. Sin embargo, si tal como pensamos en la actualidad, habitamos en un Universo que se esta acelerando en su expansión, existirán galaxias tan lejanas que su luz no ha llegado ni tampoco llegará en el futuro a nosotros. En cierta manera, son otros universos, a los cuales nunca tendremos acceso.

En la frontera de la astrofísica, algunos teóricos especulan con múltiples big bangs, zonas de espacio tiempo desligadas unas de otras en dominios de espacio-tiempo inaccesibles unos de otros. Incluso esos universos podrían generarse por experimentos mal conducidos. Y aun astrofísicos más osados sugieren que nuevos universos podrían crearse a partir del interior de los agujeros negros, por su naturaleza en un dominio

espacio-tiempo inaccesible a nosotros. La idea de múltiples universos es también un poderoso argumento para explicar por qué el cosmos está tan ajustado en sus parámetros físicos para la vida humana; algunos especulan sobre infinitos universos, cada uno con diferentes leyes físicas, y sólo una fracción

muy pequeña donde las condiciones son tales para que existan seres como nosotros que se maravillen ante su existencia.

¿Qué prueba esto? Que incluso el guión mas descabellado de Hollywood palidece ante las posibilidades que nos presenta la naturaleza. En las palabras de Hamlet: “Hay más cosas en el cielo y en la tierra, Horacio, que las soñadas en tu filosofía”.



caosyciencia.com

El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) lanza una nueva publicación electrónica sobre ciencia con la subvención del Ministerio de Ciencia y Tecnología

Nace "Caosyciencia", una publicación electrónica sobre Astronomía y demás saberes relacionados que pretende comunicar la ciencia de forma sencilla y variada, con artículos, reportajes, fotografías, entrevistas, videos, animaciones y otros.

Su objetivo es llegar a un amplio sector de la sociedad utilizando un registro lingüístico accesible para un público que no necesariamente tiene un conocimiento detallado de la terminología científica, así como impulsar el intercambio de información.

"Caosyciencia" es un conglomerado de imágenes, textos, ideas y sonidos que interactúan de forma "caótica" para intentar explicar la ciencia desde el otro lado del muro, el no especializado. Pretende, con rigor y amenidad, estimular la imaginación y espera que ello se materialice en todo tipo de colaboraciones. Hay que aprender a jugar con la ciencia.

Esta publicación, que se actualizará periódicamente por correo electrónico, está tutelada por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y cofinanciada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Info@caosyciencia.com - <http://www.caosyciencia.com>



PRÓXIMAMENTE...

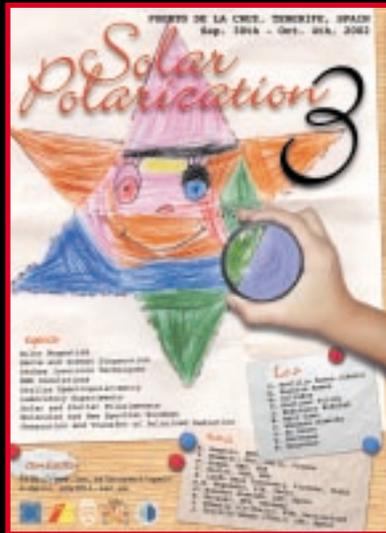
THIRD INTERNATIONAL WORKSHOP ON "SOLAR POLARIZATION"

Puerto de La Cruz, Tenerife (España). 30 septiembre- 4 octubre, 2002.

XIV CANARY ISLANDS WINTER SCHOOL OF ASTROPHYSICS

"DARK MATTER AND DARK ENERGY IN THE UNIVERSE"

Puerto de La Cruz, Tenerife (España). 18-29- noviembre, 2002.



Diseño: Gabriel Pérez (SMM/IAC)



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>

