



IAC

noticias

1998

Descubierto un superjúpiter en torno a la estrella "G196-3"

La Nebulosa del Anillo

Las estrellas δ Scuti en el Cúmulo del Pesebre

Explosiones de rayos gamma

Boro en estrellas viejas, medido con el *Hubble*

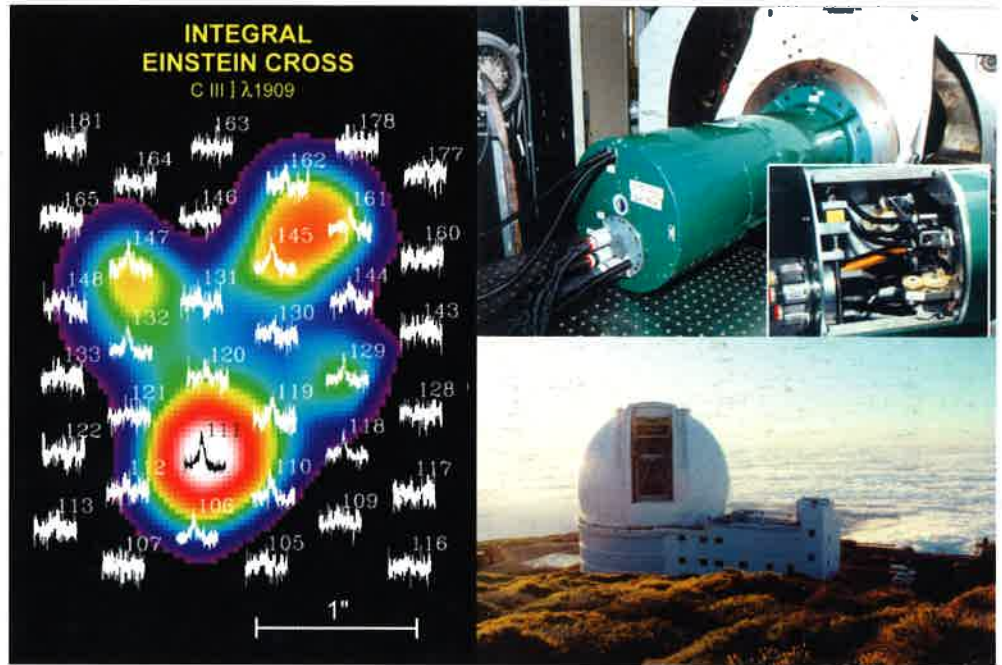
Espacio acústico virtual para ciegos

Reunión del Consejo Rector del IAC

10 años de la Ley del Cielo

Entrevista con JAN STENFLO: "El nuevo espectro del Sol"

A TRAVÉS DEL PRISMA:
Los exoplanetas y las teorías de formación del Sistema Solar
- "Epicuro tenía razón"
- "Conversaciones con Guido Münch"



A la izquierda, imagen de la Cruz de Einstein obtenida con el sistema de fibras ópticas INTEGRAL (imagen superior a la derecha) desarrollado en el IAC e instalado en el Telescopio "William Herschel" (imagen inferior a la derecha), del Observatorio del Roque de los Muchachos.

DESCUBIERTO UN ARCO DE EMISIÓN EN LALENTE GRAVITATORIA DE LA "CRUZ DE EINSTEIN"

Gracias al sistema de fibras ópticas INTEGRAL, desarrollado en el IAC, se ha observado la supuesta galaxia lejana, hasta ahora inadvertida por los astrónomos, de este espejismo gravitatorio. Se abren así revolucionarias perspectivas en el estudio de objetos lejanos del Universo.

El espejismo cósmico conocido como lente gravitatoria fue una predicción de Einstein en su Teoría de la Relatividad General. El más conocido de estos fenómenos es un sistema de imágenes múltiples de un lejano cuásar que lleva por nombre «Cruz de Einstein». Investigadores del IAC, gracias a INTEGRAL -un nuevo instrumento desarrollado en este Instituto para realizar espectroscopía bidimensional mediante fibras ópticas-, han descubierto en esta lente un arco de materia, imposible de observar con los métodos convencionales de la Astronomía. Este arco es la imagen gravitatoria de la supuesta galaxia lejana que alberga al cuásar origen de la "Cruz de Einstein" y cuya existencia pasaba inadvertida para los astrónomos. La combinación de INTEGRAL y estos fenómenos cósmicos, que actúan como verdaderos «telescopios gravitatorios», abren revolucionarias perspectivas en el estudio de objetos lejanos del Universo. Los resultados han sido publicados en la revista científica *The Astrophysical Journal Letters*; el artículo correspondiente hace el número 1.000 dentro de la producción científica del IAC en revistas especializadas, cuyo total supera actualmente la cifra de 1.100 publicaciones.



Consulta nuestra página web:

<http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>

SUMARIO

3	.....	INVESTIGACIÓN/INSTRUMENTACIÓN
3	.....	Descubierto un superjúpiter en torno a la estrella "G196-3".
6	.....	INTEGRAL descubre un arco de emisión en la Cruz de Einstein. E. MEDIÁVILLA y A. OSOZ
8	.....	INTEGRAL: Un nuevo sistema de espectroscopia bidimensional para el Telescopio "William Herschel". S. ARRIBAS y J.M. HERREROS
10	.....	INTEGRAL, un instrumento de uso común. R. J. GARCÍA LÓPEZ
12	.....	Abundancias de boro en estrellas muy viejas de la Galaxia. M. A. GUERRERO y E. VILLAVER
15	.....	Una nueva visión de la Nebulosa del Anillo. M. A. GUERRERO y E. VILLAVER
18	.....	Creado un espacio acústico virtual de aplicación médica en personas ciegas. M. CORUJO
20	.....	Estrellas δ Scuti en el Cúmulo del Pesebre. M. CORUJO
23	.....	COLOQUIOS IAC-FUNDACIÓN BBV
28	.....	ENTREVISTA
28	.....	JAN STENFLO. El nuevo espectro del Sol
30	.....	LEY DEL CIELO
30	.....	10 años protegiendo el cielo de Canarias
32	.....	OBSERVATORIOS
32	.....	Los telescopios NOT e IAC-80 se suman a las observaciones de explosiones de rayos gamma.
34	.....	GRAN TELESCOPIO
34	.....	Resumen de noticias sobre el "Gran Telescopio Canarias"
38	.....	A TRAVÉS DEL PRISMA
38	.....	Epicuro tenía razón, "el 100% de las estrellas pueden tener planetas". C. DEL PUERTO
41	.....	Conversaciones con Guido Münch. En torno a las teorías de formación del Sistema Solar. M. C. ANGUITA
44	.....	TESIS
54	.....	EDICIONES
55	.....	DIVULGACIÓN
58	.....	CONSEJO RECTOR
60	.....	ACUERDOS
61	.....	OTRAS NOTICIAS
62	.....	Expedición "Shelios 98"

PAGES 1&3

AN OBJECT ONLY 25 TIMES THE MASS OF JUPITER AROUND THE STAR "G196-3" DISCOVERED AND IMAGED BY IAC RESEARCHERS

On November 13th the magazine Science published the discovery by IAC researchers of a sub-stellar object in orbit around the star "G196-3", at a distance of 50 light years. Its mass is estimated to be 25 times that of Jupiter. It is the least massive brown dwarf discovered to date and the body closest to a "superplanet" or "giant planet" which has been imaged in the visible and infrared or observed spectroscopically.

PAGE 6

INTEGRAL DISCOVERS AN EMISSION ARC IN THE EINSTEIN CROSS

One of the first predictions of the General Theory of Relativity was that the gravitational fields of some objects could deflect the light from a distant object, generating more than one image of it. These systems are normally produced when a large concentration of mass (a galaxy, or a cluster of galaxies) is situated in the line of sight which connects the observer to a distant source of light, almost always a quasar. Today we know of around 20 multiple systems of quasars which appear to be generated by the gravitational lens effect. IAC researchers have discovered an emission arc in the gravitational lens known as the Einstein Cross, using the fibre-optical system, developed at the IAC, known as INTEGRAL.

PAGE 8

INTEGRAL: A NEW BIDIMENSIONAL SPECTROSCOPY SYSTEM FOR THE WHT

INTEGRAL has started to produce its first scientific results. The instrument was proposed, constructed and managed by the IAC within an international collaboration with the RGO and ING, to develop a two-dimensional fibre-optic spectroscopic system for the William Herschel Telescope. The new system allows simultaneous spectroscopy to be carried out of some 200 regions of extended astronomical objects.

PAGE 10

INTEGRAL, A COMMON-USER SYSTEM

The development of post-focus instrumentation requires an engineering effort to develop the necessary electronic, mechanical, optical and software systems. The INTEGRAL optical-fibre system is integrated within this optical instrumentation.

PAGE 12

BORON ABUNDANCES IN VERY OLD STARS IN THE GALAXY

Boron has been the least studied of light elements due to the fact that the stellar absorption lines associated with this element and its ions are found in the ultraviolet, a part of the electromagnetic spectrum which is not detectable from the Earth. It was not until the Hubble Space Telescope was put in orbit, equipped with the GHRS high-resolution spectrograph, that a door has been opened to the systematic measurement of boron abundance in stars of different types and evolutionary states.

PAGE 15

A NEW VIEW OF THE RING NEBULA

The Ring Nebula in the constellation of Lyra is one of the brightest planetary nebulae and, possibly, one of the most famous. Despite having been heavily studied, there are still some very important aspects of this singular planetary nebula to be learned. A research project by IAC members has established the three dimensional structure of this planetary nebula.

PAGE 18

DELTA SCUTI STARS IN THE PRÆSEPE CLUSTER

Stellar Seismology attempts to obtain information about the interior of stars by means of their pulsations, also known as oscillation modes. This work aims to apply the same tools to normal Main Sequence stars such as the delta Scuti variables which are thus easier to model theoretically.

PAGE 21

A VIRTUAL ACOUSTIC SPACE CREATED WITH MEDICAL APPLICATIONS FOR BLIND PEOPLE

Researchers at the IAC and the Faculty of Medicine of the University of La Laguna have developed a system capable of generating acoustic signals, which contain three-dimensional spatial information, with the aim that a blind person can manage to perceive the space around himself, without recourse to sight. This is possible because both the images and the sounds are the result of the transmission of phenomena over a distance through a physical support based on wave motion. This allows the physical characteristics of the space which surrounds us to be captured once the neural mechanisms which the human brain uses for the purpose are activated.

PAGE 30

THE SKY LAW. 10 YEARS PROTECTING THE CANARY ISLANDS' SKY

October 31st 1988 marked the start of the Law for the Protection of the Astronomical Quality of the IAC's Observatories, but it was only in January 1992 that the Technical Office for the Protection of the Quality of the Sky was finally created within the IAC.

PAGE 32

THE IAC-80 AND NOT TELESCOPES JOIN IN THE OBSERVATION OF GAMMA RAY BURSTS

Gamma ray bursts are very difficult to study. Now it is known that they liberate 50 times more energy than a supernova and are the most spectacular event in the Universe after the Big Bang. Some of the GRBs detected so far could have happened in very distant galaxies and hence when the Universe was very young. Various telescopes in the IAC's observatories have followed some of these gamma ray explosions.

PAGE 38

THROUGH THE PRISM.

Michel Mayor. Exoplanets.

Guido Münch. Theories on the formation of the Solar System

El objeto subestelar G196-3B

Telescopio Nórdico
3 junio 1998
Obs. del Roque de los Muchachos
Imagen óptica (mayor definición)

Telescopio "Carlos Sánchez"
24 marzo 1998
Observatorio del Teide
Imagen en el infrarrojo

Telescopio IAC80
25 enero 1998
Observatorio del Teide
Primera detección (óptico)

Investigadores del IAC: R. Rebolo, M. R. Zapatero Osorio, S. Madruga, V. J. S. Béjar, S. Arribas, J. Licandro.

(Información sobre esta imagen, en páginas siguientes)

La revista *Science* publicó el 13 de noviembre el descubrimiento, realizado por investigadores del IAC, de un objeto subestelar en órbita alrededor de la estrella "G196-3", (ver imagen en la página anterior) en la constelación de la Osa Mayor y a unos 50 años luz de distancia (500 billones de kilómetros). Su masa se estima en unas 25 veces la masa de Júpiter (el planeta más grande del Sistema Solar) y su tamaño muy similar al de éste. Se trata de la enana marrón de menor masa que se ha descubierto hasta la fecha y el cuerpo más similar a un "superplaneta" o "planeta gigante" del que se ha logrado obtener fotografías en el óptico y en el infrarrojo, así como espectros. El radio de su órbita es aproximadamente 300 unidades astronómicas, unas siete veces mayor que la distancia entre el Sol y Plutón, el planeta más externo del Sistema Solar.

DESCUBIERTO UN SUPERJÚPITER ALREDEDOR DE LA ESTRELLA "G196-3"

Imágenes y espectros obtenidos con los telescopios de Canarias lo confirman como el de menor masa observado hasta la fecha

Los objetos subestelares -enanas marrones y planetas- son cuerpos celestes en cuyo interior no tienen lugar reacciones nucleares, que son la fuente de energía de las estrellas, y por consiguiente no brillan como éstas. El objeto, denominado "G196-3 B", fue descubierto en el curso de un programa de búsqueda de planetas gigantes de formación reciente que Rafael Rebolo, María Rosa Zapatero Osorio y Santiago Madrugá iniciaron hace aproximadamente un año. Tras examinar más de cincuenta estrellas jóvenes vecinas al Sol se logró la detección de este compañero de baja masa en las imágenes ópticas obtenidas con el telescopio "IAC-80", del Observatorio del Teide, el 25 de enero de 1998. Unos dos meses después, el equipo investigador obtuvo imágenes infrarrojas con la nueva cámara "CAIN" recién instalada por el IAC en el telescopio "Carlos Sánchez" (también en el Observatorio del Teide), que muestran claramente una emisión infrarroja muy superior a la del óptico, rasgo característico de los objetos subestelares.

Imágenes y espectros tomados posteriormente con el Telescopio Nórdico Óptico (NOT) y el telescopio "William Herschel", del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), permitieron demostrar que la estrella y el objeto débil están ligados gravitatoriamente y que este último es una enana marrón de muy baja masa en una etapa evolutiva temprana. También se ha logrado detectar la presencia de litio en su atmósfera, lo que no deja lugar a dudas sobre su naturaleza subestelar. El análisis detallado de la estrella primaria, especialmente su fuerte

INVESTIGADORES:

Rafael Rebolo (IAC)
María Rosa Zapatero Osorio (IAC)
Santiago Madrugá (IAC)
Victor J.S. Béjar (IAC)
Santiago Arribas (IAC)
Javier Licandro (IAC)

emisión de rayos X y ultravioleta, sugieren como edad más probable unos 100 millones de años. Se trata, por tanto, de un sistema muy joven si lo comparamos con la edad del Sol (4.500 millones de años) o con la de la Galaxia (12.000 millones de años). El espectro del compañero débil revela que en la actualidad tiene una temperatura superficial de unos 1.500 grados centígrados, valor que teóricamente disminuirá lentamente con el transcurso del tiempo hasta alcanzar a la edad del Sol unos 200 grados centígrados, temperatura que es inferior a la que actualmente tiene el planeta Venus.

El proceso que dio lugar a la formación del débil compañero es actualmente desconocido. La distancia a la estrella central y la proporción relativa de masas sugiere que su origen reside en el colapso y fragmentación de una nube de gas primigenia. Sin embargo, y aunque parece menos probable, no se puede descartar que el objeto subestelar se formara a partir de un disco protoplanetario que ya se habría disipado y del cual no hay evidencia en estos momentos, o que incluso pudiera haber resultado de la interacción de la estrella central con otra en un encuentro fortuito. En cualquier caso, la edad de la estrella (alrededor de 100 millones de años) demuestra que los compañeros subestelares pueden formarse en escalas cortas de tiempo. La detección de más enanas marrones y planetas gigantes que estén orbitando estrellas permitirá en un futuro obtener pruebas observacionales con las que contrastar las diversas ideas sobre la formación de planetas gigantes.

Los investigadores del IAC siguen llevando a cabo un programa de búsqueda de enanas marrones y planetas gigantes con técnicas de imagen directa y examinando estrellas jóvenes, próximas y frías. Jóvenes, porque se espera que los objetos débiles sean más luminosos en las fases iniciales de la contracción gravitatoria (aún así, "G 196-3B" es 6.000 veces menos brillante que el Sol); próximas, porque en la vecindad solar es posible detectar compañeras débiles separadas varias decenas de unidades astronómicas (varias decenas de veces la distancia Tierra-Sol); y frías, ya que la

menor luminosidad de las estrellas favorece la detección de posibles compañeros que emiten muy poca luz.

Los investigadores del IAC Rafael Rebolo (Profesor del CSIC), María Rosa Zapatero Osorio y Eduardo Martín, este último actualmente en la Universidad de California en Berkeley, pioneros en la investigación de enanas marrones, obtuvieron por primera vez pruebas inequívocas de la existencia de objetos subestelares en nuestra galaxia con el descubrimiento, en 1995, de la enana marrón "Teide 1", en el cúmulo de las Pléyades.

¿Se han hallado evidencias de la existencia de planetas extrasolares tipo terrestre?

Un reciente artículo de Hans Deeg, investigador del IAC, y sus colaboradores podría proporcionar las primeras indicaciones de la detección de un planeta extrasolar de entre 2 y 2,5 veces el tamaño de la Tierra. El artículo, publicado en la revista científica *Astronomy & Astrophysics* (Vol. 338, pág. 479), recoge los resultados del trabajo realizado por la red internacional TEP (los Investigadores Principales son Hans Deeg y Laurence Doyle, este último del Instituto SETI de California, con colaboradores de Francia, Rusia, Grecia y EEUU, además del antiguo postdoc del IAC Eduardo Martín). Esta colaboración ha observado la estrella binaria eclipsante CM Draconis durante cuatro años para tratar de encontrar indicios de algún planeta girando al su alrededor. Han empleado el método de tránsito, consistente en detectar los pequeños cambios en el brillo que se producirían si un planeta cruzase por delante de esta estrella central. El planeta ocultaría una pequeña parte de la superficie de la estrella y provocaría una caída en el brillo durante una o varias horas. Estas caídas en el brillo deben aparecer de forma regular, con cada revolución del planeta en torno a su estrella. El método es lo bastante sensible como para hallar planetas tan pequeños como dos radios terrestres, que son los planetas de menor tamaño detectados hasta la fecha. Este tipo de planetas son de especial interés porque tienen más posibilidades de ser tipo terrestre (con una superficie líquida o sólida) que los planetas gigantes gaseosos encontrados desde 1995.

Durante sus 4 años de observaciones, la red TEP ha detectado varias oscilaciones en el brillo de CM Draconis que pudieran deberse a tránsitos planetarios. Sin embargo, no puede concluirse aún la presencia de un planeta, pues primero hay que excluir la posibilidad de que las caídas observadas sean pistas falsas: podrían deberse a otra causa como, por ejemplo, variaciones desconocidas de la atmósfera o, incluso, efectos instrumentales. Luego, en observaciones posteriores, habría que asegurarse de que esas oscilaciones en el brillo se producen con una regularidad tal que sólo pueda deberse a la presencia de un planeta.

Si bien el artículo científico publicado expresa claramente las limitaciones arriba mencionadas de los resultados actuales, ha suscitado una gran expectación entre los medios de comunicación; ejemplo de ello son los extensos artículos aparecidos en el *Daily Telegraph* de Londres y en varios periódicos holandeses y unas cuantas entrevistas en la BBC británica. Al tratarse de reportajes, tenían un carácter entusiasta, dando la impresión de que es probable la detección de un nuevo planeta extrasolar. La historia reciente de la ciencia está plagada de anuncios de hallazgos de planetas extrasolares que luego resultaron no serlo, con lo que la red TEP está siendo muy cauta en la interpretación de sus resultados. Hans Deeg trabaja actualmente en el análisis de los datos empleando el método estadístico de las simulaciones de Monte-Carlo. En un futuro próximo debería disponerse, como resultado de este trabajo, de límites más sólidos a la detección de planetas, proporcionando mejores estimaciones de la probabilidad de detecciones falsas. Será entonces cuando la red TEP pueda emitir una valoración fiable sobre la importancia de sus hallazgos.

Para más información sobre la red TEP, contactar con la página web en: <http://www.iac.es/project/tep/tephome.html>

EL MÉTODO DE TRÁNSITO ES LO BASTANTE SENSIBLE COMO PARA HALLAR PLANETAS TAN PEQUEÑOS COMO DOS RADIOS TERRESTRES, QUE SON LOS PLANETAS DE MENOR TAMAÑO DETECTADOS HASTA LA FECHA. ESTE TIPO DE PLANETAS SON DE ESPECIAL INTERÉS PORQUE TIENEN MÁS POSIBILIDADES DE SER TIPO TERRESTRE (CON UNA SUPERFICIE LÍQUIDA O SÓLIDA) QUE LOS PLANETAS GIGANTES GASEOSOS ENCONTRADOS DESDE 1995.

Una de las primeras predicciones de la Teoría General de la Relatividad fue que los campos gravitatorios de algunos objetos podrían desviar los rayos de luz procedentes de un cuerpo lejano generando más de una imagen del mismo. Estos sistemas de imágenes múltiples, conocidos como sistemas lente o espejismos gravitatorios, se producen generalmente cuando una gran concentración de masa (una galaxia o un cúmulo de galaxias) está situada cerca de la línea de visión que conecta al observador con una fuente luminosa distante, casi siempre un cuásar. En este caso, la luz que viaja entre la fuente y el observador puede, debido a la deflexión gravitatoria, seguir diferentes trayectorias, produciendo varias "imágenes" amplificadas de la fuente. Es decir, la concentración de masa actúa como una lente gravitatoria sobre los rayos de luz que proceden de la fuente. Hoy en día se conocen aproximadamente unos 30 sistemas múltiples de cuásares que, con diferentes grados de certeza, parecen ser generados por el efecto *lente gravitatoria*. Investigadores del IAC han descubierto, desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, un arco de emisión en la lente gravitatoria llamada la "Cruz de Einstein", utilizando el sistema de fibras ópticas INTEGRAL desarrollado en el IAC.

Configuración más habitual del efecto de lente gravitatoria, con un emisor o fuente (generalmente, un cuásar), un deflector o lente (una o varias galaxias) y el observador.



INTEGRAL DESCUBRE UN ARCO DE EMISIÓN EN LA "CRUZ DE EINSTEIN"

EVENCIO MEDIAVILLA y
ALEJANDRO OSCOZ (IAC)

Las lentes gravitatorias proporcionan las herramientas más poderosas para medir varios parámetros cosmológicos. En primer lugar, la constante de Hubble, H_0 , relacionada directamente con la edad del Universo, se puede obtener a partir del retraso en la llegada de la luz en pares de componentes de un cuásar múltiple. Además, el número de lentes gravitatorias descubiertas y confirmadas proporciona importantes restricciones a los modelos

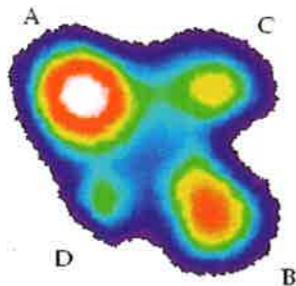


Imagen de la Cruz de Einstein obtenida a partir de observaciones con INTEGRAL. Se pueden apreciar perfectamente resueltas las 4 componentes.

cosmológicos actuales, ofreciendo información crucial sobre la densidad de materia del Universo, Ω_0 , y la constante cosmológica, λ_0 . La ventaja de estas medidas estriba en su independencia de los restantes métodos astronómicos y físicos.

Entre todas las lentes gravitatorias descubiertas en la actualidad, el sistema de cuatro componentes Q2237+0305 es una de las más interesantes, debido fundamentalmente a la proximidad de la galaxia lente y al alto grado de simetría que presenta. Por tal motivo se conoce también como Cruz de Einstein. Nosotros observamos la Cruz de Einstein el 23 de julio de 1997 en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Para ello utilizamos INTEGRAL, un sistema de fibras ópticas que permite realizar espectroscopia en dos dimensiones. INTEGRAL se encuentra situado en el "Telescopio William Herschel" y conecta el foco Nasmyth con el espectrógrafo WYFFOS. Las ventajas de realizar espectroscopia 2D son varias. Por un lado, se pueden obtener simultáneamente los espectros de las distintas componentes, no existiendo diferencias entre ellas debido a cambios en las condiciones atmosféricas o instrumentales. Por otra parte, la espectroscopia 2D permite detectar y estudiar emisiones extensas en sistemas lente gravitatoria.

Como consecuencia de nuestras observaciones hemos obtenido espectros de la región de Q2237+0305, que pudieron ser reconstruidos para mostrar imágenes del sistema en el continuo. En ellas, las cuatro componentes aparecen bien separadas, obteniendo una diferencia media entre las posiciones de las imágenes medidas con INTEGRAL y las observadas con el Telescopio Espacial "Hubble" de $0''.07$ en Ascensión Recta y de $0''.02$ en Declinación. Este resultado es una prueba indirecta de la precisión de nuestra fotometría y muestra la utilidad de INTEGRAL para la realización de imágenes.

Sin embargo, el resultado realmente sorprendente surgió cuando reconstruimos el mapa de la región que contiene a Q2237+0305 utilizando únicamente la línea CIII $\lambda 1909\text{\AA}$ de nuestros espectros. Gracias a ello descubrimos un arco de emisión extensa que conecta las componentes A, D y B de la Cruz de Einstein, fenómeno no observado hasta la fecha. Este arco se puede interpretar, de acuerdo con la localización de las cuatro imágenes compactas del sistema, como emisión procedente de una región extensa en la galaxia que alberga al cuásar

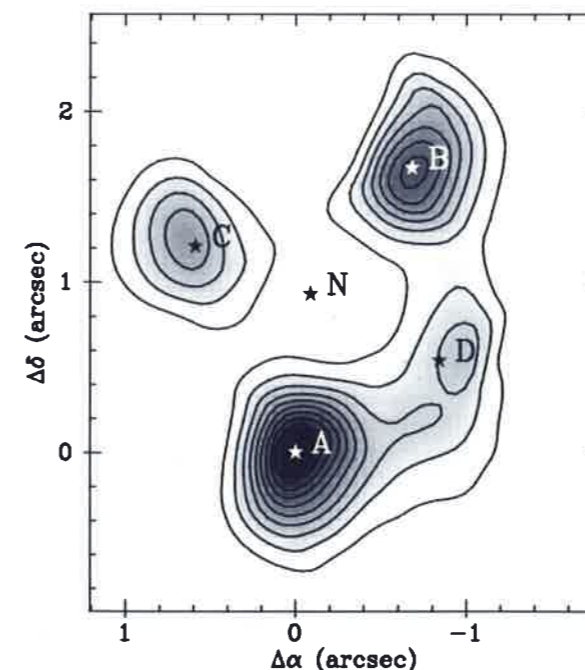


Imagen de la Cruz de Einstein en la línea CIII $\lambda 1909\text{\AA}$ a partir de observaciones con INTEGRAL.

fuente que ha sufrido el efecto de lente gravitatoria debido a la galaxia que actúa como lente. Con el fin de comprobar esta hipótesis desarrollamos un modelo teórico considerando únicamente las posiciones de las imágenes en los mapas del continuo y sin utilizar información alguna concerniente a la emisión extensa. El resultado es que nuestro modelo puede reproducir también de forma cualitativa el arco observado como una imagen de una región circular extensa, centrada en la fuente puntual del continuo, con un radio de unos $400 h^{-1} \text{ pc}$. Este tamaño correspondería a una fracción significativa de la galaxia anfitriona en la que podría estar produciéndose una formación estelar masiva.

Nuestras observaciones aportan un nuevo tipo de lente gravitatoria al dominio observacional. En ellas la galaxia lente está produciendo imágenes de la región de líneas estrechas de la galaxia que alberga al cuásar. Este tipo de estudios pueden permitir resolver la estructura de los cuásares y ayudar a la realización de modelos teóricos de los sistemas lente gravitatoria. Esperamos que trabajos de este tipo estimulen el uso rutinario de INTEGRAL.

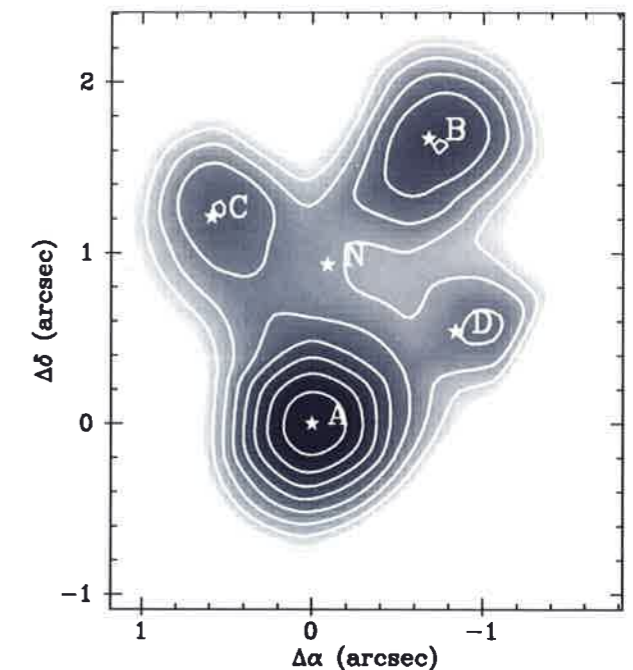


Imagen de la Cruz de Einstein en el continuo a partir de observaciones con INTEGRAL.

ARTÍCULO N. 1.000:
"The two-dimensional spectroscopy reveals an arc of extended emission in the gravitational lens system Q2237+0305",
por E. Mediavilla,
S. Arribas, C. del Burgo,
A. Oscoz, M. Serra-Ricart, D. Alcalde,
E.E. Falco,
J.L. Goicoechea,
B. García-Lorenzo y
J. Buitrago, en
ApJ, 503:L27-L30, 1998
August 10

Fruto de los desarrollos tecnológicos del IAC es el sistema INTEGRAL, un instrumento que ya ha empezado a producir los primeros resultados científicos. Proyecto propuesto, construido y gestionado por el IAC, en el marco de una colaboración internacional con el RGO y el ING, ha tenido como objetivo desarrollar un sistema de espectroscopía bidimensional con fibras ópticas para el telescopio "William Herschel", del Observatorio del Roque de los Muchachos. El nuevo sistema, disponible para la comunidad científica internacional desde 1998, permite realizar de forma simultánea espectroscopía de unas 200 regiones de objetos astronómicos extensos. El investigador principal de este proyecto es el Dr. Santiago Arribas, colaborador del CSIC en el IAC, quien ha sido recientemente elegido por la Agencia Europea del Espacio (ESA) miembro del Equipo Científico que supervisa los estudios de la ESA relativos al NGST (*New Generation Space Telescope*), un telescopio espacial de 8 metros de diámetro que sustituirá al "Hubble" hacia el año 2008.

"INTEGRAL": Un nuevo sistema de espectroscopía bidimensional para el Telescopio "William Herschel"

PARTICIPANTES

Por el IAC:
Santiago Arribas (IP)
Evencio Mediavilla (Co-I)
Adolfo García
Antonio Manescau
José Luis Rasilla
Javier Fuentes
Luis Cavallier
Natividad García
Jose M. Herreros (GP)
Martí Pi
Isabel Escudero
Heidy Moreno
Carlos Martín
Carlos Martínez
Felipe García
Nicolás Sosa
Carlos del Burgo
Begoña García
Ricardo Negrín
Francisco Llárena
Juan José Dionis
Cristóbal Morell
Esteban González
Higinio Gabino
Carlos Adolfo Flores
Juan Calvo
Gabriel Pérez
Ana Frago
Abelardo Díaz
Juan José Perdigón
Gerardo Rodríguez
Agustín Casanova

Por el RGO-ING:
Don Pollacco
Dave Carter (Co-I)
Jonathan Burch
Lewis Jones (GP-RGO)
Bruce Gentles
Paul Rees
Roger Edwards

SANTIAGO ARRIBAS

INTEGRAL es el miembro más reciente de una "saga" de instrumentos desarrollados en el IAC para realizar espectroscopía 2D, basados en el uso de las fibras ópticas. Es descendiente directo de HEXAFLEX y 2D-FIS, sistemas pioneros en el campo de la espectroscopía integral (bidimensional), que han permitido demostrar la potencialidad de esta técnica.

INTEGRAL ya no tiene el carácter experimental de sus antecesores. Es un instrumento de uso común en el telescopio "William Herschel" (WHT) y está, por tanto, disponible de manera rutinaria para toda la comunidad astronómica.

Sus posibilidades observacionales son únicas, al poder combinar simultáneamente imagen y espectroscopía. De hecho, en cada exposición tomada con INTEGRAL se obtienen unos 200 espectros a la vez distribuidos de manera regular, gracias a los cuales es posible generar imágenes de cualquier característica espectral.

Pese a que prácticamente todos los grandes telescopios (HHT, GEMINI, VLT, MMT, SUBARU y, cómo no, GTC) tienen en proyecto instrumentos de este tipo, INTEGRAL es quizás, junto con los sistemas DENSEPAK (Kitt Peak) y ARGUS (CHFT, Hawaii), el único disponible en la actualidad.

Por tanto, INTEGRAL ofrece una oportunidad excepcional a los usuarios del WHT para desarrollar proyectos que, o bien son inabordables o se llevan a cabo de manera muy penosa con otro tipo de técnicas; proyectos que tendrán continuación cuando los telescopios de la clase 8 m, y en particular GTC, entren en operación rutinaria.

Interés científico

Este nuevo sistema permite realizar espectroscopía simultánea de unas 200 regiones de objetos astronómicos extensos. Por tanto, tiene interés en el estudio de AGNs, galaxias, regiones HII, nebulosas planetarias, objetos Herbig Haro, sistemas TTauri, remanentes de supernovas, planetas, cometas, etc.

INTEGRAL está equipado con varios haces de fibras que permiten, de forma rápida y sencilla, adaptar la resolución y cobertura espacial a las condiciones de "seeing" y a las características de los objetos. En particular permite observar un campo de $\sim 7'' \times 8''$ con una resolución de $0,45''$, de $12'' \times 16''$ con $0,9''$, ó $30'' \times 34''$ con $2,7''$ INTEGRAL utiliza el nuevo espectrógrafo WYFFOS, lo que implica una mejora sustancial en términos de eficiencia con relación a sistemas previos.

INTEGRAL ha sido básicamente un proyecto del IAC. No por ello debemos dejar de mencionar la ayuda recibida de

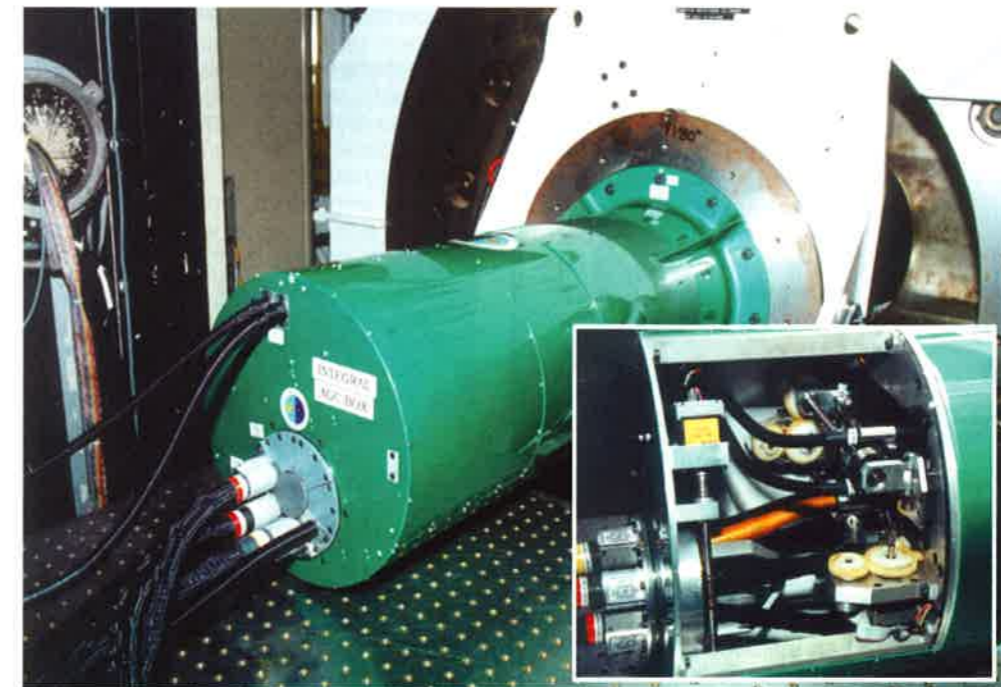
nuestros colegas británicos, que inicialmente y no sin dificultades aprobaron este instrumento para "su" telescopio en reuniones del *Joint Steering Committee* y del *Instrument Working Group* y, posteriormente, se integraron en el proyecto colaborando específicamente en todas las interfases con los sistemas del telescopio y espectrógrafo. Además, serán ellos (el *Isaac Newton Group*) los que asuman en exclusiva la operación del instrumento a partir del próximo semestre. Sin embargo,

INTEGRAL ha sido un proyecto del IAC y no sólo porque la concepción del instrumento, su diseño, fabricación, caracterización, gestión, etc. se hayan realizado en su mayor parte en el IAC, sino también porque en su desarrollo ha intervenido un gran número de compañeros del IAC (*ver relación adjunta*). Gracias a todos ellos y a los servicios generales del IAC han sido posibles los primeros resultados científicos con INTEGRAL. Entre ellos, el artículo 1.000 del IAC.

ORGANIZACIÓN Y FINANCIACIÓN

INTEGRAL es un proyecto inicialmente concebido en el IAC y posteriormente desarrollado en el marco de una colaboración internacional con el *Royal Greenwich Observatory*, Reino Unido y el *Isaac Newton Group* de la Palma. La especificación del instrumento corrió a cargo del consorcio. En el IAC se diseñaron y desarrollaron la mayor parte de los subsistemas mientras que el RGO se responsabilizó de las interfases con el telescopio y el espectrógrafo WYFFOS. El IWG participó activamente en la instalación del instrumento en el telescopio y es responsable único de su operación. Por último, el IAC se responsabilizó de la dirección científica y técnica global del proyecto.

El proyecto contó con el apoyo y la financiación, por parte española de la DGICYT, y por parte británica, del IWG (*Instrument Working Group*) y del JSC (*Joint Steering Committee*).



Sistema de adquisición, guiado y calibración de INTEGRAL, en el telescopio "William Herschel", de 4,2 m, en operación por el Grupo "Isaac Newton", en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

ESTE NUEVO SISTEMA PERMITE REALIZAR ESPECTROSCOPIA SIMULTÁNEA DE UNAS 200 REGIONES DE OBJETOS ASTRONÓMICOS EXTENSOS. POR TANTO, ESTE INSTRUMENTO TIENE INTERÉS EN EL ESTUDIO DE AGNs, GALAXIAS, REGIONES HII, NEBULOSAS PLANETARIAS, OBJETOS HERBIG HARO, SISTEMAS TTAURI, REMANENTES DE SUPERNOVAS, PLANETAS, COMETAS, ETC.

ADEMÁS DEL ARCO DE EMISIÓN DE LA "CRUZ DE EINSTEIN", INTEGRAL HA PERMITIDO PROBAR UNA NUEVA TÉCNICA PARA EL ESTUDIO DE PARES DE OBJETOS CON UNA GRAN DIFERENCIA DE INTENSIDAD ENTRE ELLOS, COMO LA ESTRELLA BINARIA HD 167605, RECIENTEMENTE DETECTADA CON EL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE. TAMBIÉN SE HA APLICADO CON ÉXITO AL ESTUDIO DEL NÚCLEO DE M31 -LA GALAXIA DE ANDRÓMEDA-, AL NÚCLEO DE LA GALAXIA EN INTERACCIÓN NGC 2992, A GALAXIAS INFRARROJAS ULTRALUMÍNICAS Y A LA FUSIÓN DE GALAXIAS.

El telescopio es un colector de fotones que concentra en un punto la luz, muy débil, que nos llega del mundo exterior. En este foco, el astrónomo debe colocar la instrumentación específica para recoger, analizar y extraer la información que transportan las ondas electromagnéticas. El desarrollo de esa instrumentación (espectrógrafos, fotómetros, cámaras, ...) requiere una ingeniería que desarrolle los componentes electrónicos, mecánicos, ópticos y de software necesarios. En esta instrumentación óptica se integra el sistema de fibras ópticas INTEGRAL, desarrollado en el IAC para el telescopio "William Herschel" (WHT), del Observatorio del Roque de los Muchachos. El ingeniero del IAC José Miguel Herreros ha sido el gestor del proyecto.

INTEGRAL, UN INSTRUMENTO DE USO COMÚN

LOS HACES DE OBSERVACIÓN DE INTEGRAL HAN SIDO CONSTRUIDOS CON FIBRAS ÓPTICAS DE LA ÚLTIMA GENERACIÓN, EN CONCRETO SE HAN UTILIZADO FIBRAS QUE INCLUYEN EN SU PROCESO DE FABRICACIÓN UN TRATAMIENTO ESPECIAL CON HIDRÓGENO, LO CUAL HA PERMITIDO MEJORAR CONSIDERABLEMENTE LA RESPUESTA ESPECTRAL EN EL ULTRAVIOLETA MANTENIENDO LAS PROPIEDADES DE TRANSMISIÓN EN EL INFRARROJO.

JOSÉ MIGUEL HERREROS (IAC)
 INTEGRAL es un instrumento de "uso común", lo cual significa que se encuentra disponible para toda la comunidad científica internacional. Tal consideración conlleva el tener que cumplir con una serie de requisitos técnicos que condicionó, en gran medida, su diseño y fabricación. Por otra parte exigió que el instrumento presentara unas características que no son necesarias para los de "uso privado", como son: fiabilidad, robustez, facilidad en la instalación, en el uso y en el mantenimiento; así como disponer de una documentación técnica suficiente para introducir mejoras.

Además de un diseño que permite superar, en gran medida, limitaciones previas, INTEGRAL incorpora tecnología de vanguardia. A modo de ejemplo, utiliza en su sistema de control el bus VME y el sistema operativo VxWorks. El software de control de bajo nivel de INTEGRAL se diseñó con EPICS y con CAPFAST. El primero, un conjunto de herramientas que permiten desarrollar aplicaciones de control y adquisición de datos en tiempo real, y el segundo, una herramienta para desarrollo de software.

El desarrollo del proyecto implicó la investigación en el diseño y la fabricación de nuevos haces de fibras, con el objeto de aprovechar más eficientemente el registro de información espacial y espectral. Los haces de observación de INTEGRAL han sido contruidos con fibras ópticas de la última generación, en concreto se han utilizado fibras que incluyen en su proceso de fabricación un tratamiento especial con hidrógeno, lo cual ha permitido mejorar considerable-

mente la respuesta espectral en el ultravioleta manteniendo las propiedades de transmisión en el infrarrojo.

La construcción de haces tan complejos requirió mejorar los procesos de fabricación y dotar al personal técnico del Taller de Mecánica de una formación y entrenamiento específicos. Como demuestran los resultados, se ha conseguido un alto nivel de capacitación tecnológica. En los sistemas de guiado y de adquisición se han utilizado haces coherentes similares a los empleados en instrumentos previos. Especial mención merece, por su excelente comportamiento, la guía de luz líquida que forma parte del sistema de calibración.

Cabe destacar el concepto de rendija propuesto, así como el proceso seguido en su diseño, desarrollo, fabricación y verificación. El diseño resulta totalmente innovador, ya que se basa en un solo segmento, en contraposición con los actualmente en uso, que son de varios, carece de microlentes y dispone de la curvatura necesaria para cumplir con los requisitos ópticos que impone el espectrógrafo. Es importante indicar que esta curvatura se consigue de forma controlada por medio de un útil mecánico. Su correcto funcionamiento fue comprobado por métodos analíticos y posteriormente confirmado en laboratorio con pruebas ópticas de medida de la degradación focal.

La comprobación del cumplimiento de los requisitos técnicos especificados se llevó a cabo por métodos analíticos y por un exhaustivo plan de pruebas, primero en los laboratorios del IAC y posteriormente en el telescopio. El análisis

estático de la sección principal de la estructura de la caja de adquisición, guiado y calibración se hizo con ANSYS, y la simulación del espectrógrafo WYFFOS para optimizar y verificar el diseño de las rendijas con Code V. Las restricciones geométricas impuestas por el concepto seleccionado requirió de la ayuda de herramientas de diseño 3D con el objeto de poder alojar los distintos mecanismos que forman el conjunto del plano focal.

Filosofía de Modelos

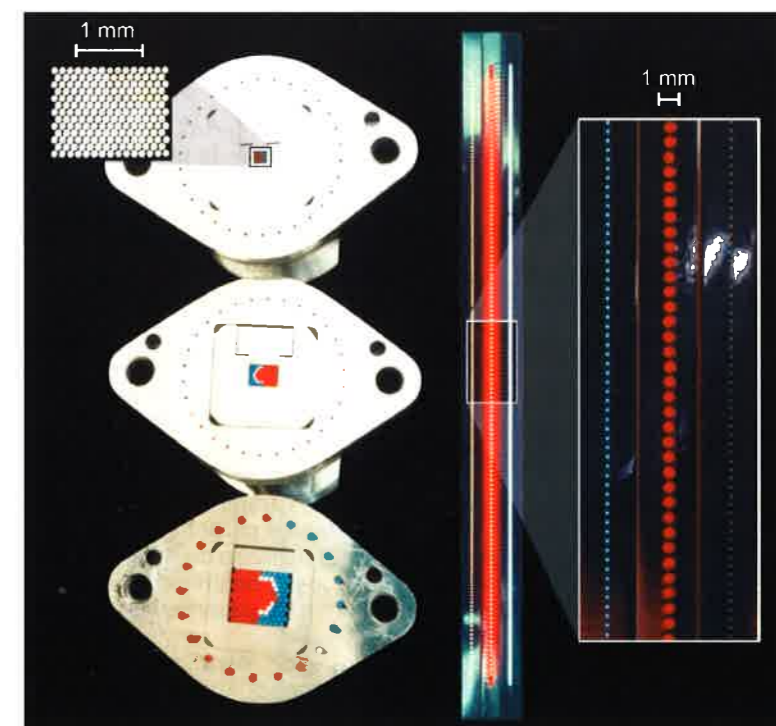
Para disminuir el riesgo asociado al proyecto y permitir identificar lo antes posible los problemas potenciales, se ideó un plan de desarrollo basado en la construcción de tres modelos, en orden de ejecución, dos prototipos no entregables, el DM y el PM, y uno entregable, que fue la versión definitiva del instrumento, el EM. El propósito de cada modelo era bien distinto: el primero, el DM, sirvió para verificar y ayudar en el diseño del mecanismo posicionador de los haces ópticos, comprobar las interfaces mecánicas y geométricas con el telescopio, determinar las longitudes de los haces y estudiar su comportamiento al girar el rotador mecánico del foco Nasmyth. El segundo, el PM, era totalmente representativo del EM, pero se diferenciaba en que no disponía de los dos haces especiales que llamamos "experimentales". Su propósito era, por un lado, verificar el diseño mecánico, eléctrico, óptico y software del instrumento completo y, por otro, validar los equipos y procedimientos de pruebas a ambos niveles del desarrollo, en el laboratorio y en el WHT.

Desarrollo

En septiembre de 1994 se inició el proyecto con las fases A/B: Definición y Conceptual. Durante el primer semestre de 1995 se redactó y presentó la propuesta al JSC. En mayo INTEGRAL quedó formalmente aprobado. Con el "Kick Off", en junio, comenzó la fase más importante, la C: Diseño y Desarrollo. A finales de 1996 concluyó esta etapa con unas pruebas muy satisfactorias en el WHT. En enero de 1997 se inicia la fase D: Producción e Instalación, que finalizó con el "commissioning" en julio de 1997. Con la entrega al ING ese mismo mes, INTEGRAL concluyó, según lo previsto, su fase de ingeniería dando paso a la fase E: Explotación Científica y Mantenimiento.

Conclusiones

En términos generales, el proyecto se desarrolló conforme a lo previsto. Cumplir con las fechas establecidas no fue una tarea fácil, si bien existieron retrasos en actividades concretas, éstos no afectaron a los compromisos programáticos acordados en la reunión de "Kick Off", en concreto la fecha de entrega del instrumento al ING. Por otra parte, la ejecución del presupuesto se realizó sin desviaciones significativas. De la evaluación preliminar de los resultados del "commissioning", así como de los obtenidos durante el desarrollo del instrumento, podemos concluir que éste se encuentra conforme a lo especificado, si bien existe una no conformidad importante, la degradación de la razón focal de las fibras es superior a lo esperado. Aunque se cree conocer la causa más probable, el origen del problema queda aún por determinar. Otras no conformidades menores también aparecieron y fueron corregidas en 1998. Es importante indicar que finalmente los haces "Experimentales" tuvieron que ser cancelados por no ser técnicamente viable su desarrollo.



En la foto, los tres haces de observación de INTEGRAL con sus rendijas y terminales del plano focal. Los haces están formados por fibras con núcleos de 100, 200 y 600 micras, que equivalen sobre el cielo a 0.45, 0.90 y 2.70 segundos de arco respectivamente.

Entender el origen de los diferentes elementos químicos es un objetivo fundamental de la astrofísica moderna. Algunos de estos elementos resultan especialmente importantes por sus implicaciones en aspectos básicos como, por ejemplo, los modelos aceptados hoy en día para la formación del Universo. Entre ellos podemos mencionar los elementos ligeros litio, berilio y boro. Este último ha sido el menos estudiado de los tres debido a que las líneas de absorción estelares asociadas a este elemento y sus iones se producen en el ultravioleta, una porción del espectro electromagnético que no es detectable desde la Tierra. Durante las décadas de los 70 y 80 se obtuvieron las primeras evidencias de abundancias estelares de boro haciendo uso de datos procedentes de los satélites "Copernicus" e IUE (*International Ultraviolet Explorer*). Pero no ha sido hasta la puesta en órbita en la década de los 90 del telescopio espacial "Hubble", equipado con el espectrógrafo de alta resolución GHRS, cuando se ha abierto la puerta a la medida sistemática de abundancias de este elemento en estrellas de distinto tipo y estado evolutivo. Se presentan aquí los resultados del análisis de abundancias llevado a cabo sobre los datos obtenidos a partir de la primera propuesta liderada por un investigador español que obtuvo tiempo de observación en el "Hubble".

ABUNDANCIAS DE BORO EN ESTRELLAS MUY VIEJAS DE LA GALAXIA

Evidencia de procesos de nucleosíntesis en el medio interestelar en épocas muy tempranas de su evolución

RAMÓN J. GARCÍA LÓPEZ (IAC)

Los cálculos sobre la producción de elementos químicos (nucleosíntesis) en el marco del modelo estándar para la Gran Explosión no predicen cantidades primordiales (generadas durante los primeros instantes del Universo) significativas de berilio y boro, y se considera que estos elementos se forman a través de reacciones que tienen lugar en el medio interestelar. Dos modos de nucleosíntesis de boro compiten, en teoría, por su primacía: (1) reacciones de "astillado" producidas al interaccionar partículas muy energéticas (protones y partículas alfa) con núcleos de carbono, nitrógeno y oxígeno, y (2) astillado de núcleos de carbono inducido por neutrinos procedentes de explosiones de supernovas.

Existen, por otra parte, modelos "inhomogéneos" alternativos al modelo estándar que sugieren una producción primordial de estos dos elementos en cantidades que serían observables en las primeras generaciones de estrellas formadas tras la Gran Explosión, aun-

que esta posibilidad ha sido cuestionada en sus bases teóricas.

Medidas llevadas a cabo a principios de los años 90 en tres estrellas viejas, "pobres en metales", de diferentes edades, pusieron de manifiesto que la abundancia de boro ha ido aumentando continuamente a lo largo de la evolución de nuestra galaxia de una forma similar a la observada en el caso del berilio (para el que existe un considerable número de medidas). Las estrellas menos metálicas son, en general, las más antiguas ya que la inmensa mayoría de los elementos químicos han sido generados en el interior de las estrellas y expulsados luego al medio interestelar, enriqueciéndolo, con lo que cada nueva generación de estrellas contendrá en su interior ciertas cantidades de los metales producidos por la generación precedente. El estudio de la evolución de la abundancia de boro ha sido extendido a otras estrellas pobres en metales en los últimos años, consolidándose las tendencias observadas inicialmente. Ello sugiere, en principio, que un mismo tipo de mecanismo debe-

ría ser el principal responsable de la formación de ambos elementos en nuestra galaxia.

Tal y como se recoge en un artículo publicado con anterioridad en *IAC Noticias* (N. 1-1995, pág. 6), un grupo de investigadores expertos en la medida de abundancias químicas estelares, pertenecientes a diversos centros internacionales (entre los que nos encontramos dos investigadores del IAC), obtuvo tiempo de observación en el telescopio espacial con el objetivo de determinar la abundancia de boro en dos estrellas seleccionadas cuidadosamente para imponer restricciones observacionales precisas a los modelos. Durante las observaciones, que fueron llevadas a cabo el 4 de agosto de 1995 y el 21 de marzo de 1996, respectivamente, obtuvimos espectros de gran calidad de la región situada alrededor de la línea B I 2497 Å para las estrellas BD +23 3130 y HD 84937. Haciendo uso de un análisis de abundancias muy detallado (en el que utilizamos dos familias independientes de modelos de atmósfera

y tuvimos en cuenta consistentemente los mecanismos de formación de la línea en ausencia de equilibrio termodinámico local -ETL-), estimamos las abundancias de nuestras dos estrellas (véase la Fig. 1) así como de todas las demás que habían sido observadas y estudiadas previamente.

A través de este análisis hemos encontrado que resulta difícil obtener estimaciones precisas de la abundancia de boro para estrellas con altas temperaturas efectivas (en las que la mayor parte del boro se encuentra en estado ionizado y la línea observada se hace muy débil) y bajas metalicidades. Este es el caso de la estrella HD 84937 (con una temperatura próxima a los 6.000 grados y un contenido en metales unas 200 veces inferior al del Sol), que había sido elegida por tratarse de un objeto muy estudiado en diversos aspectos, en particular por el buen conocimiento existente de las abundancias de varios isótopos asociados a otros elementos ligeros. Este resultado indica también que algunas de las medidas previas publicadas para estrellas con

LOS RESULTADOS DE NUESTRO TRABAJO, QUE FUERON PUBLICADOS EN LA REVISTA ESPECIALIZADA *THE ASTROPHYSICAL JOURNAL* EL PASADO MES DE JUNIO, DIBUJAN UN ESCENARIO CONSISTENTE PARA LA SÍNTESIS DE BORO Y BERILIO EN UN AMPLIO INTERVALO TEMPORAL DE LA EVOLUCIÓN DE NUESTRA GALAXIA SIN NECESIDAD DE MODIFICAR EL MODELO ESTÁNDAR PARA LA GRAN EXPLOSIÓN.

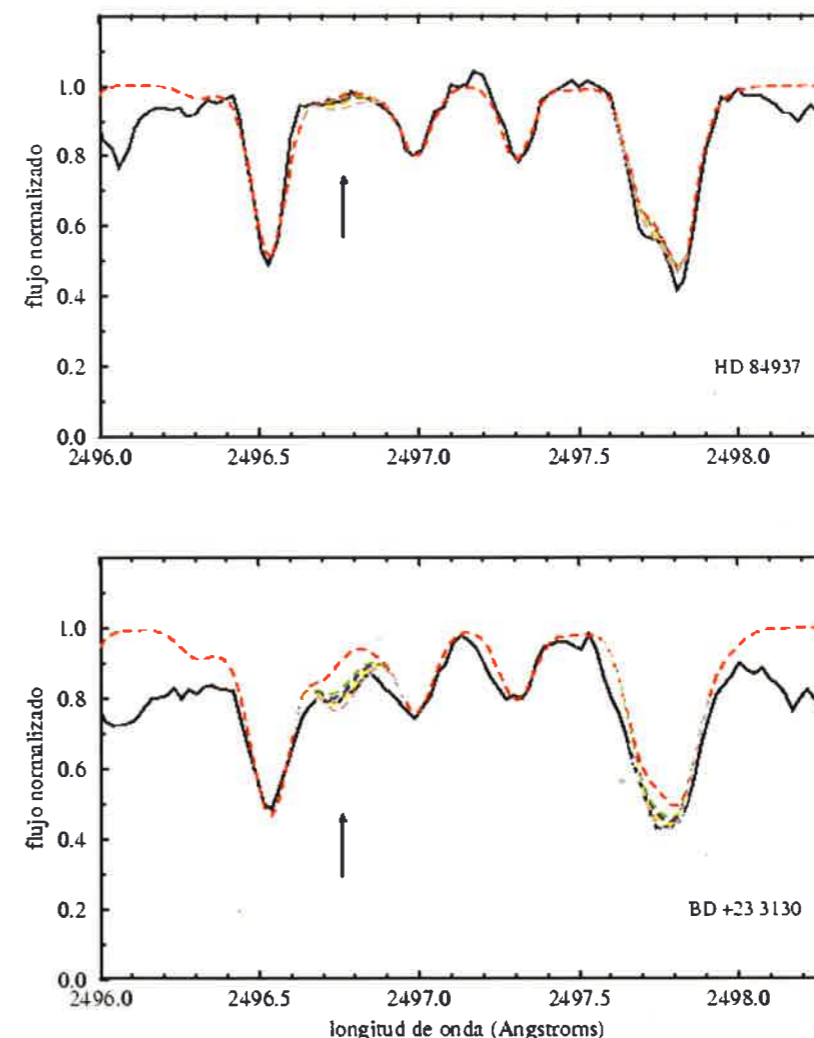


Fig. 1. Espectros de la región alrededor de la línea B I 2497 Å observados en dos estrellas pobres en metales usando el Telescopio Espacial Hubble. Las líneas a trazos representan diferentes espectros sintéticos calculados para distintas abundancias de boro.

MEDIDAS LLEVADAS A CABO A PRINCIPIOS DE LOS AÑOS 90 EN TRES ESTRELLAS VIEJAS, "POBRES EN METALES", DE DIFERENTES EDADES, PUSIERON DE MANIFIESTO QUE LA ABUNDANCIA DE BORO HA IDO AUMENTANDO CONTINUAMENTE A LO LARGO DE LA EVOLUCIÓN DE NUESTRA GALAXIA DE UNA FORMA SIMILAR A LA OBSERVADA EN EL CASO DEL BERILIO (PARA EL QUE EXISTE UN CONSIDERABLE NÚMERO DE MEDIDAS).

EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA ABUNDANCIA DE BORO HA SIDO EXTENDIDO A OTRAS ESTRELLAS POBRES EN METALES EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, CONSOLIDÁNDOSE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS INICIALMENTE.

CO-INVESTIGADORES:

David L. Lambert (Universidad de Texas, EEUU)

Bengt Edvardsson (Observatorio Astronómico de Uppsala, Suecia)

Dan Kiselman (Real Academia de Ciencias, Observatorio de Estocolmo, Suecia)

Rafael Rebolo (IAC)

estas características deben ser consideradas sólo como límites superiores a la abundancia, pero sin una estimación precisa. Teniendo en cuenta este hecho, la estrella más pobre en metales para la que se tiene una medida firme de su abundancia de boro es BD +23 3130 (alrededor de 5.000 grados y con unas 800 veces menos metales que el Sol), precisamente uno de los dos objetos observados por nosotros y que había sido especialmente elegida para soslayar estas dificultades.

Con estas restricciones disponemos en total de siete estrellas viejas (con metalicidades comprendidas entre 10 y 800 veces inferior al caso solar) con medidas fiables de su abundancia de boro. Todas estas estrellas están incluidas en una amplia muestra de estrellas pobres en metales para las que hemos estimado sus abundancias de berilio (a partir de espectros obtenidos en el telescopio "William Herschel" del Observatorio del Roque de los Muchachos) haciendo uso de un análisis completamente consistente con el llevado a cabo para el caso del boro. La Fig. 2 muestra la comparación de la evolución de las abundancias de ambos elementos al aumentar la metalicidad (yendo de estrellas más viejas hacia más jóvenes). La dependencia lineal observada, con una pendiente similar para el boro y el berilio, apunta claramente hacia las reacciones de astillado de protones y partículas alfa con partículas energéticas enriquecidas en carbono, nitrógeno y oxígeno como las prin-

cipales responsables del origen de los mismos en las estrellas más antiguas de la Galaxia. La razón boro/berilio encontrada (con un valor en torno a 20), y que permanece constante para todo el conjunto de estrellas estudiadas, se ajusta realmente bien a las predicciones teóricas.

Los resultados de nuestro trabajo, que fueron publicados en la revista especializada *The Astrophysical Journal* el pasado mes de junio, dibujan un escenario consistente para la síntesis de boro y berilio en un amplio intervalo temporal de la evolución de nuestra galaxia sin necesidad de modificar el modelo estándar para la Gran Explosión. Sería muy importante poder extender estas medidas a estrellas cada vez más viejas, de manera que pudiésemos verificar o no la existencia predicha de abundancias primordiales de estos elementos (que serían muy inferiores a las detectadas hasta ahora). Aunque se conocen estrellas menos metálicas (más viejas) que BD +23 3130, no va a ser fácil extender las medidas de boro a las mismas ya que la mayor parte de ellas son más calientes (con lo que será más difícil la medida), y las que tienen una temperatura similar son generalmente más débiles y requerirían tiempos de exposición prohibitivamente mayores con el telescopio espacial. La llegada de una nueva generación de telescopios espaciales con mayor superficie colectora de fotones e instrumentación aun más sensible se perfila como el camino más adecuado para alcanzar estos objetivos.

La *Nebulosa del Anillo*, en la constelación de la Lira, es una de las nebulosas planetarias más brillantes y, posiblemente, de las más famosas. Situada a una distancia de 650 parsecs (2.000 años-luz), su característica forma de anillo puede ser observada en las noches de verano incluso con telescopios de aficionados de pequeña apertura. Sin embargo, a pesar de haber sido muy estudiada, aún quedan aspectos muy importantes por conocer de esta singular planetaria. Una investigación realizada por investigadores del IAC establece la estructura tridimensional de esta nebulosa mediante un profundo análisis de su cinemática y aborda aspectos novedosos como el estudio de la región de fotodisociación del hidrógeno.

UNA NUEVA VISIÓN DE LA NEBULOSA DEL ANILLO

MARTÍN A. GUERRERO Y
EVA VILLAVER (IAC)

Durante la mayor parte de su vida, las estrellas de masa baja e intermedia han obtenido, de la fusión de hidrógeno y helio en su interior, la energía suficiente para soportar su peso y evitar su propio colapso gravitatorio. Finalmente, este equilibrio queda roto y la estrella expulsa sus envolturas externas, quedando reducida a un núcleo compacto y terriblemente caliente. El material gaseoso expulsado, que formaba antes la envoltura estelar, es ahora ionizado por los restos de la estrella central, al tiempo que es barrido violentamente por fuertes vientos estelares: se ha formado una nebulosa planetaria,

un fugaz y bello epílogo en la evolución de las estrellas de masa baja e intermedia... y es ahora cuando nosotros estudiamos las propiedades de estas nubes de gas ionizado para comprender mejor los últimos estadios de la evolución estelar en este rango de masas.

La Nebulosa del Anillo (figura 1), en la constelación de la Lira, es una de las nebulosas planetarias más brillantes y, posiblemente, de las más famosas. Situada a una distancia de 650 pc, su característica forma de anillo puede ser observada en las noches de verano incluso con telescopios de aficionados de pequeña apertura. Con telescopios de mayor

LA ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL DE LA NEBULOSA DEL ANILLO RESULTÓ SER UNA CAPA ELIPSOIDAL RODEADA POR UN HALO ESFÉRICO FORMADO POR EL VIENTO EXPULSADO DURANTE LA FASE DE GIGANTE ROJA.

Fig. 2. Abundancias de boro y berilio frente a metalicidad. La gráfica recoge las medidas de boro existentes para estrellas con metalicidades inferiores a 10 veces el valor solar ($[Fe/H] < -1$), así como las de algunas estrellas más ricas en metales para su comparación. El círculo y el triángulo en negrita representan, respectivamente, la medida de boro efectuada en BD +23 3130 y el límite superior encontrado para HD 84937. La línea continua muestra un ajuste a las estrellas con temperaturas efectivas inferiores a 6.000 grados y $[Fe/H] < -1$. Los rombos y cuadrados en negrita corresponden a medidas de berilio realizadas en una amplia muestra de estrellas (entre las que están incluidas aquellas que disponen de medidas de boro), y la línea a trazos es el ajuste encontrado a todas las medidas con $[Fe/H] < -1$. Nótese el incremento lineal, con una misma pendiente, de las abundancias de ambos elementos al aumentar la metalicidad.

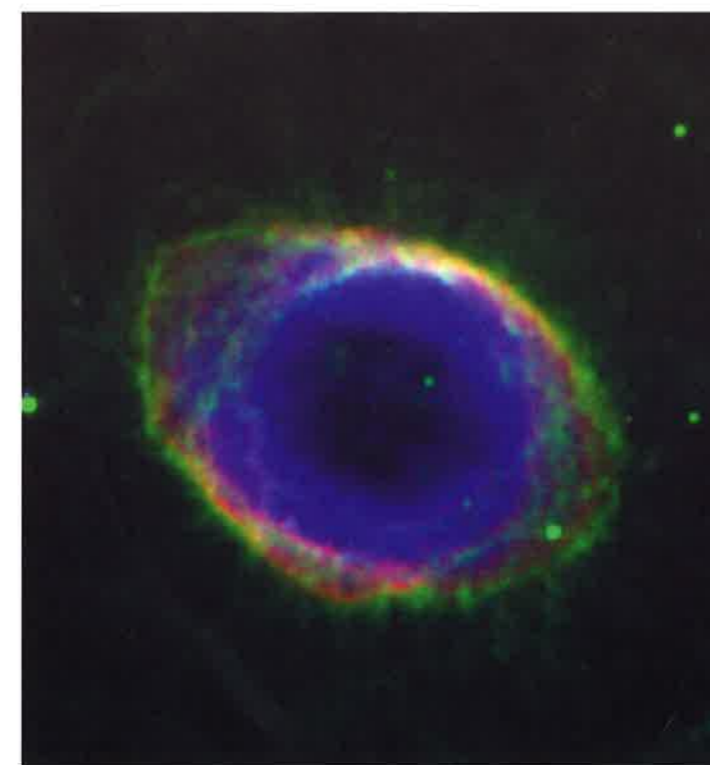
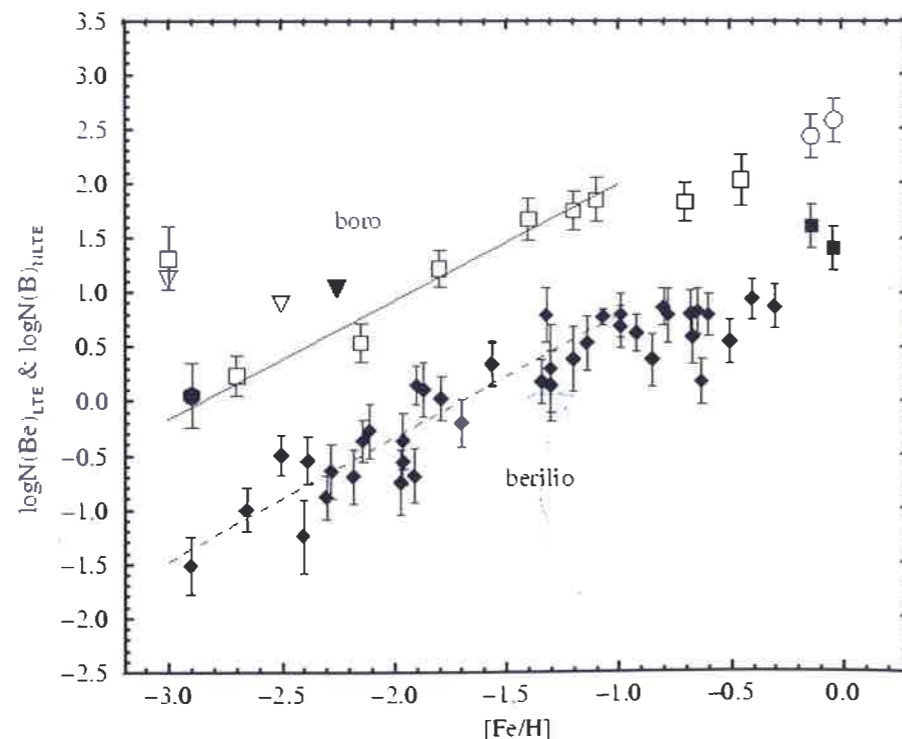


Figura 1: Imagen en falso color de la Nebulosa del Anillo y su halo interno obtenida al combinar imágenes monocromáticas en las líneas de [N II] (rojo), [O III] (azul) e H₂ (verde). Para ello se utilizó el telescopio NOT, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), y el telescopio de 2,2 metros del Observatorio de Calar Alto (Almería). El norte está arriba y el este a la izquierda.

metro, pronto se hace tangible la diferente matización del gas nebuloso: azulado en la parte central, debido a la emisión del oxígeno ionizado dos veces; enrojecido en los contornos, donde predomina la emisión de hidrógeno y de nitrógeno una vez ionizado. La estrella central, muy azul debido a su alta temperatura (117.000 K), necesita ser observada con grandes telescopios dada su baja luminosidad. Más débil aún es el tenue halo que envuelve la parte central más brillante, formado por una serie de estructuras en forma de pétalos y rodeada por un extenso halo circular.

Siendo una de las nebulosas planetarias más cercanas y brillantes, la Nebulosa del Anillo ha sido estudiada en infinidad de trabajos, usando muy diferentes técnicas y procedimientos. Su morfología anular, en cuyo centro se observa la presencia de una estrella azul, la han convertido en arquetipo de las nebulosas planetarias clásicas. Resulta, por tanto, asombroso que cuestiones tan básicas, como determinar cuál es su estructura tridimensional, aún no hayan sido resueltas de forma satisfactoria. Para algunos investigadores, la existencia de moléculas de H₂ y de CO en los alrededores sugiere que la Nebulosa del Anillo es realmente un anillo o toroide. La estructura de pétalos que rodea la nebulosa es entonces interpretada como una nebulosa bipolar que fuese vista a lo largo del eje polar.

Con el propósito de discernir la estructura real de esta magnífica nebulosa planetaria, A. Manchado y M. A. Guerrero, en colaboración con la doctora Y.-H. Chu, de la Universidad de Illinois, inicia-

ron un estudio exhaustivo de sus abundancias químicas y de su cinemática. En este estudio se prestó especial atención a las posibles variaciones entre la parte central de la nebulosa y los halos que la rodean. Los resultados de este trabajo, recientemente publicados en *The Astrophysical Journal*, muestran que las abundancias químicas son homogéneas, tanto en la parte central, como en las diferentes estructuras externas. No se encontró un enriquecimiento de nitrógeno o helio del halo interno, como se esperaba en el caso de una nebulosa bipolar para cuyas estrellas centrales los modelos predicen un enriquecimiento superficial importante. Por otra parte, la cinemática de la parte central se interpreta, sin lugar a dudas, dentro de un esquema de capa elipsoidal en expansión inclinada en la dirección del eje mayor de la nebulosa central (figura 2). La superficie de esta capa se está disgregando y el material impacta el halo que la rodea. Esto explica las diferencias morfológicas halladas entre los halos internos y externos, aún cuando sus similares propiedades químicas y cinemáticas apuntan a un origen común, el viento de la gigante roja progenitora.

En conclusión, este estudio no apoya la hipótesis bipolar. En lugar de ello, se propone que la Nebulosa del Anillo es una capa elipsoidal rodeada por un halo esférico formado por el viento expulsado durante la fase de gigante roja. De los polos del elipsoide escapa material en forma de burbujas cuya interacción con el halo, en combinación con una excitación anisotrópica produce la morfología en forma de pétalos observada en el halo in-

diaterno. La figura 2 muestra un esquema del modelo propuesto para la Nebulosa del Anillo. Dicha figura representa la estructura de la nebulosa como se vería si diésemos un corte en un plano a lo largo del eje mayor.

En el marco de un proyecto más amplio, cuyo objetivo es comparar la morfología del material ionizado y del hidrógeno molecular de más de 40 nebulosas planetarias bipolares y elípticas, obtuvimos una imagen de la Nebulosa del Anillo en infrarrojo cercano en la línea de hidrógeno molecular, H₂. Uno de los objetivos de este programa, para lo que contamos con la colaboración del profesor del CSIC José Cernicharo, es el análisis de la región de fotodisociación. Es justo en esta región donde el hidrógeno molecular, apantallado de la emisión UV de la estrella central por la mayor densidad del material en el ecuador, aún no se ha fotodisociado. De este modo, es posible determinar las escalas típicas de estas regiones y deducir parámetros asociados al campo de radiación, y la densidad y temperatura del material, para así establecer la física de la disociación del hidrógeno.

Para dicho análisis, resulta de gran utilidad la comparación entre el perfil espacial en diferentes direcciones de la línea de H α , [N II] y H₂ como trazadores del grado de ionización del material. En la figura 3 se han representado dichos perfiles espacia-

les para las líneas de H α (azul), [N II] (rojo) y H₂ (verde). Se aprecia cómo en el eje menor el máximo en el perfil de H₂ aparece en torno a 1" más afuera que el de [N II], mientras que el máximo en H α se encuentra 2" más al interior. A una distancia de 650 pc, esto significa que en una escala en torno a 10¹⁶ cm se disocia el hidrógeno y en 2x10¹⁶ cm se ioniza completamente. En el eje mayor la situación (como la morfología de esta nebulosa) es más confusa, existiendo regiones donde, debido a efectos de proyección, parecen coexistir la emisión de hidrógeno molecular e ionizado. Las imágenes ópticas en [N II], [O III] e H₂ se combinaron para generar una imagen en falso color que nos da información directa de la distribución del material ionizado ([O III], azul), de la región de baja ionización ([N II], rojo), y de la zona de material molecular (H₂, verde). La figura 1, donde se presenta esta imagen, resulta altamente ilustrativa: la emisión central es dominada por el material de alta ionización; la emisión de baja ionización ([N II]) queda confinada a una fina capa, inmediatamente envuelta por la emisión de hidrógeno molecular. En todo el anillo se aprecia la existencia de regiones compactas de muy baja o nula ionización que sobreviven al intenso campo de radiación circundante. La emisión del halo interno es muy intensa en la línea de H₂, confirmando la alta importancia de la excitación por choques de dicha región.

SE HAN DETERMINADO LAS ESCALAS TÍPICAS DE LA REGIÓN DE FOTODISOCIACIÓN DEL HIDRÓGENO, LO QUE PERMITE INVESTIGAR LA FÍSICA DE ESTE PROCESO EN LAS NEBULOSAS PLANETARIAS.

INVESTIGADORES:

- José Cernicharo (CSIC, Inst. de Estructura de la Materia)
- You-Hua Chu (Depto. de Astronomía, Univ. de Illinois, EEUU)
- Pedro García-Lario (ESA, ISO Center, Vilspa)
- Martín A. Guerrero (IAC)
- Arturo Manchado (IAC)
- Eva Villaver (IAC)
- Francisco Prada (UNAM, Ensenada, México)

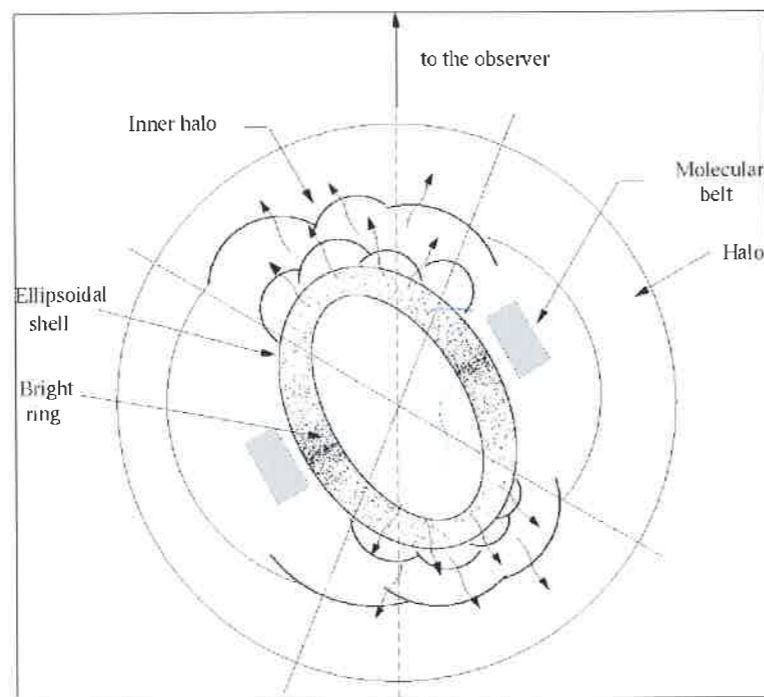


Figura 2: Esquema de la estructura propuesta para la Nebulosa del Anillo, englobando la parte central brillante y su halo. Extraída de Guerrero, Manchado & Chu (1997, ApJ 487, 328).

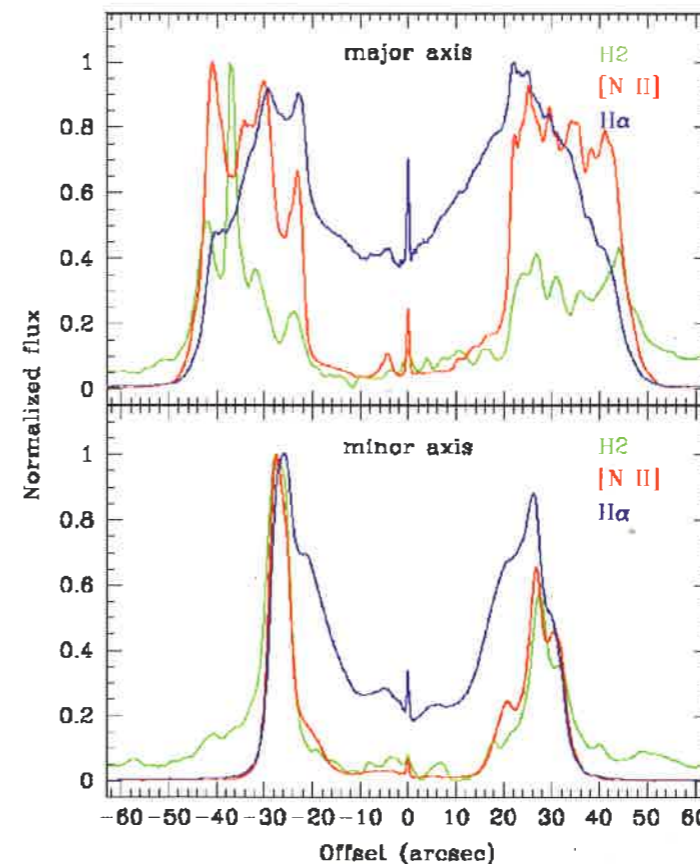


Figura 3: Cortes espaciales a lo largo del eje mayor (arriba) y menor (abajo) de la Nebulosa del Anillo en las líneas de [N II] (rojo), H α (azul) y H₂ (verde).

Investigadores del IAC y de la Facultad de Medicina de la Universidad de La Laguna (ULL) han desarrollado un dispositivo capaz de generar señales acústicas con información espacial tridimensional al objeto de que una persona pueda lograr una percepción del espacio que le rodea sin apoyarse en la visión. Esto es posible porque tanto las imágenes como los sonidos son consecuencia de una transmisión de fenómenos a distancia mediante soporte físico ondulatorio, lo cual permite la captación de las características físicas del espacio que nos rodea, una vez activados los mecanismos neuronales que el cerebro humano utiliza para ello. El proyecto ha contado con la financiación del propio IAC, la Universidad de La Laguna, el Gobierno de Canarias, la Unión Europea, el IMSERSO y la colaboración de la ONCE. El coste total del proyecto asciende a 80.000.000 ptas. y el plazo de ejecución ha sido de tres años.



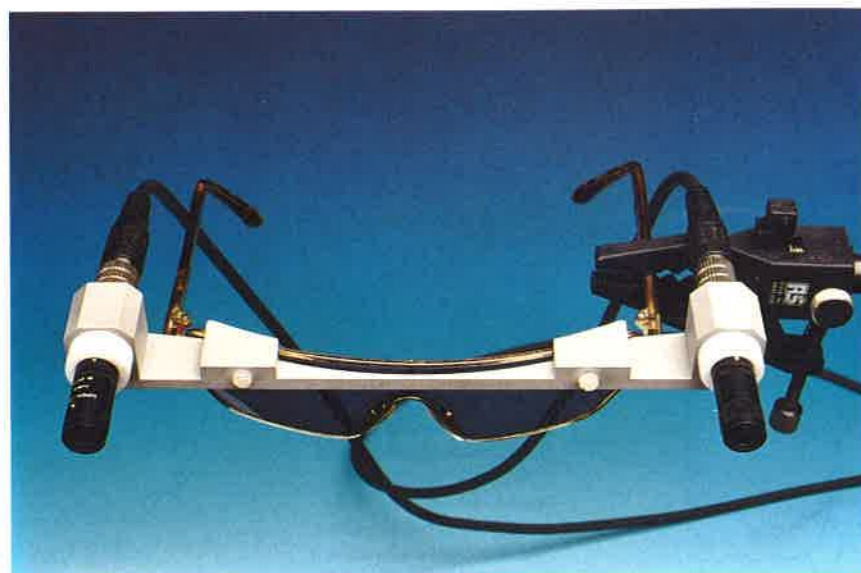
CREADO UN ESPACIO ACÚSTICO VIRTUAL DE APLICACIÓN MÉDICA EN PERSONAS CIEGAS

Desarrollado por investigadores del IAC y de la Universidad de La Laguna

En este proyecto se ha desarrollado un prototipo que capta información tridimensional a partir de imágenes digitalizadas, además de otras características físicas (color, textura...). Esta información se transforma posteriormente a parámetros sonoros espacializados, generándose así de cara al sujeto un espacio acústico virtual representativo del entorno. Todo este proceso se realiza en tiempo real, es decir, a la velocidad suficiente para que los mecanismos neuronales de percepción permitan el aprendizaje mediante la interacción del sujeto con su entorno.

La idea intuitiva que puede servir de base para ilustrar el objetivo propuesto se puede expresar como un intento de emular informáticamente la continua llegada de información al cerebro, a través de la visión, procedente del espacio que nos rodea y transportada en la luz que ilumina nuestro entorno. En este esquema, las imágenes del entorno se forman en la retina a partir de la luz que proviene de los objetos y son procesadas por el cerebro hasta alcanzar la percepción espacial del entorno. La analogía que se propone consiste en simular que los objetos que nos rodean son capaces de generar información sonora, que "suenen", y que esos sonidos percibidos como procedentes del exterior al sujeto, mediante la utilización de funciones de transferencia descriptivas de la posición de la cabeza (HRTF), contengan suficiente información para provocar la percepción del entorno. Esta simulación generaría un resultado análogo al que se obtendría de llenar los objetos (por ejemplo, paredes, puertas, ventanas, sillas,...) con pequeños altavoces que generasen sonidos representativos de sus cualidades físicas. Su audición en conjunto permitiría formarse una idea de cómo es el espacio que rodea al sujeto, de forma que este complejo escenario acústico le permita desenvolverse de modo conceptualmente análogo a si lo estuviera viendo.

Como es sabido, en personas ciegas la información visual no se recibe a nivel cortical. La mayor parte de la información del entorno es de procedencia sonora y



Prototipo de "gafas". En la imagen superior, Sala de Experimentación.

somatosensorial. En este proyecto, la información sonora con alto contenido espacial, reemplaza a la información visual, creándose la percepción del espacio mediante otros sentidos con escasa información procedente del exterior. Este desarrollo posibilita la entrada masiva de información tridimensional procedente del exterior e, incluso, en ciegos con corteza visual aún funcionante, cegueras con duración aproximadamente inferior a 1,5

años, se ha conseguido estimular la corteza visual utilizando posiblemente vías neuronales de asociación multisensorial relacionados fundamentalmente con la corteza visual. De esta forma, en estas personas la información espacial generada se percibe como información visual (fosfenos), que a diferencia de la información visual procedente de la retina carece de color, refiriéndola los ciegos como similar a la anterior visión que recuerdan.

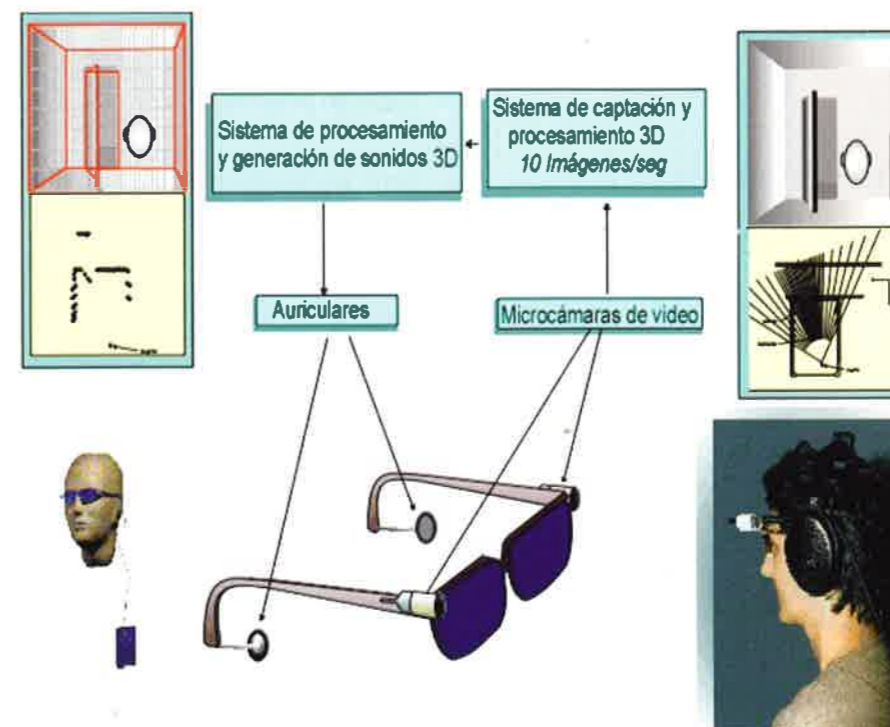
DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROTOTIPO

El sistema construido consta de tres partes básicas. Un sistema de visión artificial, un sistema de generación de sonidos tridimensional y una interfase de control. De esta forma, el sistema a construir se dividirá desde el punto de vista conceptual en el Subsistema de Captación, el Subsistema de Generación de Sonidos y el Subsistema de Control y Usuario.

El subsistema de captación o sistema de visión artificial registra las formas del entorno del sujeto mediante dos microcámaras de vídeo situadas en la cabeza a la altura de los ojos, colocadas adecuadamente sobre un soporte diseñado al efecto. La señal de estas cámaras se conduce hasta el subsistema que procesa la información y obtiene una descripción informática de dicho entorno, utilizando para ello los algoritmos de visión artificial en un laboratorio de ensayos acondicionado para este proyecto y funcionando en tiempo real, es decir, extrayendo del orden de diez mapas de profundidades por segundo.

El subsistema de generación de sonidos sintetiza un espacio acústico virtual capaz de crear la percepción de los objetos que rodean al sujeto. Esto se consigue a través de unos auriculares que también forman parte del soporte que lleva la persona ciega, utilizando para ello las funciones de transferencia descriptivas de la cabeza (HRTF) que se han medido previamente para cada sujeto en particular.

El prototipo desarrollado se encuentra aún en fase de pruebas y los investigadores responsables del proyecto esperan lograr un modelo portátil lo suficientemente cómodo y autónomo para que pueda ser manejable en un futuro próximo.



Esquema de funcionamiento del sistema.

PARTICIPAN EN EL PROYECTO:

- Luis Fernando Rodríguez (IAC)
- José Luis González Mora (ULL)
- Antonio Rodríguez (ULL)
- Hareesh Chulani (IAC)
- Luis Díaz Saco (IAC)
- Nicolás Sosa García (IAC)

Actualmente se conoce una gran variedad de clases de estrellas pulsantes, desde las Cefeidas que nos permiten calibrar la escala de distancias del Universo, hasta el mismo Sol, cuya variabilidad es conocida desde hace apenas treinta años pero que ha revolucionado el conocimiento del interior de nuestra estrella más cercana. A semejanza de su aplicación en los movimientos sísmicos terrestres, la Sismología Estelar trata de obtener información del interior de las estrellas por medio de sus pulsaciones, también llamados modos de oscilación. Se han realizado intentos más o menos fructíferos sobre diversos tipos de estrellas pulsantes, cuyo mayor exponente son las enanas blancas pulsantes, en las que es posible determinar con gran precisión su masa, radio y estratificación química. Dentro del proyecto de investigación del IAC dedicado a Sismología Estelar, los autores del siguiente trabajo pretenden aplicar las mismas herramientas sobre estrellas de Secuencia Principal no peculiares y, por tanto, más fáciles de modelar teóricamente, como son las variables δ Scuti.

ESTRELLAS δ SCUTI EN EL CÚMULO DEL PESEBRE

Un laboratorio para estudiar la estructura y evolución de las estrellas

MARIO HERNÁNDEZ CORUJO (IAC)

Las estrellas variables δ Scuti pertenecen a tipos espectrales A-F con masas típicas entre 1,5 y 2,5 M_{\odot} (masas solares) que son susceptibles de pulsar al encontrarse en una franja de inestabilidad en el diagrama HR producida por un mecanismo de excitación llamado mecanismo κ o de válvula. Éste produce retenciones y liberaciones continuas de energía debidas a cambios en la opacidad, producidos en la capa de ionización

del Helio. Su amplitud de oscilación puede variar desde décimas de magnitud hasta el límite instrumental ($\sim 0,1$ mmag) con períodos que van, típicamente, desde 30 minutos (~ 500 mHz) hasta 5 horas (~ 50 mHz). Un espectro típico de pulsación de una estrella δ Scuti se presenta en la figura 1.

El procedimiento a seguir para conseguir información estelar a partir de los modos observados es, en principio, simple: una vez conocidos observacionalmente los valores de temperatura efectiva y luminosidad de la estrella dentro de una caja de error, se intenta reproducir las frecuencias observadas mediante los modos teóricos correspondientes a modelos estelares con parámetros acordes con la caja de error. No se trata sólo de confrontar los dos conjuntos de modos, sino que, además, cada modo de oscilación se caracteriza por una terna de valores (n, l, m) que deben coincidir uno a uno entre el modo observado y el teórico.

Es aquí donde comienzan a surgir los problemas en la aplicación de las herramientas sismológicas sobre nuestras estrellas. Por una parte, el número de modos observados es mucho menor que el previsto teóricamente. Esto puede ser debido bien a que dichos modos se encuentran inmersos en el ruido o a que se ejercen mecanismos de selección, hoy en día desconocidos, sobre el espectro de pulsación estelar. Este hecho influye en la determinación de los valores (n, l, m) característicos de cada modo observado. En el caso solar o el de algunas enanas

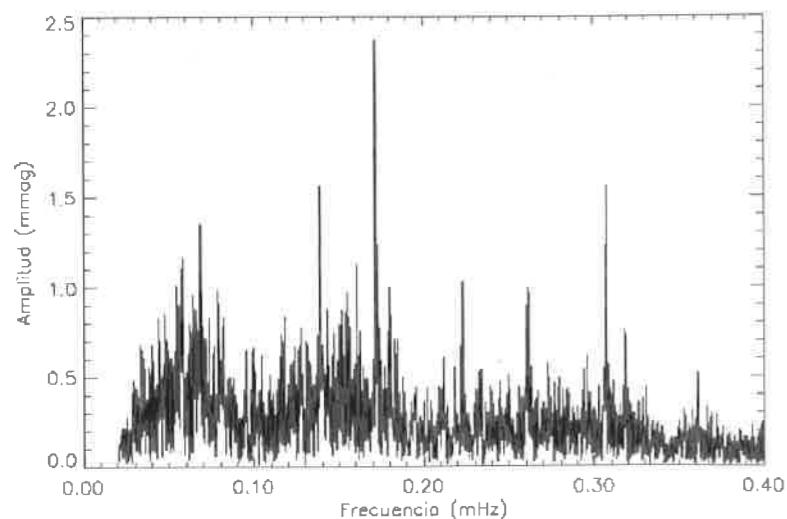


Figura 1: Espectro de Fourier de una de las estrellas δ Scuti del Pesebre, BW Cnc, con 9 modos detectados, 4 de ellos formados por dos pares muy próximos.

blancas, la mayor parte de los modos teóricamente excitables son observados y, además, siguen un patrón definido, por lo que es posible su identificación. Por otra parte, la rotación estelar funciona como un grado de libertad añadido a los modelos. En primer orden, ésta interviene en los modos de oscilación de n y l dados desdoblándolos en $2l+1$ modos con $l \leq 2l$. La separación entre modos depende del ritmo de rotación y, como consecuencia, complica la confrontación entre el espectro teórico y el observacional. Solamente una estimación de la rotación estelar superficial mínima es posible a partir del valor de $n \sin i$ observado.

Visto esto, es evidente que necesitamos trabajar en un entorno favorable en el que se puedan imponer restricciones observacionales más fuertes a los modelos para suplir la carencia de gran parte de los modos excitables. Un cúmulo abierto cercano y con un gran número de estrellas δ Scuti detectadas sería el laboratorio ideal. El cúmulo del Pesebre (Fig. 2) reúne todos estos requisitos: su metalicidad y distancia son relativamente bien conocidas; posee el mayor número de estrellas δ Scuti en un cúmulo, catorce, cuyos parámetros como el $n \sin i$ están medidos; además, es posible una estimación de su edad a través de ajustes con isocronas. La existencia de varias estrellas pulsantes, gemelas en su origen, cuyas principales diferencias son sólo su masa y ritmo de rotación, hacen posible una modelización más sencilla de forma que se pueda aplicar una compa-

ración diferencial entre sus espectros de pulsación.

Por todo ello, la red observacional STEPPI (*Stellar PHotometry International*), en la que el IAC participa junto con el Observatorio de Meudon (Francia), el IAUNAM (México) y el Observatorio de Beijing (China), ha dedicado sus últimas campañas a observar estrellas δ Scuti del Pesebre, de las que actualmente ocho ya han sido ampliamente seguidas. Ordenando sus espectros de menor a mayor luminosidad, lo que equivale en el cúmulo a diferentes etapas evolutivas desde plena Secuencia Principal hasta fases iniciales de Subgigante, se puede distinguir una diferente distribución de sus modos observados (Fig. 3) pues, aparte de un desplazamiento del espectro a bajas frecuencias según disminuye la densidad media (sentido descendente), se percibe un estrechamiento del rango de modos observados.

Para maximizar las restricciones sobre nuestro problema, hemos ideado un método en el que suponemos la existencia de al menos un par de modos radiales ($l=0$ y, por tanto, $m=0$) en el espectro de cada estrella. Esto nos permite, por un lado, manejar mejor el efecto de la rotación, que en el caso radial entra como un efecto de segundo orden; por otro lado, los cocientes de las frecuencias de los modos radiales son valores muy poco dependientes de los parámetros estelares y composición química, siendo su principal variable de nuevo la rotación

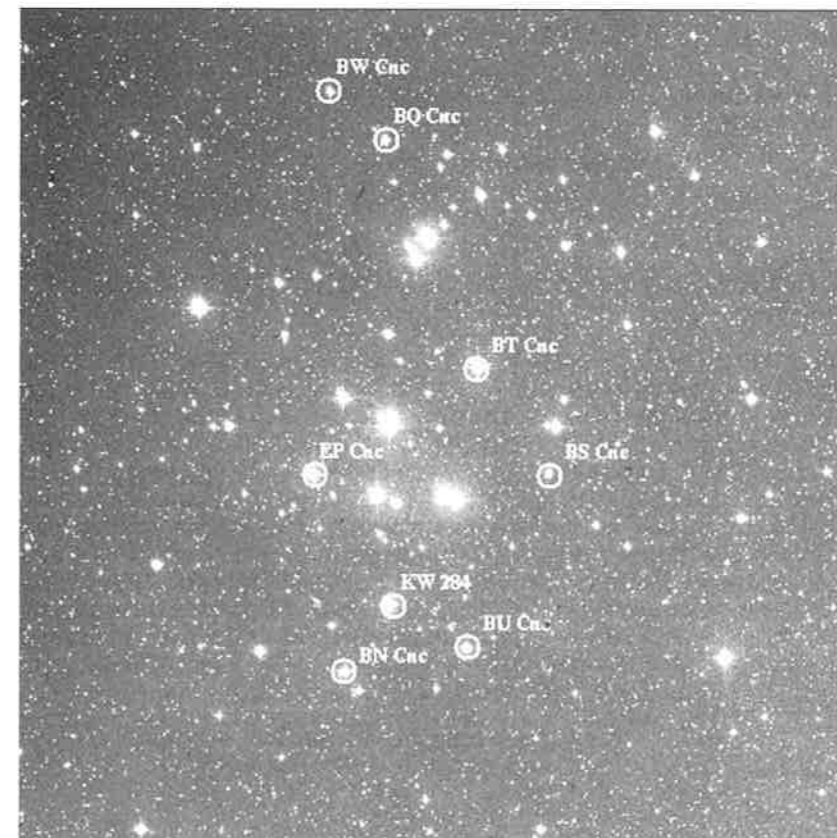


Figura 2: Imagen 1,5° x 1,5° del cúmulo del Pesebre, donde se encuentra el mayor número de estrellas δ Scuti existentes en un cúmulo. Ocho de las catorce estrellas δ Scuti conocidas han sido observadas con continuidad durante varias semanas.

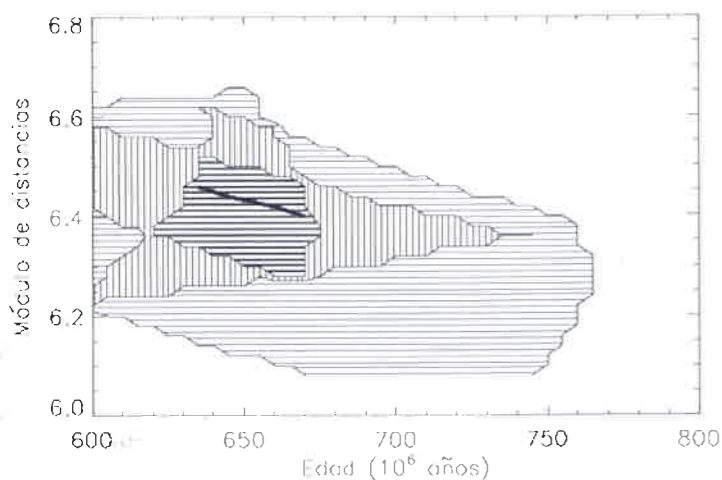
LA RED OBSERVACIONAL STEPPI (STELLAR PHOTOMETRY INTERNATIONAL), EN LA QUE EL IAC PARTICIPA JUNTO CON EL OBSERVATORIO DE MEUDON (FRANCIA), EL IAUNAM (MÉXICO) Y EL OBSERVATORIO DE BEIJING (CHINA), HA DEDICADO SUS ÚLTIMAS CAMPAÑAS A OBSERVAR ESTRELLAS δ SCUTI DEL PESEBRE, DE LAS QUE ACTUALMENTE OCHO YA HAN SIDO OBJETO DE AMPLIO SEGUIMIENTO.

estelar. De esta manera, comparando los valores de los cocientes de frecuencias de los modos detectados en cada estrella con los radiales teóricos, sería posible identificar -y, por tanto, conocer sus valores de n - qué modos, entre los detectados, son posibles pares de modos radiales. Cada posible par de modos radiales sería válido para un cierto rango de rotación estelar, coherente con el valor de n observado.

Se crea para cada estrella una malla de modelos en los rangos de edad apropiados para el cúmulo considerando los valores posibles de metalicidad y sobrepenetración convectiva (*overshooting*). Aplicando la caja de error en T_{eff} y M_{bol} , así como la incertumbre en la frecuencia de los modos radiales dado por el rango de rotación estelar anteriormente determinado para cada par, tendremos todos los modelos posibles que pueden oscilar con ese par de modos radiales en una estrella dada. Esto se hace para todos los pares posibles encontrados en cada estrella, teniéndose un conjunto de modelos para cada par. El origen común de todas las estrellas del cúmulo impone la restricción final por la que, si existen pares de modos radiales en cada estrella, sus modelos asignados deben corresponder a distancia, edad y composición química prácticamente iguales. Por tanto, buscamos qué posibles pares de modos radiales pueden ofrecer estas características comunes superpo-

LA EXPERIENCIA ESPACIAL PODRÍA DAR UN SALTO DEFINITIVO EN EL DESARROLLO DE LA SISMOLOGÍA ESTELAR, TAL COMO SE ESPERA DEL MINI-SATÉLITE FRANCÉS CON PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA "COROT", CUYO LANZAMIENTO ESTÁ PREVISTO PARA FINALES DEL 2001.

Figura 4: Superposición de los modelos válidos para cuatro posibles pares de modos radiales, cada uno correspondiente a una estrella del Pesebre (BN, BU, BW y BS Cnc). En negrita está marcada la zona de intersección de los modelos de las cuatro estrellas a la vez. El resto de zonas sombreadas pertenecen a zonas comunes a tres (trazo horizontal oscuro), dos (vertical claro) y una estrella (horizontal claro).



niendo sus modelos en diagramas como el de la figura 4.

En el caso de las cuatro estrellas del Pesebre sobre las que hemos aplicado este método, unas pocas identificaciones han cumplido estos requisitos, correspondiendo a modelos con metalicidad mayor que la solar ($Z \sim 0,03$) y con sobrepenetración convectiva $a_{\text{ov}} \sim 0,20$. Además, se deriva una edad del cúmulo de unos 650 millones de años y una distancia de 190 pc, similar a la encontrada recientemente por HIPPARCOS. Así mismo, se obtiene una estimación de la masa y de la velocidad angular de rotación estelar.

Actualmente, se están llevando a cabo nuevas campañas observacionales sobre estrellas del Pesebre con el objetivo de extraer más información a través de la detección de nuevos modos. Otros cúmulos con varias estrellas δ Scuti, como por ejemplo las Pléyades, están siendo también objetivo de STEPHI, con la idea de aplicar métodos similares al expuesto. Al mismo tiempo, se espera contar en un futuro próximo con métodos observacionales fiables de identificación de los modos que suplan en parte la deficiencia de modos observados. Ya por último, la experiencia espacial podría dar un salto definitivo en el desarrollo de la sismología estelar tal como se espera del mini-satélite francés con participación española COROT, cuyo lanzamiento está previsto para finales del 2001.

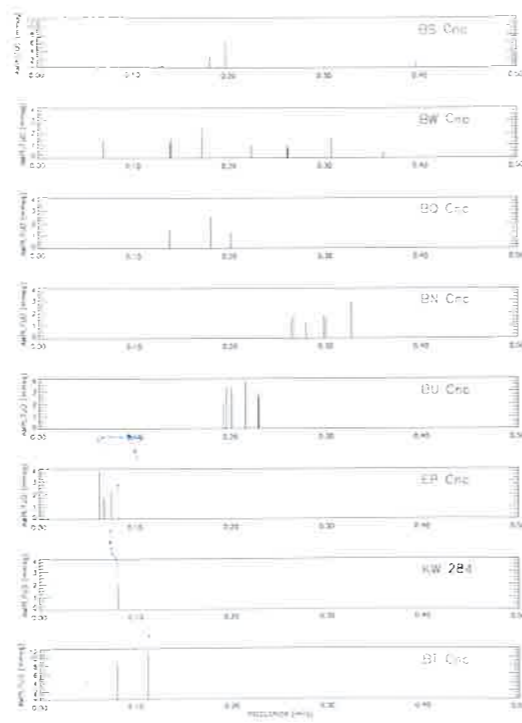


Figura 3: Espectros de las δ Scuti del cúmulo del Pesebre estudiadas en profundidad hasta ahora.

COLOQUIOS IAC-FUNDACIÓN BBV celebrados en el IAC a lo largo de 1998

Prof. Mike Edmunds

Universidad de Gales (Reino Unido)

"La evolución química del Universo"

¿Cuál es la composición química del Universo? ¿cómo ha evolucionado con el tiempo? Según Mike Edmunds, ya estamos en condiciones de empezar a responder a preguntas como éstas, que nos permiten entender la evolución de las galaxias. En el seminario que impartió en el IAC el 15 de enero como parte de los Coloquios que el Instituto organiza en colaboración con la Fundación BBV, Edmunds hizo un repaso al estado del conocimiento de la nucleosíntesis del Big Bang, concentrándose en la formación de los elementos a partir de ese punto inicial, que puede inducirse del estudio de la absorción de líneas espectrales de los cuásares. Para Edmunds basta con un leve vistazo a los efectos de los flujos de gas en la evolución química de las galaxias para saber por qué muchos de los recientes argumentos que sugieren la existencia de cambios rápidos en la tasa de formación estelar a lo largo de la historia del Universo podrían ser una exageración. Edmunds habló de la intervención del polvo en la formación de las galaxias y de las futuras oportunidades observacionales que ofrecen los telescopios de la clase 8 metros.

Aprovechando su estancia en Tenerife, Mike Edmunds pronunció una conferencia de divulgación en el Aula del IAC con el título de "Betelgeuse, una biografía no autorizada". Una de las estrellas más brillantes del cielo, esta componente de la constelación de Orión es una de las pocas estrellas cuya superficie puede observarse mediante técnicas observacionales especiales. A pesar de ello, la realidad es que no se sabe mucho sobre esta supergigante fría y su historia; en su charla, Edmunds presentó esta fascinante y compleja estrella, explicando lo que se conoce sobre su estructura y evolución y subrayando en la importancia del trabajo que queda por hacer en los próximos años.

Prof. Jan Olaf Stenflo

Instituto de Astronomía, Centro ETH, Zurich (Suiza)

"Espectropolarimetría con una precisión de 10^{-5} "

En una conferencia pronunciada el 5 de febrero en el IAC como parte de los Coloquios IAC-Fundación BBV, el Prof. Jan O. Stenflo sostuvo que algunos de los secretos mejor guardados del Sol podrían conocerse actualmente gracias a la espectropolarimetría de precisión. Según Stenflo, utilizando un polarímetro de Stokes para la obtención de imágenes desarrollado en el ETZ de Zurich puede alcanzarse rutinariamente una precisión polarimétrica de 10^{-5} junto con una alta resolución espectral, con lo que se puede acceder ahora a un ámbito de la astrofísica vetado hasta la fecha. A este nivel de precisión surge todo un nuevo mundo en la física de polarización, con un espectro solar polarizado que se parece muy poco al espectro de intensidad habitual. Los efectos de las interferencias cuánticas, la estructura hiperfina, los efectos de los isótopos, la dispersión de Raman, etc. se aprecian con un gran contraste y proporcionan una nueva ventana para el diagnóstico del Sol. Las observaciones indican que la idea que se tenía hasta ahora del magnetismo solar podría necesitar una profunda revisión.



Mike Edmunds



Jan Olaf Stenflo

Prof. Félix Mirabel
Centro de Estudios de Saclay (Francia)

"Microcuásares en nuestra galaxia"

Los microcuásares son agujeros negros de masa estelar que se encuentran en nuestra galaxia y que presentan, a menor escala, los mismos fenómenos observados en los cuásares. Su descubrimiento establece una nueva conexión entre la acreción de materia en los agujeros negros y el origen de los chorros relativistas que se observan en cuásares lejanos. El Prof. Mirabel, en su intervención del 23 de abril en los Coloquios IAC-Fundación BBV, revisó el reciente descubrimiento de esas fuentes galácticas de chorros relativistas que tienen movimientos aparentes con velocidades superiores a la de la luz. La importancia del estudio de los microcuásares está en sus implicaciones astrofísicas, pues suponen un argumento en contra de la expansión del Universo, facilitan la interpretación física de movimientos supraluminosos en cuásares, repercuten en los modelos de explosiones de rayos gamma y proporcionan a la astronomía un nuevo método para la determinación de distancias.



Guinevere Kauffmann

Prof. Guinevere Kauffmann
Instituto Max-Planck de Astrofísica (Alemania)

"Formación de galaxias en un universo jerárquico"

En una cosmología jerárquica, como la de la materia oscura fría, la estructura se forma de abajo arriba, mediante la fusión de halos de materia oscura colapsada para formar los grupos, cúmulos y supercúmulos de galaxias que observamos hoy. Las galaxias se forman cuando el gas se enfría, se condensa y desencadena la formación de las estrellas que constituyen estos sistemas. En su conferencia, pronunciada el 7 de mayo en el marco de los Coloquios IAC-Fundación BBV, la Prof. Kauffmann, investigadora de reconocido prestigio en el campo de la evolución de galaxias, presentó los métodos para el estudio de la formación y la evolución de las galaxias dentro de una jerarquía de fusiones de halos oscuros; describió los procesos físicos de los que deben elaborarse modelos para poder establecer comparaciones directas con los datos observacionales; y, finalmente, sugirió una serie de aplicaciones de las técnicas presentadas. Kauffmann se centró en las propiedades actuales de galaxias de tipo temprano y la evolución que se espera que tengan hacia un alto corrimiento al rojo.

Prof. Renoir Foy
CRAL/Observatorio de Lyon (Francia)

"La estrella guía láser: prestaciones para la astrofísica y mejoras actualmente en marcha"

La cobertura del cielo con instrumentos de óptica adaptativa es limitada en los grandes telescopios, sea desde el punto de vista estadístico o cuando se trata sólo de unas pocas clases de objetos astrofísicos. En una conferencia dentro de los Coloquios IAC-BBV, el Prof. Foy describió los principios básicos de la estrella guía láser (LGS) y las dos limitaciones básicas de las prestaciones que son interesantes para los astrofísicos, es decir, el efecto cono y la medición de la inclinación global del frente de onda (*tilt*). Las soluciones que se proponen a estos problemas son dos: el cartografiado tridimensional de las perturbaciones de fase en la atmósfera turbulenta para superar el efecto cono y ampliar el campo de visión mucho más allá del campo isoplanático; y el uso de la LGS policromática para medir el *tilt*, poniendo especial énfasis en la física atómica y en los requisitos del láser para alcanzar este objetivo. Por último, se presentaron ejemplos de experimentos en marcha que usan LGS y de otros en proyecto.

Prof. Peter S. Conti
Universidad de Colorado, JILA (Estados Unidos)

"Imágenes en el IR cercano y espectroscopia de regiones HII galácticas oscuras en el visible"

Muchas regiones HII y regiones HII gigantes de nuestra galaxia son parcial o totalmente oscuras en el visible por efecto de la absorción del polvo interestelar. Las imágenes en el infrarrojo cercano y la espectroscopia pueden emplearse para determinar las poblaciones estelares de estas regiones de formación estelar. En esta charla, impartida el día 6 de octubre en el marco de los Coloquios IAC-Fundación BBV, el Prof. Conti presentó un análisis en múltiples longitudes de onda de M17, una región HII gigante parcialmente oscura. Algunas estrellas de tipo O temprano se pueden detectar a 2 micras, junto con otras estrellas calientes que no presentan líneas de absorción estelares debido a la emisión de polvo local, probablemente de material circumestelar en un disco. A longitudes de onda más cortas, las observaciones revelan la presencia de espectros de estrellas tipo O tardías y tipo B tempranas en estos objetos, con lo que debe tratarse de un cúmulo con más de un millón de años.

En cambio, un estudio preliminar de W43, una región HII gigante totalmente oscura en el visible, revela que la estrella más brillante es un objeto Wolf-Rayet (W-R); otros dos objetos brillantes son estrellas de tipo O temprano. La presencia de estrellas (W-R) indica una edad superior a un millón de años. Estos estudios no han hecho más que arrancar; sin embargo, es evidente que las observaciones y los análisis realizados en el infrarrojo cercano permitirán estudiar las poblaciones estelares de algunas de las regiones de formación estelar más energéticas de la Galaxia.

"Estrellas calientes, supercúmulos estelares, galaxias con brotes de formación estelar y fusiones y el Hubble Deep Field"

Los modelos de formación estelar y la subsiguiente evolución indican que el continuo emergente (la distribución espectral de la energía) de un episodio de formación estelar tiene su máximo de emisión en el ultravioleta pero, con el tiempo, evoluciona rápidamente hacia el visible y el rojo, lo que permite determinar la historia de la formación estelar y la edad; la luminosidad del brote puede traducirse en el número y la masa totales de las estrellas producidas. En esta segunda charla, que tuvo lugar el 8 de octubre, el Prof. Conti presentó varios ejemplos de brotes de formación estelar y comentó distintos métodos de observación y análisis empleados para determinar los parámetros de las regiones de brote de formación estelar, típicamente compuestos por pequeños pero brillantes grupos de estrellas denominados supercúmulos estelares (SSC). Las propiedades de los SSC de las galaxias estudiadas son muy similares y sólo difieren en escala. Los espectros ultravioleta de los SSC se asemejan a los espectros de galaxias con brotes de formación estelar observados recientemente a escalas cosmológicas. Parece razonable suponer que estos objetos cercanos podrían ser la huella de procesos energéticos de formación estelar que tuvieron lugar cuando el Universo era mucho más joven.

Prof. Claude Cañizares

Centro de Investigaciones Espaciales,
Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos)

"El poder de AXAF"

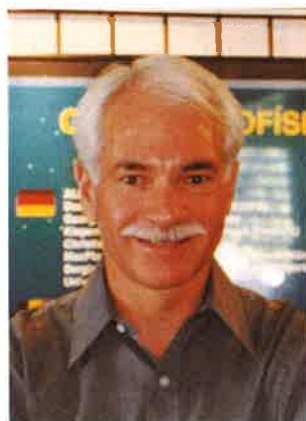
El satélite AXAF (*Advanced X-ray Astrophysics Facility*) es uno de los Grandes Observatorios que la NASA tiene previsto lanzar a principios de 1999. Este satélite para la observación en rayos X superará en varios órdenes de magnitud a misiones anteriores tanto en la obtención de imágenes como en la espectroscopia de fuentes de rayos X galácticas y extragalácticas. Sus espejos proporcionarán imágenes de medio segundo de arco con muy buena sensibilidad de 0,1 a 10 keV usando sus dos instrumentos para la obtención de imágenes: la Cámara de Alta Resolución y el Espectrómetro de Imágenes CCD. Dos espectrómetros de transmisión de rejilla garantizan una capacidad de resolución espectral de 100 a 2000. Estas prestaciones permitirán a AXAF abordar un amplio conjunto de problemas científicos, desde la física de la corona estelar hasta la cosmología. En su charla, pronunciada el 18 de noviembre en el marco de los coloquios IAC-Fundación BBV, el Prof. Cañizares describió el satélite AXAF y dio una serie de ejemplos de algunos de los experimentos científicos previstos para el primer año, destacando varios estudios de interés para la cosmología, como la evolución de los cúmulos de galaxias, la materia oscura y la fracción bariónica del Universo.

"Del origen del Universo al origen de la vida"

El estudio de los orígenes es un paso más en la sucesión de 15.000 millones de años de eventos que va desde el nacimiento del Universo en el Big Bang hasta los primeros organismos autorreplicantes y la profusión actual de la vida, pasando por la formación de los elementos químicos, de las galaxias, de las estrellas y de los planetas y por la mezcla de elementos químicos y energía que propiciaron la aparición de la vida en la Tierra.

Los descubrimientos más recientes indican que la vida es extremadamente resistente y que cada uno de esos pasos en el camino hacia los orígenes se produjo con una sorprendente rapidez. El descubrimiento de fósiles de edad cercana a los 4.000 millones de años, de microorganismos que viven en condiciones extremas en la Tierra y de materiales orgánicos en meteoritos procedentes de Marte nos proporcionan argumentos científicos para creer que determinadas formas de vida podrían ser comunes en el Universo. El descubrimiento realizado por el Telescopio Espacial Hubble de nidos de estrellas en nuestra Galaxia y de galaxias muy jóvenes en el Universo temprano nos ayudan a entender mejor los procesos que moldearon el Universo actual. Estos descubrimientos iluminan, por primera vez, la estela de los orígenes desde los primeros momentos del Universo hasta la actualidad, desafiándonos a encontrar los "eslabones perdidos". Necesitamos saber más acerca de la naturaleza y los límites de la vida en la Tierra en condiciones extremas y de los procesos fundamentales de la vida primitiva; conocer mejor las condiciones que se dieron en los comienzos del Sistema Solar, así como en otros planetas; saber cómo el Universo pasó de un Big Bang inicial, con densidad y temperatura casi infinitas, a una ingente profusión de galaxias, estrellas y planetas.

En esta conferencia de divulgación, pronunciada el 17 de noviembre en el Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, el Prof. Claude Cañizares hizo un repaso a los descubrimientos recientes y describió algunas de las investigaciones actuales y en proyecto sobre el tema de los orígenes. Esta conferencia se nutrió del material preparado para un Simposio especial sobre Ciencias Espaciales dirigido por el Vicepresidente de los Estados Unidos en la Casa Blanca.



Claude Cañizares

Prof. José Maza
Universidad de Chile

"Astronomía en Chile: presente y futuro"

En una charla pronunciada el 27 de noviembre, el Prof. José Maza presentó en el IAC y dentro de los coloquios que el Instituto organiza periódicamente con la Fundación BBV, la situación actual de la astronomía en Chile, los centros existentes, los astrónomos y las oportunidades observacionales con que cuentan los científicos en instituciones chilenas. Maza enumeró las instalaciones actualmente en construcción y en proyecto para la próxima década, discutiendo las situaciones de interés mutuo que pueden darse entre la astronomía que se hace en la Universidad de Chile y el IAC. Más que una charla científica propiamente dicha, se trató en este caso de dar a conocer a los científicos del IAC la astronomía chilena con el fin de buscar puntos de acercamiento.

Prof. Bengt Gustaffson

Observatorio Astronómico de Uppsala (Suecia)

"¿Hasta qué punto es el Sol una estrella de tipo solar?"

El Prof. Bengt Gustaffson visitó el IAC el 2 de noviembre, invitado a participar en los coloquios que el Instituto organiza periódicamente en colaboración con la Fundación BBV. Tras estudiar varias de las características observables del Sol y compararlas con las de estrellas de tipo solar, se llega a la conclusión de que nuestra estrella es, en buena medida, de tipo solar. Por lo que se refiere a su masa y edad y, probablemente, a su carácter no binario, las explicaciones "antrópicas" podrían parecer apropiadas. La posible tendencia del Sol, en comparación con estrellas similares, a ser algo rico en hierro ha de estudiarse con mayor profundidad, lo que se aplica también a la pequeña amplitud de microvariabilidad que presenta actualmente.



Bengt Gustaffson

40ª REUNIÓN DEL COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL DE LOS OBSERVATORIOS DEL IAC

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios de Canarias celebró su 40ª reunión ordinaria el 3 de noviembre, en la Universidad de La Laguna (Tenerife). La anterior reunión tuvo lugar en el mes de junio en la Real Academia Sueca de Ciencias, en Estocolmo. En esta reunión se trataron, entre otros temas del orden del día, los proyectos existentes para la instalación de nuevos telescopios y la firma de los correspondientes acuerdos internacionales, así como el 5% del Tiempo Internacional disponible para proyectos de colaboración internacional y proyectos comunitarios.

Francisco Sánchez, vicepresidente del CCI y director del IAC, informó del estado de ejecución del proyecto Gran Telescopio Canarias (GTC) y del proyecto de exposición "20 años de Astronomía en la isla de La Palma", prevista para 1999 con objeto de conmemorar las dos décadas transcurridas desde que se firmaron los primeros Acuerdos Internacionales en materia de Astrofísica (firma que tuvo lugar el 26 de mayo de 1979, en Santa Cruz de La Palma).

A través del CCI, del que forman parte representantes de todas las instituciones con intereses e instalaciones en los Observatorios de Canarias, se garantiza la participación efectiva de cada uno de los países participantes en la adopción de decisiones que atañen a los Observatorios. Actualmente, estos Observatorios constituyen el Observatorio Norte Europeo, formado por más de treinta instituciones científicas pertenecientes a los siguientes países: Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Noruega, Países Bajos, Reino Unido y Suecia.

Uno de los mayores especialistas europeos en Física Solar, Jan Olav Stenflo (Centro ETH, Suiza), tiene una reconocida experiencia en el desarrollo de instrumentación para el estudio del Sol, en particular en polarimetría. No en vano fue Presidente de la Fundación LEST (*Large Earth-based Solar Telescope*) desde 1983 hasta su cierre, en 1997, tras la cancelación del proyecto por cuestiones económicas. El telescopio LEST, que se iba a instalar en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), había de ser el mayor telescopio solar del mundo en la época de su construcción.

ENTREVISTA

EL NUEVO ESPECTRO DEL SOL, un resultado de los avances en polarimetría

¿Cuál es la contribución principal de la espectroscopia solar a otras ramas de la astrofísica?

"El Sol es la única estrella que puede explorarse y resolverse con gran detalle, lo que con frecuencia le ha merecido el calificativo de "piedra Rosetta" de la Astrofísica. Cuanto más lo conocemos, más nos damos cuenta de la riqueza y complejidad de su estructura. Gran parte de esa estructura se debe a los campos magnéticos, responsables no sólo de la actividad y variabilidad solares, sino también de las de todo tipo de objetos astrofísicos. Para diagnosticar el campo magnético hay que recurrir a la espectropolarimetría.

Si bien pueden resolverse detalles de la atmósfera solar con su campo magnético, ahora sabemos que muchas de las estructuras magnéticas básicas son mucho más pequeñas que el límite de la resolución y, como son ópticamente finas, los telescopios futuros nunca serán capaces de resolverlas. Sin embargo, es posible desarrollar métodos de diagnóstico que utilicen la abundante información contenida en el espectro solar polarizado, de modo que podamos obtener gran cantidad de información acerca de las estructuras magnéticas complejas en escalas que no podemos resolver espacialmente. La información obtenida se nos presenta en formas sutiles que sólo pueden verse mediante espectropolarimetría de gran precisión combinada con alta resolución espectral y buena resolución espacial. Sólo para el caso del Sol nos es posible alcanzar razones señal a ruido y resoluciones que nos permitan acceder a tal información."

¿Por qué es tan importante mejorar la precisión polarimétrica en las observaciones?

"Cuando hace algunos años pusimos en marcha por primera vez nuestro sistema de polarimetría ZIMPOL (*Zurich IMaging POLarimeter*) basado en CCD, alcanzando una sensibilidad de 10^{-5} en el grado de polarización, descubrimos un nuevo mundo en la física de polarización, desconocida hasta entonces porque los sistemas de polarimetría anteriores carecían de la precisión necesaria. Estos nuevos fenómenos de polarización, que sólo se manifiestan a niveles inferiores a 10^{-3} , son debidos a la dispersión coherente en la atmósfera del Sol. El espectro polarizado resultante presenta una estructura muy rica, pero esas estructuras se parecen bien poco al espectro de intensidad habitual. Es como si el Sol nos hubiese presentado un espectro completamente nuevo y tuviésemos que empezar desde cero a identificar las nuevas estructuras y la física de lo que observamos. Este "segundo espectro solar" nos proporciona una nueva ventana de diagnóstico para la exploración del Sol, en particular para el diagnóstico de turbulencias magnéticas y de campos magnéticos débiles mediante el denominado efecto Hanle. Las observaciones, que muestran efectos de interferencias cuánticas, de estructuras hiperfinas, de efectos isótopos, de dispersión de Raman, etc..., proporcionan también nuevas perspectivas sobre la física de las transferencias radiativas y ciertos fenómenos cuánticos, como despoblación por bombeo óptico que transfiere la polarización atómica del estado excitado al estado fundamental. Tales efectos tienen un considerable potencial para el diagnóstico. Para explotar estas nuevas posibilidades necesitamos hacer espectropolarimetría de elevada relación señal a ruido de señales muy débiles. Desarrollar

instrumentos que puedan hacerlo siendo lo suficientemente sensibles es todo un reto; además, es preciso compensar o eliminar los efectos engañosos debidos a la polarización instrumental, que contaminan las medidas polarimétricas de los mayores telescopios solares del mundo."

Las observaciones de alta precisión realizadas por su grupo ¿han proporcionado una nueva perspectiva sobre los campos magnéticos solares?

"Un avance sorprendente es la teoría presentada recientemente por el Dr. E. Landi Degl'Innocenti (Florencia, Italia) que explica de forma impresionante los misteriosos picos de polarización estrechos que hemos observado en los núcleos Doppler de las líneas D1 y D2 del sodio neutro. Su explicación, que aparecerá en la revista *Nature*, demuestra que el estado fundamental del sodio, sujeto a una división de la estructura hiperfina, está polarizada mediante bombeo óptico desde el estado excitado polarizado. Dada la larga duración temporal de los estados fundamentales atómicos, esa

polarización atómica de nivel inferior debe quedar destruida por la acción de campos magnéticos de intensidad superior a los 10 miligauss, un valor extremadamente bajo. Como la intensidad del campo en el Sol en calma es del orden de 1 kilogauss es difícil explicar cómo campos con una razón de contraste tan elevada como 10^5 pueden coexistir en la atmósfera solar. Los resultados de Landi nos plantean una nueva paradoja para el Sol: partiendo de diagnósticos previos basados en el efecto Hanle se pensó que la atmósfera solar fuera de los tubos de flujo de kilogauss en la red está impregnada de un campo magnético turbulento de fuerza del orden de 10^{-30} gauss, pero las conclusiones de Landi contradicen este supuesto y parecen demandar una revisión completa de nuestra idea sobre la naturaleza del magnetismo solar. Actualmente tratamos de explicar qué implicaciones reales tiene todo esto. Sea cual sea la solución final a esta paradoja conllevará nuevos planteamientos fundamentales, que sólo podrán desarrollarse mediante espectro-polarímetros más sensibles."

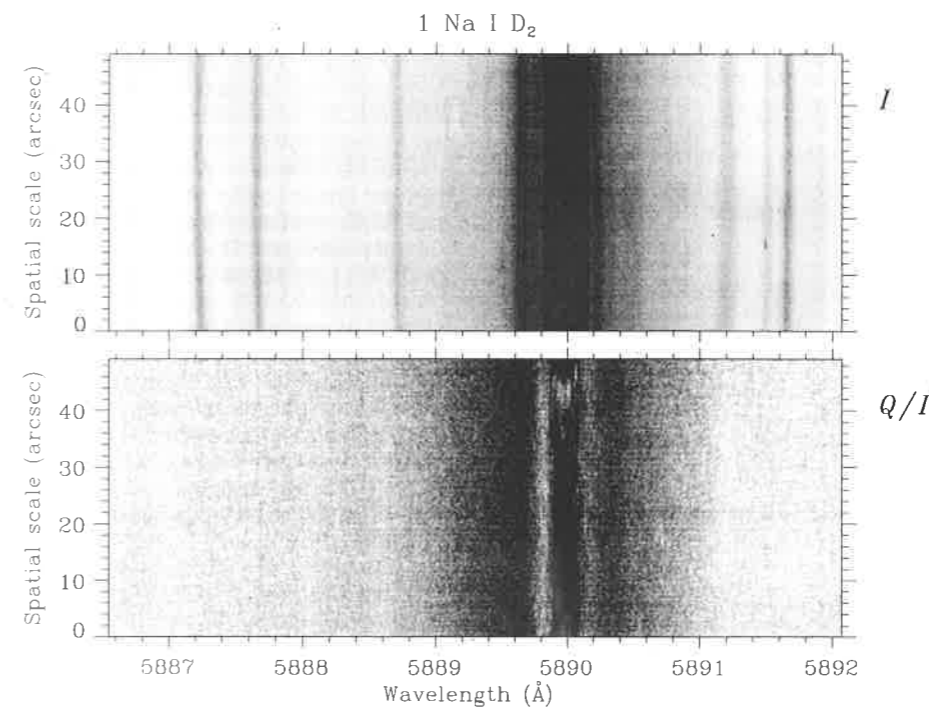


Imagen de intensidad (I) y de polarización lineal (Q/I) de la línea del Na I (sodio) obtenida en el limbo solar. La señal de polarización de esta línea cromosférica es evidente (alrededor de la longitud de onda 5890 Å). Estas señales no han sido satisfactoriamente explicadas hasta el momento por la teoría de transporte de luz polarizada en atmósferas estelares.

PERFIL

Nacido en Suecia en 1942, JAN OLAV STENFLO se doctoró en Astronomía por la Universidad de Lund en 1968, con una tesis basada en observaciones del campo magnético del Sol realizadas por él mismo en la antigua Unión Soviética.

Siguieron entonces varios años de estancia en Estados Unidos (Pasadena, Boulder), intercalados por períodos de investigación en Lund (Suecia) y de actividad como Investigador Principal para un experimento solar en un satélite soviético.

Fue profesor de Astronomía en el Centro ETH y en la Universidad de Zurich (con doble cátedra) en 1980 y, desde entonces, ha dirigido el Instituto de Astronomía, fundado precisamente en relación con el nombramiento del Profesor Stenflo.

Su investigación se ha centrado fundamentalmente en el área de la Física Solar. En el centro ETH de Zurich ha dirigido el desarrollo de sistemas avanzados de instrumentación para polarimetría y la exploración de los campos magnéticos solares, utilizados con gran éxito en los mayores telescopios solares del mundo: tanto en los Estados Unidos como en las Islas Canarias. Entre 1983 y 1997 presidió la Fundación LEST (*Large Earth-based Solar Telescope*). Jan Olav Stenflo es miembro de la Real Academia Sueca de las Ciencias y de la Academia Noruega de las Ciencias y las Letras.

Aunque formalmente el 31 de octubre 1988 inicia su vida La Ley de Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC (la "Ley del Cielo"), su período de gestación fue largo y no con pocas dificultades, ya que los astrofísicos llevaban esperando desde el año 1979, fecha en la que España firmó los Acuerdos Internacionales de Cooperación en Astrofísica, la publicación de dicha Ley. Pero aún hubo que esperar un poco más para la verdadera aplicación de la Ley, al 21 de abril de 1992, momento en que se publica el reglamento que regula y desarrolla la Ley 31/1988.



LEY DEL CIELO 10 años protegiendo el cielo de Canarias

FEDERICO DE PAZ (IAC)

Desde su planteamiento inicial, la Ley de Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC contemplaba cuatro aspectos fundamentales, que se describen a continuación.

1. La contaminación lumínica

Éste ha sido un aspecto primordial dentro de la Ley, pero que sólo protege al Observatorio del Roque de los Muchachos, aunque también afecta la parte de Tenerife que tiene visión directa con la Palma y, por supuesto, a la propia Isla de la Palma. Aquí ha tenido una aplicación retroactiva, motivo por el cual se ha estado realizando la adaptación de numerosas instalaciones de alumbrado desde el año 1992. La adaptación ha supuesto por una parte la reducción potencial de la contaminación lumínica en un 50% aproximadamente, y por otra un ahorro de 20 millones de pesetas anuales para los ayuntamientos de la Isla en consumo eléctrico.

Para la correcta aplicación de la Ley fue necesario recurrir a diferentes fabricantes de luminarias para que los dispositivos de alumbrado cumplieran con la nueva Ley. Para ello se ensayaron y certificaron una gran cantidad de luminarias a efectos de facilitar a los ingenieros y diseñadores la realización de los proyectos de alumbrado de exteriores de acuerdo con la Ley. En la actualidad se encuentran certificadas 123 luminarias de 15 fabricantes diferentes.

Para el control de la contaminación, la Ley prevé que toda nueva instalación de alumbrado de exteriores debe estar acompañada por un informe técnico preceptivo emitido por el IAC, de modo que la nueva instalación cumpla con la normativa. Has-

ta el momento han sido emitidos 442 informes técnicos a instalaciones de alumbrado. Pero no todas las nuevas instalaciones de alumbrado pasan por el IAC, ya sea por la ilegalidad de las mismas, por ampliaciones de instalaciones existentes o por cualquier otra circunstancia. En consecuencia, desde el año 1994 se denuncian todas aquellas instalaciones que no cumplen con la normativa. Hasta la fecha, se han tramitado 310 denuncias, de las cuales 186 han sido resueltas fruto de 782 inspecciones.

Para un mayor control de los niveles de contaminación existente en los Observatorios del IAC se ha previsto un sistema de medidas de la contaminación lumínica en los dos observatorios. Hasta el momento se han tomado datos de 138 horas de observación en el Observatorio del Teide, en Tenerife, y 198 horas en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma.

Una de las mayores preocupaciones desde la creación de la Ley ha sido su propia difusión, lo cual ha repercutido en todo su desarrollo. Esta preocupación ha llevado consigo que, desde sus comienzos, la Ley se difundiera en numerosos medios de comunicación y que con el tiempo se haya materializado en forma de charlas, ponencias y numerosos artículos. Hasta el presente se han editado un tríptico, un póster, dos cuadernos técnicos y una página en Internet.

2. La contaminación radioeléctrica

Éste ha sido uno de los aspectos de la Ley que, aunque con menores dificultades, no por ello ha sido menos importante. Para el control de la contaminación radioeléctrica se ha llegado a un acuer-

do con la Secretaría General de Telecomunicaciones, para la realización periódica de medidas de fondo de radiofrecuencia en ambos observatorios. Además, desde febrero de este año se encuentra operativo un equipo automático de registro de niveles que funciona las 24 horas a fin de detectar frecuencias con niveles superiores a los establecidos por la Ley. Hasta el momento se han emitido 35 informes técnicos y 5 denuncias a instalaciones radioeléctricas que han sido resueltas satisfactoriamente.

3. Rutas aéreas

Este apartado ha sido uno de los mayores logros que ha obtenido el IAC dentro del ámbito de protección de los observatorios, ya que el 17 de mayo de 1998 el espacio aéreo de los Observatorios del IAC fue declarado "Zona de Protección Ecológica", con los mismos efectos prácticos pretendidos desde las primeras negociaciones con la Dirección General de Aviación Civil.

En un principio, la interpretación del área de protección según la Ley era una zona en forma de lápiz de 10 km de diámetro con la punta en los observatorios y, además, aplicable sólo a rutas aéreas establecidas, con ello las rutas a más de 5 km y los vuelos fuera de ruta no estaban previstos en la Ley. Con esta nueva declaración hemos evitado estas deficiencias y protegido eficazmente a los observatorios de cualquier vuelo de aeronaves.

4. La contaminación atmosférica

Este aspecto de la Ley, que limita la instalación de industrias o actividades contaminantes por encima de los 1.500 metros, que parecía ser muy controvertido inicialmente, ha resultado ser el que menos problemas ha suscitado, debido a la ausencia en las Islas de Tenerife y La Palma de industrias potencialmente contaminantes de las que en un principio podría suponerse. Por el momento, no ha habido intenciones de instalar ningún tipo de industria por encima de los 1.500 metros.

Han pasado diez años desde la publicación de La Ley de Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC y se han resuelto muchos problemas como la declaración de espacio aéreo protegido, pero aún quedan otros por resolver, como el continuar con la protección de los observatorios de la contaminación lumínica. El IAC inició una nueva forma de entender la iluminación de exteriores que se ha extendido no sólo a nivel nacional, sino a todo el mundo. Así,

se han interesado por las ventajas que supone la aplicación de esta ley la Diputación de Cataluña, la Consejería de Medioambiente de la Generalitat de Cataluña, el Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife y el Parlamento de la Comunidad de Madrid, entre otras instituciones españolas. A nivel internacional, países como Italia, Chile y Grecia han mostrado su interés por aplicar una normativa similar en su territorio; incluso organismos internacionales como la UNESCO, la IDA (International Dark Association) y el Comité Internacional de Iluminación se han puesto en contacto con la OTC para elaborar recomendaciones encaminadas a evitar la contaminación lumínica.

Iluminar adecuadamente significa ahorro y cielos limpios, y debemos entender que estos cielos limpios no sólo son un recurso para los científicos, sino un patrimonio para la humanidad y el paisaje más inmenso que podemos admirar.

NORMATIVA PARA LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO DE EXTERIORES

OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO

MAPA POR SATELITE DE LAS ISLAS CANARIAS DE NOROCCIDENTE

MAPA POR SATELITE DE LA PALMA POR SATELITE

MAPA POR SATELITE DE LA PALMA POR SATELITE

NORMAS BÁSICAS

ALUMBRADO CON PROYECTORES

ÁMBITO DE PROTECCIÓN

De acuerdo con la Ley 31/1988 y R.D. 2431/1992 todos los proyectos de alumbrado exterior, fijos o esporádicos, deberán cumplir con esta normativa y disponer de un informe técnico preceptivo del Instituto de Astrofísica de Canarias.

El ámbito de aplicación de esta normativa es la Isla de La Palma y las zonas de Tenerife con visión directa con la Isla de La Palma (Cristianos, Punta de Teno, Punta del Hidalgo).

Para consultas o petición de dichos informes deberán dirigirse al I.A.C. Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo, 38200-LA LAGUNA, T.F. (922) 60 52 00, FAX: (922) 60 52 10.

HA SUPUESTO, POR UNA PARTE, LA REDUCCIÓN POTENCIAL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN UN 50% APROXIMADAMENTE, Y POR OTRA UN AHORRO ENERGÉTICO DE 20 MILLONES DE PESETAS ANUALES PARA LOS AYUNTAMIENTOS EN CONSUMO ELÉCTRICO.

Las explosiones de rayos gamma son objetos astronómicos denominados por las iniciales **GRB**, siglas de **Gamma Ray Bursts**, seguidas de la fecha de su descubrimiento. Dada la corta vida de la explosión en sí son muy difíciles de estudiar. Ahora se sabe que liberan más de 50 veces la energía de una supernova y son el evento astronómico más espectacular del Universo después del Big Bang. Por los datos de que se dispone, algunos de los GRB detectados hasta la fecha podrían haber ocurrido en galaxias muy distantes y, por tanto, cuando el Universo era muy joven. Varias instalaciones telescópicas de los Observatorios del IAC han seguido algunas de estas explosiones de rayos gamma. Primero fueron el Experimento HEGRA y el Telescopio "William Herschel", desde el Observatorio del Roque de los Muchachos. Ahora son el Telescopio NOT, también de este observatorio, y el IAC-80, del Observatorio del Teide, los que se suman a estas observaciones.

LOS TELESCOPIOS NOT E IAC-80 SE SUMAN A LAS OBSERVACIONES DE EXPLOSIONES DE RAYOS GAMMA

EL TELESCOPIO "NOT" OBSERVÓ EL CUERPO CELESTE RESPONSABLE DE UNA EXPLOSIÓN DE RAYOS GAMMA Y OBTUVO EL PRIMER ESPECTRO INMEDIATO DE ESTOS ENIGMÁTICOS OBJETOS DEL UNIVERSO.

Imágenes: ~<http://www.astro.uio.no/~ajaunsen/grb980519>

Las explosiones de rayos gamma, descubiertas en 1967, parecen estar de moda. Según Alberto Castro-Tirado, del LAEFF (Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental), los nuevos detectores nos permiten observar alrededor de dos explosiones diarias. Algunas de estas explosiones han sido estudiadas desde Canarias, las últimas con el Telescopio NOT, del Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, y con el Telescopio IAC-80, desde el Observatorio del Teide.

El espectro del NOT

El telescopio NOT (*Nordic Optical Telescope*), de 2,5 metros de diámetro

e instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, observó en junio -según información facilitada por Hugo E. Schwarz, del NOT- la fuente responsable de *GRB 980519*, una violenta explosión de rayos gamma detectada por el satélite italo-holandés *BeppoSax*. Las imágenes tomadas por este telescopio permitieron identificar la contrapartida óptica de esta fuente de rayos gamma y obtener el primer espectro inmediato, a las pocas horas de producirse la explosión, lo que resulta de gran interés para el estudio de estos objetos, los más energéticos y enigmáticos del Universo.

El telescopio NOT identificó una débil fuente azul (de magnitud 19.5, es de



Telescopio NOT, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).



Telescopio IAC-80, en el Observatorio del Teide (Tenerife)

cir, 63 billones de veces más débil que la luna llena) que no estaba presente en las imágenes de archivo del *Digital Sky Survey (DSS)*. Los astrónomos llegaron a la conclusión de que se trataba de la contrapartida óptica de la explosión de rayos gamma sobre todo porque la fuente se debilitó un 20% cuando había transcurrido una hora y un 85% al día siguiente, hasta ser indetectable en días posteriores. El telescopio NOT sigue observando y obteniendo imágenes del objeto donde se produjo la explosión.

La espectroscopia óptica permite a los astrónomos averiguar detalles físicos de los objetos, determinar sus distancias y calcular la energía que emiten. Del análisis del espectro obtenido por el telescopio NOT se podrán deducir importantes datos científicos en este sentido.

El Telescopio Óptico Nórdico pertenece a los cinco países nórdicos: Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, y Suecia.

La "fotografía" del IAC-80

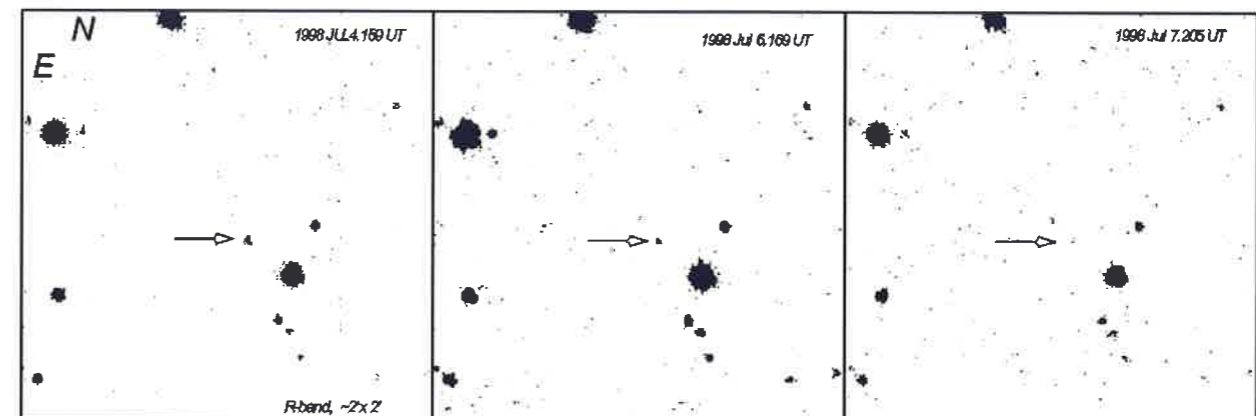
El telescopio IAC-80, de 80 cm de diámetro, instalado en el Observatorio del Teide (isla de Tenerife), ha observado en longitudes de onda del visible la fuente emisora responsable de la violenta explosión de rayos gamma detectada por los satélites BATSE y RXTE el 3 de julio, y a la que se ha designado con el nombre *GRB980703*.

Estas explosiones son espectaculares ya que liberan cantidades ingentes de

energía (muy superiores a los fenómenos supernova) y constituyen uno de los fenómenos más enigmáticos del Universo. Los científicos desconocen los procesos físicos que originan tales eventos así como su procedencia (si estos sucesos tienen lugar en nuestra galaxia o en otras galaxias lejanas). Sin embargo, existen indicios de que se trata de fenómenos extragalácticos.

Estos estallidos de energía son efímeros, teniendo una vida muy corta (pocos días), por lo que todas las observaciones que puedan recogerse en los momentos inmediatamente posterior a su detección proporcionan información muy útil para el estudio y la comprensión de estos procesos.

Científicos del IAC y del Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental (LAEFF-INTA, Madrid) mantienen una estrecha colaboración con investigadores asociados a los proyectos de satélites de rayos gamma y rayos X. Como resultado, a las pocas horas del anuncio de la alerta GRB980703 se tomaron imágenes en el visible con el telescopio IAC-80 las noches del 3 y del 5 de julio. Se ha identificado una única fuente débil (de magnitud 20.6, más de 4 trillones de veces más débil que el Sol) que no está presente en las imágenes de archivo del *Digital Sky Survey (DSS)* y que en el intervalo de tan solo dos días disminuyó su luz en un factor 4. Esta fuente sigue debilitándose desde que se detectó la explosión y es el candidato más fiable para ser la contrapartida óptica del estallido en rayos gamma.



Imágenes tomadas en julio de 1998 con la cámara CCD en el telescopio IAC-80 de la zona del cielo en la que se detectó la fuente intensa de rayos gamma GRB980703. La identificación óptica (filtro R) de dicha fuente está indicada con una flecha en cada una de las imágenes. Nótese la caída de brillo (más de dos magnitudes) entre la primera detección (4 de julio, R=21) y la última observación (7 de julio, R=22.6). La orientación y el tamaño del campo están indicadas en la primera de las imágenes.

EL TELESCOPIO IAC-80 «FOTOGAFIÓ» EL CUERPO CELESTE RESPONSABLE DE UNA DE LAS EXPLOSIONES DE ENERGÍA MÁS INTENSAS CONOCIDAS. SE TRATA DE LA PRIMERA EXPLOSIÓN DE RAYOS GAMMA OBSERVADA DESDE DEL OBSERVATORIO DEL TEIDE POR INVESTIGADORES DEL IAC

INVESTIGADORES:

Miembros del IAC:

María Rosa Zapatero Osorio
Romano Corradi
Begoña García-Lorenzo
Carlos Gutiérrez
Hans Deeg,
Jordi Cepa,
Miriam Centurión
Víctor S.J. Béjar
Alejandro Oscoz
Simon Kemp

Miembros del LAEFF (Madrid):

Alberto Castro-Tirado
J. Gorosabel

RESUMEN DE NOTICIAS SOBRE EL "GRAN TELESCOPIO CANARIAS"

PEDRO ÁLVAREZ (Director de "GRANTECAN, S.A.")

1. Aprobación definitiva del proyecto

El pasado mes de marzo, la Presidencia del Gobierno de España, a través de la Oficina de Ciencia y Tecnología (OCYT), anunció la aprobación definitiva del proyecto reiterando el deseo de abrirlo a la participación internacional hasta un nivel del 30%.

2. Socios internacionales

A lo largo de los meses pasados se ha continuado explicando el proyecto en múltiples foros internacionales. La clara decisión de la Presidencia del Gobierno ha resuelto las dudas que muchos se planteaban sobre el proyecto y les ha animado a solicitar, formalmente, la participación en el mismo. Se han recibido ya cartas de intención de:

- El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y de la

Universidad Nacional Autónoma de México.

- La Universidad de Massachusetts, de Estados Unidos.

- El Reino Unido de Inglaterra, conjuntamente con los Países Bajos.

- El Instituto Tata, de la India.

- La Universidad de Turku, en Finlandia.

En el mes de septiembre se iniciaron los primeros pasos para las negociaciones bilaterales que permitan concretar quiénes serán, definitivamente, los socios que participarán con España en este proyecto.

3. Selección del lugar de instalación del "Gran Telescopio Canarias" (GTC) en el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM)

Tras las intensivas campañas de prospección realizadas en el ORM para identificar el lugar idóneo para la instalación del GTC se ha elegido el denominado "Sitio 2". Esta elección no ha resultado fácil, dada la gran similitud de las dos ubicaciones estudiadas, consecuencia de la extraordinaria calidad del Observatorio. Ésta ha sido la más recomendada, aunque no ha dejado contentos a todos los participantes en el proceso de selección.

Durante estas campañas de prospección se han comparado las características meteorológicas, la calidad de imagen, la absorción en el infrarrojo por vapor de agua, la orografía y la calidad del subsuelo.

4. El proyecto está en la fase de Diseño Preliminar o Básico

Concluida la fase de Diseño Conceptual, se inició, en la segunda mitad de 1997, la fase de Diseño Preliminar o, también denominada por otros, de Diseño Básico. En esta fase se pretende analizar cada uno de los sub-sistemas en que se descompone el telescopio por separado, hasta alcanzar unas especificaciones adecuadas para lanzar los contratos de suministro de los mismos, pasando por una fase previa de Diseño

de Detalle, a ser realizada por los propios fabricantes, o por empresas especializadas.

Esta fase de Diseño Preliminar es en la que nos encontramos ahora y se extenderá hasta bien avanzado el año 2000, en los sub-sistemas menos críticos. El primer sub-sistema en finalizar su Diseño Preliminar es el de la Obra Civil, que celebró la Revisión de Diseño Preliminar (PDR) el pasado mes de julio.

Uno de los sub-sistemas más complejos del proyecto es el de los mecanismos de medida y posición de los 36 segmentos del espejo primario. Cada segmento tiene unas dimensiones próximas a 1,9 metros de diagonal y una masa de 450 kilogramos y ha de colocarse en su posición correcta con una precisión de algunas centésimas de micra y mantenerse así durante muchas noches de observación.

Las empresas **Construcciones Españolas de Sistemas Aeronáuticos (CESA)** e **ImásDe Canarias** han desarrollado para GRANTECAN prototipos de sensores y actuadores que, tras las pruebas de verificación realizadas conjuntamente con el IAC, cumplen con las especificaciones que requiere el GTC. En estos desarrollos ha participado también la empresa **Galileo Ingeniería y Servicios**, desarrollando la interfaz de usuario con los sistemas electromecánicos.

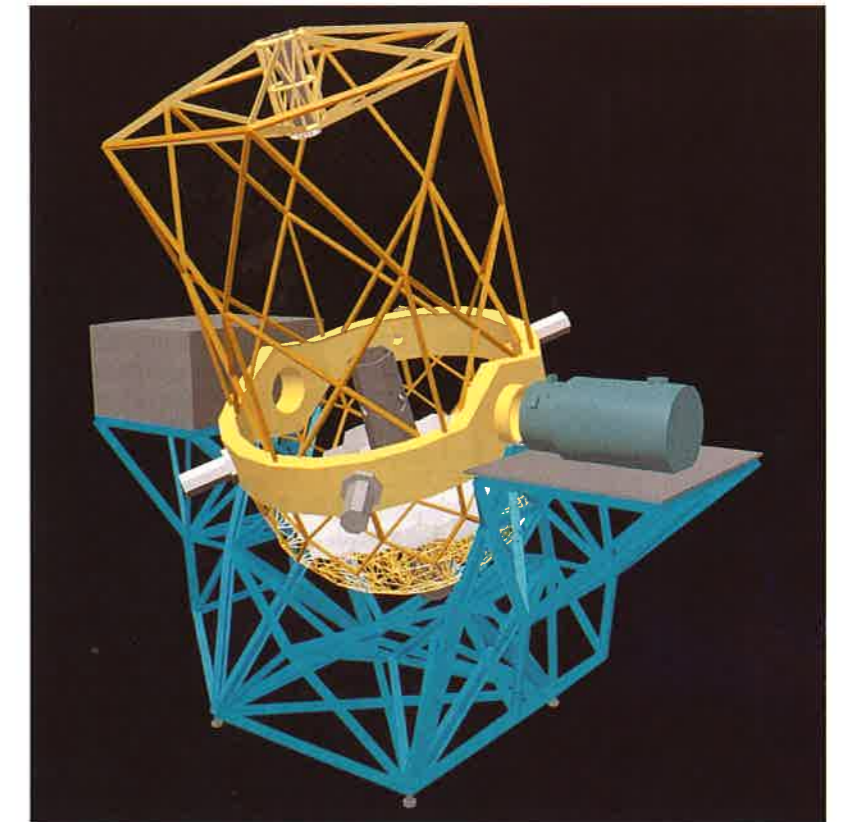
Actualmente estas dos empresas trabajan en el desarrollo de un banco de pruebas que simulará dos de los segmentos del espejo primario del GTC sobre el cual se realizarán pruebas del sistema de control que ha de lograr la correcta orientación de los segmentos y su estabilidad. Para el desarrollo de los algoritmos de control del espejo primario, GRANTECAN ha colaborado con el **Departamento de Física Aplicada de la Universidad de La Laguna, Sección Departamental de Computadoras y Control**. Este banco de pruebas se está terminando de montar en los talleres del IAC.

El **Departamento de Óptica y Optometría de la Universidad Politécnica de Cataluña** ha realizado un sistema interferométrico que será utilizado con el banco de pruebas ya mencionado. Este prototipo puede conducir a una de las soluciones para

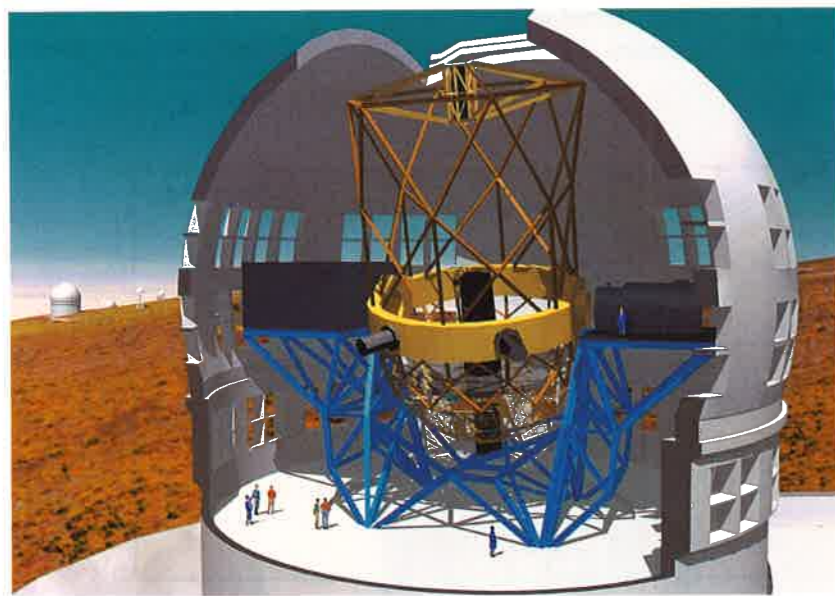
el calibrado de la posición de los segmentos en el GTC durante el día, cuando el telescopio no es utilizado en observaciones astronómicas, lo que supondría un aumento importante del tiempo útil del telescopio.

La empresa alemana **STZ Leuchtentechnik** está realizando para GRANTECAN el estudio de luz difusa que, en el entorno del GTC, pueda alcanzar los focos del telescopio y molestar las observaciones que realicen los diferentes instrumentos. Con la información que va surgiendo de este trabajo, se están abordando las soluciones y alternativas para minimizar o cancelar los efectos de luz difusa.

El centro tecnológico **IKERLAN** ha realizado para GRANTECAN un estudio de alternativas y posibles soluciones para el sub-sistema de accionamientos del espejo secundario. Este sub-sistema ha de permitir a este espejo ajustar su posición en relación con el espejo primario y mantener correctamente alineado el sistema óptico, independientemente de las flexiones o deformaciones residuales de la estructura del telescopio.



Diseño de la estructura del Gran Telescopio Canarias (GTC), con un espejo primario formado por un mosaico de 36 espejos hexagonales que en total suman una superficie de unos 10 m de diámetro.



Diseño del edificio del Gran Telescopio Canarias (GTC), que se ubicará en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

El Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), de la Universidad Politécnica de Cataluña, está finalizando un conjunto de simulaciones que están aportando una información clave para la definición de las necesidades de ventilación natural de la cúpula. Con esta información es posible establecer las características y comportamiento de las aberturas que se van a disponer en la cúpula para facilitar el intercambio térmico con el exterior y evitar así perturbaciones en las observaciones del GTC motivadas por inhomogeneidades térmicas en el entorno del telescopio.

La empresa **IBERESPACIO** ha finalizado los estudios que realizaba para GRANTECAN destinados a definir el conjunto de edificio y cúpula del GTC, analizando posibles soluciones a los requerimientos planteados y proponiendo diversas configuraciones a ser analizadas con detalle posteriormente.

La **Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid**, ha realizado una modelización de la estructura mecánica del telescopio con el objetivo de optimizar su comportamiento dinámico y reducir al mínimo las vibraciones de la misma que afectan negativamente a la calidad de imagen final.

La empresa **SENER** ha realizado para GRANTECAN un estudio de las alternativas para los sub-sistemas de movimiento y posicionado de la estructura del telescopio. Estos sub-sistemas han de mover la masa total del telescopio, estimada en unas 250 toneladas y posicionarla correctamente con una precisión de algunas centésimas de segundo de arco.

Las empresas **ZEISS**, en Alemania, y **REOSC**, en Francia, están realizando para GRANTECAN sendos programas de desarrollo destinados a resolver los aspectos más conflictivos en la realización del pulido de los segmentos del espejo primario. También la empresa **KODAK** en Rochester (EEUU) ha sido recientemente seleccionada para realizar uno de estos programas de desarrollo. Algunos de los aspectos a analizar son la rugosidad residual de pulido y su contenido en frecuencias espaciales y el pulido en el borde de los segmentos. Estas empresas trabajan también en la definición de los escenarios de producción de los segmentos más adecuados para el GTC. Estos progra-

mas finalizarán entre los meses de abril y mayo del próximo año. Tras ellos se procederá a la contratación del pulido de los 42 segmentos necesarios para el GTC cuyo suministro se extenderá hasta finales del año 2003.

El Dr. Jim Burge, del Optical Lab. de la Universidad de Arizona, está poniendo a punto un método de verificación óptica de los segmentos del GTC basado en máscaras holográficas.

La empresa **LV Salamanca Ingenieros** ha sido, recientemente, la adjudicataria para realizar el diseño de detalle de la obra civil e instalaciones auxiliares del edificio del GTC. Este diseño finalizará en el mes de abril de 1999, a partir del cual se procederá a la contratación de su realización en el ORM. Las obras en el Observatorio podrían comenzar antes de finales de 1999 o a principios del 2000, tras la época invernal.

Para la realización de gran parte de los trabajos de Diseño Preliminar de la estructura mecánica del telescopio y sus mecanismos de movimiento y posición, se han seleccionado las empresas **IBERESPACIO** y **NFM Technologies** (Francia). Está previsto que esta actividad de diseño finalice a lo largo del mes de julio de 1999, tras lo cual se procederá a la contratación del Diseño de Detalle, Construcción e Instalación del telescopio.

En diciembre se inició el proceso de licitación para el suministro de los bloques de "vidrio" de los segmentos del espejo primario. Esta licitación estará resuelta en el mes de febrero de 1999 y se prevé que este suministro se extenderá hasta finales del año 2001.

5. Próximas contrataciones

A lo largo del próximo año 1999 se procederá a las siguientes contrataciones:

- El suministro de los bloques de vidrio para los segmentos del espejo primario. Licitación abierta desde diciembre de 1998.
- El diseño de detalle, construcción e instalación de la cúpula. Licitación que se prevé abrir en marzo/abril de 1999.
- La construcción de la obra civil e instalaciones auxiliares. Licitación que se prevé abrir en junio de 1999.
- Pulido de los segmentos del espejo primario. Licitación que se prevé abrir en julio de 1999.

- Diseño de detalle, construcción e instalación de la estructura del telescopio y sus mecanismos. Licitación que se prevé abrir en julio de 1999.

6. Primera generación de instrumentos

Tras la reunión de astrofísicos españoles celebrada en Tenerife en octubre del pasado año, en la que se discutieron los intereses de la comunidad astronómica española en el GTC, a finales de 1997, GRANTECAN S.A. invitó a los científicos y centros españoles interesados en el desarrollo de instrumentos para el GTC, a realizar estudios de viabilidad de posibles instrumentos de primera generación para el GTC.

De las propuestas presentadas, tras un proceso de selección y discusión con los interesados, se financiaron los siguientes estudios de viabilidad:

- *Proposal to design and build an optical intermediate dispersion spectrograph for the GTC*, cuyo Investigador Principal es el Dr. Ramón J. García López.

- *OSIRIS (Optical System for Imaging and low-Resolution Integrated Spectroscopy)*, cuyo Investigador Principal es el Dr. Jordi Cepa Nogué.

- *COSMOS - A scientific and instrumental program for the Gran Telescopio de Canarias*, cuyo Investigador Principal es el Dr. Marc Barcelles.

- *A High Resolution Near-IR Integral Field Spectrometer for GTC*, cuyo Investigador Principal es la Dra. Almudena Prieto.

- *A proposal for CANari-CAM: An 8-25 micron Imaging-Spectrograph*, cuyo Investigador Principal es el Dr. Mark Kidger.

El 15 de julio se lanzó el Anuncio de Oportunidad para seleccionar los dos instrumentos de primera generación del GTC, y cuyo plazo se cerró el 15 de diciembre. A mediados de marzo de 1999 se tomará la decisión de cuáles serán los primeros instrumentos científicos del GTC, que han de desarrollarse posteriormente para ser finalmente instalados en el año 2003.

7. Revisiones del proyecto

Con el fin de asegurar cada uno de los pasos que se van dando en el proyec-

to y evitar posibles errores se han establecido dos tipos de revisiones periódicas a las que se invita a participar a expertos internacionales.

Unas, denominadas Revisiones de Progreso, se celebran cada seis meses aproximadamente. En ellas se revisa el avance y progreso realizados en el proyecto, así como su planificación temporal y económica, y se ponen de manifiesto aquellos aspectos que pueden significar un riesgo en la evolución del proyecto y en el alcance de sus metas.

Otras se denominan Revisiones Críticas de Diseño y se celebran a la finalización de cada una de las etapas de diseño de los diferentes sub-sistemas del telescopio. Con ellas se pretende asegurar que la etapa finalizada ha alcanzado los objetivos establecidos y que está acorde con los requerimientos iniciales, antes de pasar a la etapa siguiente de diseño.

Durante los pasados días 29 y 30 de junio tuvo lugar la primera revisión de progreso del proyecto y el 1 de julio la Revisión Crítica de Diseño Preliminar (PDR) de la Obra Civil. Participaron en estas revisiones como invitados externos los siguientes:

- **Jerry Nelson**. Responsable científico del proyecto Keck.
- **Andrés Ripoll**. Experto de la Agencia Europea del Espacio (ESA).
- **Alec Bocksemberg**. Ex director del Royal Greenwich Observatory (RGO).
- **Hans Boesgard**. Responsable del diseño de la mecánica de los telescopios Keck.
- **Hilton Lewis**. Responsable del Sistema de Control de los telescopios Keck.
- **José Terán**. Experto en Ingeniería Civil de la empresa M3 Engineering.
- **Neil Parker**. Director en funciones del RGO.
- **Philippe Dierickx**. Responsable de la óptica del proyecto Very Large Telescope (VLT).
- **Rene Rutten**. Director del Isaac Newton Group (ING).
- **Thomas Sebring**. "Project Manager" del proyecto SOAR.
- **Torben Andersen**. Experto del Observatorio de Lund (Suecia).

Estas revisiones aportan al proyecto información externa que resulta muy útil para confirmar los pasos que se van dando, corregir errores o riesgos no identificados y planificar acciones que garanticen la correcta ejecución del proyecto.

Entrevista con el astrofísico MICHEL MAYOR, del Observatorio de Ginebra

EPICURO TENÍA RAZÓN

“El 100% de las estrellas pueden tener planetas”

CARMEN DEL PUERTO (IAC)

Michel Mayor y sus colaboradores, del Observatorio de Ginebra (Suiza), sorprendieron al mundo con el anuncio, en octubre de 1995, del descubrimiento del primer planeta fuera de nuestro Sistema Solar. Se trataba de un objeto girando en torno a la estrella 51 de la constelación de Pegasus, (“51 Peg”) y situada a unos 40 años luz de la Tierra. De no existir en el futuro una recomendación de la Unión Astronómica Internacional sobre la nomenclatura que debe regir en el caso de los nuevos planetas, el de “51 Peg” (de momento “51 Pegb”) podría terminar llamándose “Epicuro”, como tributo al filósofo griego que imaginó hace más de dos mil años, en una de sus *Cartas* a Heródoto, la existencia de otros mundos. Esta propuesta la hacía Mayor en una entrevista concedida con motivo de su participación, como conferenciante invitado, en la III Reunión Científica de la Sociedad Española de Astronomía (SEA), que se celebró, del 21 al 24 de septiembre, en el Museo de la Ciencia y el Cosmos del Cabildo de Tenerife, organizada en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Canarias.

LOS ASTRÓNOMOS, ENTRE ELLOS MICHEL MAYOR, SE PREGUNTAN CÓMO SE PUEDEN FORMAR PLANETAS GIGANTES A DISTANCIAS TAN CORTAS DE LAS ESTRELLAS, COMO SUCEDE EN EL CASO DE 51 PEG, CUYO PLANETA -160 VECES MAYOR QUE LA TIERRA- SÓLO TARDA 4 DÍAS EN DAR LA VUELTA A LA ESTRELLA.

Hoy en día, cuando los anuncios de descubrimientos de nuevos planetas se suceden en la prensa (acaban de anunciarse dos nuevos en la lista), algunos diccionarios aún definen *planeta* como cada uno de los astros que describen una órbita alrededor del Sol, ignorando en la definición posibles planetas alrededor de otras estrellas. Tampoco los planetas *vagabundos* que se conocían en la época de los griegos eran todos los que ahora componen nuestro Sistema Solar. Faltaban por descubrirse Urano, Neptuno y Plutón, éste último ya en el siglo XX, y algunos de los que se consideraban como tales no lo eran, como el propio Sol y la Luna.

La situación se ha complicado en la actualidad por dos razones. La primera es que los planetas “extrasolares” encontrados (también llamados “exoplanetas”) están demasiado cerca de sus respectivos soles para lo grandes que son. Los astrónomos, entre ellos Michel Mayor, se preguntan cómo se pueden formar planetas gigantes a distancias tan cortas de las estrellas, como sucede en el caso de 51 Peg, cuyo planeta -160 ve-

ces mayor que la Tierra- sólo tarda 4 días en dar la vuelta a la estrella (uno de los recién descubiertos sólo tarda 3, mientras que Mercurio, el planeta más cercano al Sol, emplea 88 días en hacer lo propio).

En nuestro Sistema Solar, si bien un planeta no es igual a otro (unos son telúricos, como la Tierra, otros gaseosos, y cada uno con un tamaño diferente), los planetas mayores se encuentran alejados del Sol. Sin embargo, “lo estimulante para los astrofísicos -señala Mayor- es que los planetas extrasolares detectados hasta la fecha se encuentran muy próximos a la estrella”, lo cual contradice la teoría actual que explica la formación de planetas gigantes. “Según este modelo -prosigue Mayor-, estos planetas se forman inicialmente a partir de pequeños núcleos de hielo que con el tiempo adquieren masas diez veces superiores a la de la Tierra. A partir de entonces, por la fuerza de la gravedad van atrayendo materia hasta formar un planeta gigante”. Y añade: “la gran sorpresa ha sido que, sobre todo en el caso de 51 Peg, el planeta esté muy cerca de

la estrella, a una distancia donde el hielo simplemente no puede existir”.

“Actualmente se debate la posibilidad -comenta Mayor- de que los planetas gigantes se hayan formado en un principio más alejados de la estrella y de que con el tiempo se hayan ido acercando a ella trazando una espiral. De modo que si existen planetas más pequeños próximos a la estrella o en posiciones intermedias podrían ser absorbidos por los planetas grandes.”

¿Planetas o enanas marrones?

La segunda razón que apuntábamos y que complica el estudio de los planetas es la aparición en el escenario de las “enanas marrones”, una nueva categoría de objetos que, al situarse entre estrellas y planetas, constituye el eslabón perdido de la evolución estelar. Su pequeño tamaño y su débil luminosidad dificultan en extremo su observación (al igual que los planetas, las enanas marrones carecen de luz propia, dado que no se producen reacciones nucleares en su interior). Fue en 1995, poco antes que el anuncio del planeta de 51 Peg, cuando el equipo del IAC integrado por Rafael Rebolo, Eduardo Martín y María Rosa Zapatero Osorio, anunció el descubrimiento de “Teide 1”, el primero de estos hasta entonces hipotéticos objetos del Universo.

“Teide1” es la primera enana marrón reconocida como tal, según la revista *Nature*, en su número del 14 de septiembre de 1995. Es un objeto que con su nombre rinde homenaje al Observatorio del Teide, desde donde fue observado por primera vez con el telescopio español “IAC-80” (el 1 que se añade a Teide indica que se trata de la primera de una serie, dejando abierta la puerta a posibles Teide 2, Teide 3,...).

Los planetas guardan un gran parecido con las enanas marrones y las diferencias entre ambos no son obvias. “Cuando íbamos al colegio -recuerda Mayor- aprendíamos lo que era exactamente un planeta y lo que era una estrella, y entendíamos de forma clara la diferencia. Sin embargo, en el caso de las enanas marrones y los planetas, que pueden tener masas idénticas, la diferencia viene dada por el mecanismo exacto de formación”.

“Una enana marrón se forma, al igual que una estrella, de una gran nube

de gas y polvo en el espacio. A partir del colapso de la nube se forma la estrella o la enana marrón. Pero para los planetas, el mecanismo es muy distinto. Muchas veces sucede que hay un exceso de momento angular, de rotación (la nube gira muy rápidamente), que acaba convirtiéndose en un disco alrededor de la estrella. El planeta se forma a partir de la acreción de materia dentro de este disco en un proceso secundario. No se forma directamente del colapso de la nube original”, explica este astrónomo.

Pero la masa también es determinante para diferenciarlos, se corrige Mayor, “la enana marrón más pequeña que se puede formar es de aproximadamente 10 veces la masa de Júpiter [Teide 1 es 50 veces mayor]. En cambio, el planeta de 51 Peg es 10 o 20 veces más pequeño”.

Técnicas de detección

Los astrónomos Geoffrey Marcy y Paul Butler, de la Universidad de California en Berkeley (Estados Unidos), comenzaron la búsqueda de planetas en 1988. Dado lo difícil, por no decir imposible, que resulta observar planetas de forma directa, ambos se afanaron en el desarrollo de una nueva técnica para su detección: la medición de los desplazamientos *doppler* de la luz de las estrellas. La técnica era tan compleja que había que introducir mejoras en los telescopios, en los espectrómetros y, especialmente, en el software informático para el análisis de los datos.

Pero mientras ellos perfeccionaban su método, Mayor y Didier Queloz, del Observatorio de Ginebra (Suiza)-, se les adelantaron anunciando el descubrimiento de un planeta muy cercano a una estrella, y tan cercano que ejercía un efecto gravitatorio impresionante sobre el astro, haciéndole oscilar notablemente. De modo que, aunque Marcy y Butler ostentan en la actualidad el récord del mayor número de planetas extrasolares descubiertos, los suizos les arrebataron la primicia de anunciar el primero de ellos.

A las complicaciones anteriores se suma, como hemos visto, la dificultad de la detección, pues “evidentemente no se pueden ver los planetas”, -subraya Mayor- y, de momento, las técnicas utilizadas para su detección son indi-



Michel Mayor

CON GRANDES TELESCOPIOS EN TIERRA SE PODRÁN VER DISCOS EN TORNO A ESTRELLAS MUY JÓVENES, SISTEMAS PLANETARIOS EN FORMACIÓN Y LOS NUEVOS PLANETAS QUE SURJAN DE ESTE PROCESO. PARA EL ESPACIO SE RESERVA LA POSIBILIDAD DE ESTUDIARLOS CON MÁS DETALLE.

rectas. Precisamente, este astrofísico suizo abrió la primera sesión de la reunión de la SEA con una conferencia titulada "Radial velocity searches for extrasolar planets" (Búsqueda de planetas extrasolares mediante velocidades radiales). Con esta técnica, "lo único que podemos ver -señala- es una pequeña oscilación, un bamboleo de la estrella en su trayectoria a causa de la fuerza de la gravedad del planeta. Y esta técnica sólo funciona en la actualidad para planetas que tengan la masa de Júpiter o, tal vez, la décima parte. No puede detectar ningún planeta más pequeño. Tampoco sirve si el planeta está muy alejado de la estrella, pues su influencia gravitatoria será menor y apenas se percibirá."

Para la detección de esta oscilación o bamboleo de la estrella por efecto de un planeta se precisan muchos fotones, mucha luz. La nueva generación de grandes telescopios -entre ellos, el "Gran Telescopio Canarias"-, al ser mayores colectores de luz, "permitirán observar estrellas más débiles que no se pueden investigar de otra forma. Con grandes telescopios en tierra se podrán ver discos en torno a estrellas muy jóvenes, sistemas planetarios en formación y los nuevos planetas que surjan de este proceso. Para el espacio se reserva la posibilidad de estudiarlos con más detalle", señala Mayor.

A pesar de todos estos impedimentos, Mayor se resiste al pesimismo y piensa que, quizá, algún día, con nuevas ideas y nuevas técnicas lleguemos a saber de qué está compuesto uno de estos planetas. Y recordó: "El año pasado, una astrónoma francesa dijo que aparentemente había detectado una pequeña línea en el espectro de 51 Peg, debida a la evaporación del planeta que produce el viento de la estrella. Si eso se confirma, tendremos posibilidades de detectar otras líneas espectrales y así descubrir la composición del planeta y otros cuerpos de tipo cometario que haya en torno a estas estrellas. Esto es un ejemplo de algo que habría sido impensable hace tan sólo un par de años".

Proyecto "Darwin"

Se han estado buscando planetas extrasolares durante 50 años y ahora

se tienen unos cuantos. El número varía según dónde establezcamos la demarcación entre un planeta y una enana marrón. "Si ponemos el límite en 5 veces la masa de Júpiter, entonces son 9 los planetas, con esta masa o inferior, confirmados hasta la fecha", informa Mayor, quien se apuesta una botella de Rioja a que se va a mantener un ritmo de cinco planetas nuevos por año. Mayor no contaba los dos últimos que acaban de anunciarse.

Según una apreciación personal de este científico, pero compartida por sus colegas, "el 100% de las estrellas pueden tener planetas a su alrededor desde el momento en que siempre habrá un exceso de momento angular, un exceso de rotación, y, por tanto, la tendencia a formar discos protoplanetarios". Y añade: "Una prueba es que el 'Telescopio Espacial Hubble' ha observado en la nebulosa de Orión que todas las estrellas jóvenes, en vías de formación, tienen discos. Todas las estrellas están formando planetas".

Probablemente, durante los próximos 20 años, el campo de los planetas extrasolares se potencie, en gran medida por la cantidad de misiones espaciales que se van a lanzar pensadas para descubrir nuevos planetas más allá del Sistema Solar. Y Mayor apunta que "estamos en el umbral de poder hacer imagen directa de planetas de tipo terrestre desde el espacio", refiriéndose al proyecto "Darwin", una peculiar misión espacial que buscará planetas como el nuestro alrededor de las estrellas próximas con una técnica de interferometría infrarroja en el espacio (varios telescopios espaciales separados distancias de varios cientos de metros pero que combinarán la luz recogida). "La meta es analizar la atmósfera y la composición de esos planetas tipo Tierra y ver si hay cambios que indiquen la posibilidad de que se den las condiciones para que la vida se desarrolle". A fin de cuentas -concluye Mayor- "la pregunta que se está debatiendo es: ¿estamos solos en el Universo? Y éste va a ser el gran interrogante para la próxima generación de astrónomos, dado que ya contamos con varios planetas". Quizá Epicuro de Samos, desde su escuela Jardín, escriba una nueva carta a Heródoto contándoselo.

A TRAVÉS DEL PRISMA: Teorías de formación del Sistema Solar

Conversaciones con Guido Münch

En torno a las teorías de formación del Sistema Solar

M.C. ANGUIA (IAC)

Guido Münch es un hombre de mirada azul, pícara y amable, al que tantos años mirando en la noche otros mundos no le han hecho olvidar este otro en el que vive y sueña. Y en la enormidad del día apunta con su pequeño telescopio al horizonte para que veamos también las ballenas que dos veces al año cruzan su mirada, mientras emigran de los fríos de Alaska a mares más calientes. La vida de un astrónomo, nos cuenta Guido, es de lo más normal. Pero después de charlar un rato con él, te das cuenta de que en su caso no es del todo cierto. Basta escucharle cómo años atrás, el 12 de noviembre de 1966, se encontraba a 12,5 km de altura sobre la costa de Brasil, tratando de meterse en el cono de totalidad de un eclipse solar. Este cono de sombra iba a una velocidad de 1.200 km/h, así que tardaba 4 minutos y medio en pasar sobre un punto fijo en el suelo; como ellos volaban a 900 km/h podían conseguir acompañar a la sombra durante 7 minutos. Por un error de navegación llegaron 10 minutos antes, así que veían cómo la sombra avanzaba hacia ellos mientras el avión, para hacer tiempo, se movía en forma de ochos y algunos astrónomos comenzaban a marearse. Por fin consiguieron entrar en la banda de totalidad. Guido no se olvida del maravilloso espectáculo, ni de la pequeña ventana desde la que observaba todo. Mientras me dibuja en el aire su tamaño, un recuerdo triste pasa por su cabeza. Esa ventana ya no está: algunos meses después del eclipse, el avión -un CV990 que la NASA destinaba para vuelos de Astronomía- chocó contra otro avión de patrulla submarina. Murieron todos los ocupantes, un grupo de geofísicos que regresaban de una expedición en Alaska.

Han sido miles y miles de años de observaciones y reflexiones lo que ha permitido al ser humano ser consciente de que el Sol es una estrella más entre aquéllas que llenan sus noches. También fue largo el camino para entender que Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno -los planetas visibles a simple vista- no son estrellas errantes, sino cuerpos sin luz propia que, como la Tierra, giran alrededor del Sol.

Ahora sabemos que el Sistema Solar tuvo un origen común hace, al menos, 4.500 millones de años. Y que nuestra estrella se formó, junto a los 9 planetas y otros cuerpos menores (asteroides, cometas...) que la acompañan, a partir de una gran nube de gas y polvo.

Pero las teorías de formación del Sistema Solar hacen aguas y los nuevos descubrimientos no parece que vayan a salvarlas. ¿Podremos finalmente reparar los agujeros o tendremos que cambiarnos de balsa o de teoría? Hablamos con Guido Münch sobre ello:

¿Cuál de las teorías sobre la formación del Sistema Solar tiene más aceptación hoy en día?

"En los últimos dos siglos, cada astrónomo de cierto nombre se veía obligado a crear una teoría del Sistema Solar, por lo cual hay muchas. A su vez, cuanto mejor lo conocemos (y cada día sabemos mucho más debido a las naves espaciales que han estado cerca de los planetas), más se complican.

Guido Münch es Profesor Emérito del Instituto Max-Planck de Astrofísica de Heidelberg (Alemania), Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica 1989 y acaba de recibir la Gran Cruz de la Orden Civil de Alfonso X el Sabio, condecoración otorgada por el Consejo de Ministros español.



Guido Münch

La teoría clásica de Laplace

"El problema de explicar el Sistema Solar fue formulado hace 200 años y realmente —señala Guido— no ha cambiado mucho desde entonces. Laplace, francés, gran físico y astrónomo que era especialista en mecánica celeste, se hizo el siguiente planteamiento: en el Sistema Solar nos encontramos con un cuerpo central, el Sol, que concentra el 90% de la masa. La de los planetas, siete entonces (aún faltaban por descubrir Neptuno y Plutón), no alcanzan el 1 por mil, pero conservan casi todo el momento angular. El Sol gira muy lentamente, con un período de 27 días, pero los planetas, aunque tienen 1 milésima de la masa, giran muy deprisa, no sólo alrededor del Sol, sino también alrededor de sí mismos (por ejemplo, Júpiter tiene 10 horas de período). Laplace pensó que los planetas se formaron a partir del material que el Sol no pudo acumular, cuando la gran nube original se condensó. Y esto fue porque se estaba moviendo muy rápidamente. El material que el Sol no pudo capturar es el que dio origen a los planetas. La esencia de esta teoría ha sobrevivido desde entonces".

¿Cuál es la razón de que Júpiter tenga un período de rotación de 9 ó 10 horas, mientras que el de la Tierra es de 24 horas?

"La Tierra perdió el 90% de su masa y, quizá, esa masa que perdió se llevó la rotación."

La teoría clásica de Laplace explica la composición y el tamaño de los planetas en función de su distancia al Sol como una consecuencia directa de la propia formación del Sistema Solar. Los planetas más cercanos al Sol eran calentados a una temperatura tal, que el hidrógeno (componente principal de la nube original) no podía condensarse, y al ser gaseoso se escapaba de los planetas llamados "terrestres" (Mercurio, Venus, Tierra y Marte). Por otro lado, los planetas más alejados del Sol recibían mucho menos calor, con lo que los gases de la nube original no se escaparon del todo.

"Con esta teoría se explica que haya dos clases de planetas: unos pequeños, hechos de materiales relativamente pesados, piedras, y otros grandes, hechos de gases como el hidrógeno, mucho más ligeros."

Y añade Guido: "La Tierra se está secando, perdemos agua porque continuamente se pierde el hidrógeno, escapa y el oxígeno se queda. Creemos que casi toda el agua que hay en la Tierra salió de la corteza, se exudó. Y se formó una capa exterior sólida. Mientras que los planetas más distantes son completamente gaseosos y están bien mezclados".

¿Cómo se explica en esta teoría la presencia a tanta distancia del Sol de un cuerpo como Plutón?

"Se piensa que Plutón fue capturado de entre los muchos cuerpos que pueden existir a gran distancia del Sol, en el "cinturón de Kuiper". Neptuno no es tan ligero como Júpiter es mucho más pesado y también debió de ser capturado. Dentro de esta teoría, los cometas tampoco se acomodan bien pues, aunque tienen elementos ligeros, sus núcleos son pesados."

Transplutonianos

"Otro problema es que no haya más cuerpos transplutonianos, pues los cálculos nos dicen que 10.000 veces la masa de los planetas terrestres se perdió; los planetas grandes también han perdido masa. Júpiter tiene tan sólo el 10% del hidrógeno que debería tener. Hay mucha masa perdida, debe de estar en algún lugar. Si hubiera un transplutoniano del tamaño de Júpiter a 5.000 UA parecería una estrella muy débil, pero con un movimiento propio muy rápido, de varios segundos de arco por año. Para saber si pertenecen a nuestro sistema solar habría que seguirlos durante muchos años. Hay que ir al espacio para tomar datos. Se han ido descubriendo transplutonianos por casualidad, aunque ahora ya se están buscando. Si viéramos un planeta como Júpiter a 10.000 UA no nos extrañaría, lo extraño sería que no lo hubiera".

Planetas extrasolares y teorías de formación de sistemas planetarios

Si nuestra estrella, el Sol, se formó, junto a los nueve planetas, asteroides, cometas y resto de cuerpos menores, a partir de una gran nube de gas, por qué no pensar que lo mismo ha sucedido con otras estrellas. Por eso, durante 50 años los astrónomos han estado buscando planetas alrededor de ellas.

En octubre de 1995, dos astrónomos suizos, Mayor y Queloz, descubrieron

el primer planeta extrasolar, orbitando alrededor de la estrella 51 Pegasi. Y desde entonces se han sucedido los descubrimientos de estos también llamados "exoplanetas".

"El primero de estos nuevos planetas descubiertos está orbitando a una estrella que es más o menos del mismo tamaño y temperatura que el Sol. Y no podemos entender cómo estando a una distancia que es 4 centésimas la distancia de la Tierra al Sol, puede tener una masa tan grande (es la mitad que la de Júpiter). Esa distancia es una décima parte de la distancia de Mercurio, el cual, al estar tan cerca del Sol, tiene una temperatura superficial de 700°K. No se pudo haber formado ahí, de haberlo hecho se habría evaporado".

¿Ahora podría estar evaporándose?

"Es lo que queremos ver, pero no podemos. No vemos este planeta, lo que vemos es su gravitación, el efecto que tiene en el movimiento de la estrella primaria. Por eso, se piensa que estos cuerpos se formaron lejos, a distancias como la de Júpiter al Sol, y que luego migraron. Y esto tal vez sea fácil de explicar, lo malo es que luego tenemos que inventar otro procedimiento para detener este movimiento y que no choque el planeta con la estrella y desaparezca totalmente."

De cualquier forma, en el supuesto de que hayan migrado, ¿se supone que o bien chocarán o bien se consumirán?

"Eventualmente se pueden consumir, ¿dices por evaporación?"

Sí.

"Si son suficientemente pesados, dilatan y aguantan mucho tiempo, aunque su temperatura superficial sea de más de 100°. Pero el problema es cómo frenarlos. Ahora se están moviendo en órbitas circulares, pero no pudieron haberse formado en este tipo de órbitas. Si no, no habrían llegado nunca."

¿Así que sus órbitas serían muy excéntricas?

"Los astrónomos se las están ingenian-do. Por eso queremos ver uno de estos objetos directamente, no por métodos gravitatorios. Ver qué gases tiene en la superficie."

¿De ellos sólo podemos saber su masa?

"Sí, hoy en día sólo podemos saber su masa."

Entonces, ¿por qué creemos que están hechos de hidrógeno?

"Ésa es una pregunta muy buena, (ríe). No tenemos ninguna evidencia. Creemos que la Tierra se formó como te dije y que perdió hidrógeno. Hoy la Tierra es 300 veces más pequeña que Júpiter, pero creemos que ya desde el principio era más pequeña que la masa de Júpiter. Por lo menos tuvo que empezar con diez veces lo que tiene hoy la Tierra, pero pudo ser 100 veces mayor. ¿Cómo sabemos que es hidrógeno? No lo sabemos, pero si fuera roca, tendríamos que haber escondido como 300 veces la masa de Júpiter en otro lugar. Pensamos que estos posibles planetas tan cercanos a sus estrellas son gaseosos y están hechos de materiales ligeros como Júpiter. Tú preguntaste ¿cómo sabemos que no están hechos de roca? Podrían estarlo, pero entonces tendríamos que explicar cómo se disipó la 100 veces mayor cantidad de hidrógeno que estaba asociado con esas rocas. ¿Dónde está? ...Y podría estar. Sí, podría estar. Pero nadie ha hecho esa pregunta. La hicieron algunos investigadores, pero no se ha debatido suficientemente porque se piensa que estos planetas no están hechos de los elementos que forman la Tierra. Plantearse esto cambiaría la teoría más aceptada sobre la formación del Sistema Solar."

¿Qué es lo que está aportando el conocimiento de los exoplanetas a nuestras teorías?

"Hasta ahora, todas las teorías de formación de sistemas planetarios se habían basado en el conocimiento de uno solo, nuestro Sistema Solar. Con el descubrimiento de estos presuntos planetas en otras estrellas, hemos tenido que modificar esas teorías clásicas, para poder acomodarlos dentro de nuestra idea preconcebida de formación del Sistema Solar. No sabemos de ellos más que su masa y su distancia a la estrella primaria. Son los únicos dos parámetros con los que estamos jugando. Tal vez, cuando tengamos suficientes ejemplos y conocimientos acerca de otros sistemas podamos elaborar una teoría más general."

"PENSAMOS QUE ESTOS POSIBLES PLANETAS TAN CERCANOS A SUS ESTRELLAS SON GASEOSOS Y ESTÁN HECHOS DE MATERIALES LIGEROS COMO JÚPITER. PODRÍAN ESTAR HECHOS DE ROCA, PERO ENTONCES TENDRÍAMOS QUE EXPLICAR CÓMO SE DISIPÓ LA 100 VECES MAYOR CANTIDAD DE HIDRÓGENO QUE ESTABA ASOCIADO CON ESAS ROCAS."

JORGE IGLESIAS PÁRAMO presentó su tesis doctoral titulada *"Star Formation and Environment in a Sample of Galaxies in Compact Group"* ("Formación estelar y medio en una muestra de galaxias de un grupo compacto"), el 5 de febrero, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum laude". Esta tesis fue dirigida por el Dr. José M. Vilchez Medina, investigador del IAC.

"Formación estelar y medio en una muestra de galaxias de un grupo compacto"

JORGE IGLESIAS PÁRAMO

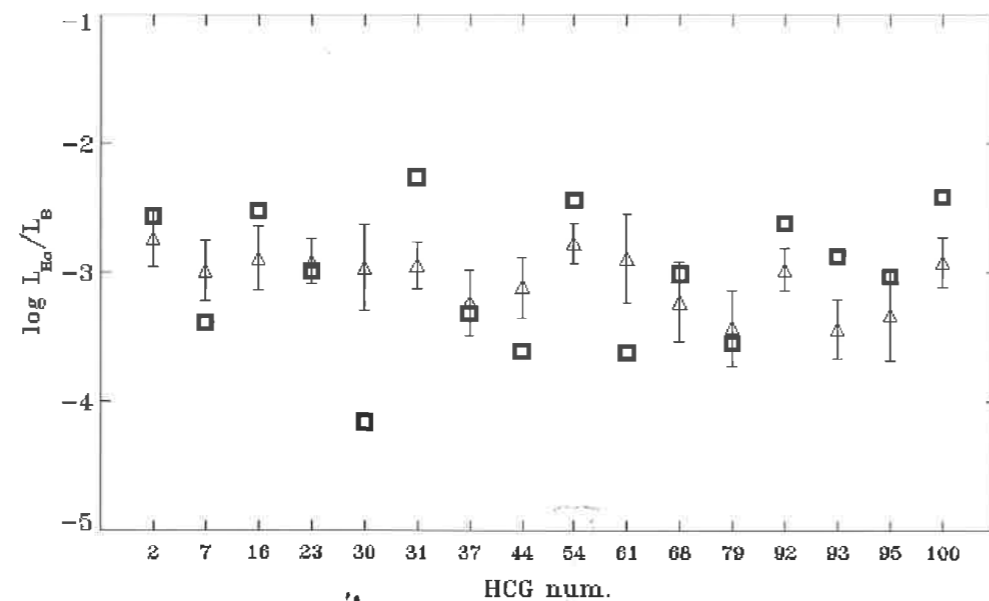
Nació en Madrid el 5 de septiembre de 1968. Estudió Ciencias Físicas en la Universidad Autónoma de Madrid, licenciándose en Física Teórica en junio de 1991. En septiembre de 1993 presentó la tesina de Licenciatura en la Universidad Autónoma de Madrid y en octubre del mismo año se incorporó al IAC como Astrónomo Residente. Desde enero de 1998 disfruta de un contrato postdoctoral como Astrónomo de Soporte en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

TRIBUNAL

Francisco Sánchez (IAC)
Mercedes Prieto (ULL/IAC)
Casiana Muñoz (IAC)
Enrique Pérez (CSIC/IAA)
Ángeles Díaz (Univ. Autónoma de Madrid)

Esta tesis tiene por objeto hacer un estudio de la influencia del medio en la formación estelar de una muestra de galaxias cercanas en grupos compactos. Las herramientas de trabajo utilizadas son una colección de imágenes de buena calidad de las galaxias de la muestra en la línea de H α y una muestra de galaxias del campo. La principal conclusión alcanzada es que la formación estelar en las galaxias de los grupos no mani-

fiesta un nivel más elevado que en las galaxias del campo, siendo las interacciones directas entre galaxias el principal agente potenciador del ritmo de formación estelar en galaxias. El estudio detallado de dos ejemplos ilustrativos sobre los procesos de formación estelar que tienen lugar en dos grupos peculiares cuyas galaxias muestran un estado de interacción avanzado cierra esta tesis.



Comparación del cociente de la luminosidad en H α frente a la luminosidad en la banda B de los grupos de nuestra muestra con respecto a los valores promedio obtenidos para la muestra de grupos sintéticos. Los cuadrados indican los valores para los grupos de la muestra; los triángulos indican los valores promedio para la muestra de grupos sintéticos. Las barras de error corresponden a una desviación típica.

GABRIEL GÓMEZ VELARDE presentó su tesis doctoral titulada *"Seguimiento de supernovas desde los observatorios de Canarias: análisis espectroscópico"*, el pasado 3 de marzo en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum Laude". Esta tesis ha sido dirigida por la Dra. Rosario López Hermoso, de la Universidad de Barcelona.

"Seguimiento de supernovas desde los observatorios de Canarias: análisis espectroscópico"

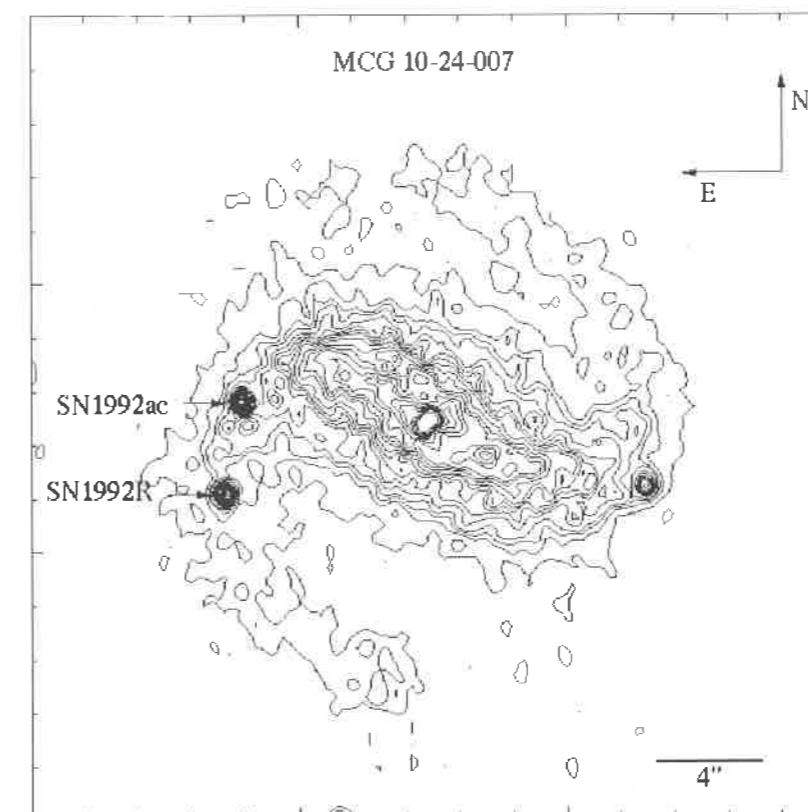
Hemos realizado un seguimiento espectroscópico de una amplia muestra de supernovas de diverso tipo y en diferentes fases de evolución.

Con estas observaciones, obtenidas con una instrumentación homogénea, hemos elaborado el ARCHIVO DE SUPERNOVAS DE CANARIAS. A partir de él hemos realizado un amplio estudio sobre las supernovas de tipo Ia. Como resultado, establecemos una *Secuencia Espectral Patrón*. Dicha secuencia es útil (y así se demuestra en este trabajo) para, por una parte, identificar objetos intrínsecamente peculiares y, por otra, datar de manera más fiable aquellos casos en los que no se disponga de información fotométrica. También cuestionamos la homogeneidad de las supernovas de tipo Ia, lo que no invalida la *Secuencia Espectral Patrón* creada,

ya que las variaciones detectadas son de segundo orden.

Presentamos, además, secuencias espectrales de los otros subtipos de supernovas: de tipo II y de tipo Ib/Ic.

Por último, hemos realizado un estudio individualizado de algunas supernovas que, por su naturaleza o por su amplia cobertura espectral, son de gran interés. Este es el caso de nuestro descubrimiento de una de las *Supernovas Gemelas* de tipo Ia: 1992R y 1992ac; el análisis de la supernova de tipo Ia peculiar 1991F, que apoya la existencia de un nuevo subgrupo de supernovas de tipo Ia pobres en helio: 1990U y 1991A; y el seguimiento espectral, hasta un año después de alcanzar su máximo, de la supernova de tipo II 1990E, que incluye la discusión sobre la naturaleza de su fuente de energía en la fase tardía.



GABRIEL GÓMEZ VELARDE

Nació en Lima (Perú), el 22 de julio de 1965. Estudió Ciencias Físicas en la Universidad de La Laguna (ULL), donde se licenció en Astrofísica en 1989. En 1990 obtuvo una beca FPI en el Dpto. de Astrofísica de la Universidad de La Laguna. Desde octubre de 1998 tiene una plaza postdoctoral en el IAC como Astrónomo de Soporte del Observatorio del Roque de los Muchachos.

TRIBUNAL

Francisco Sánchez (IAC)
Evencio Mediavilla (IAC/ULL)
Inmaculada Domínguez (Univ. de Granada)
Ángels Riera (Univ. Politécnica de Cataluña)
Willem Wamsteker (ESA)

BRUNO FEMENÍA CASTELL presentó su tesis doctoral titulada "Observaciones milimétricas desde tierra de anisotropías en el Fondo Cósmico de Microondas", el pasado 17 de mayo en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum Laude". Esta tesis ha sido dirigida por el Dr. Rafael Rebolo López, Coordinador de Investigación del IAC y Profesor de Investigación del CSIC.

"Observaciones milimétricas desde tierra de anisotropías en el Fondo Cósmico de Microondas"

En este trabajo se presenta un experimento fruto de la colaboración entre el Instituto de Astrofísica de Canarias y el *Bartol Research Institute* (Reino Unido) destinado a la medida de anisotropía en el Fondo Cósmico de Microondas y que realizó dos campañas de observación desde el Observatorio del Teide en los años 1994 y 1996. En esta tesis se discute la toma y el análisis de los datos correspondientes a la campaña de observación realizada entre junio y agosto de 1994 y en la que se tomaron unas 550 horas de datos.

La región de cielo observada estuvo centrada en declinación 40° fijando el telescopio al suelo en azimut y elevación y dejando que el cielo cruzase el haz instrumental al rotar la Tierra. Mediante una demodulación de los datos originales es posible extraer los dos primeros armónicos de la señal correspondientes a observaciones en las bandas multipolares $l=33^{+24}_{-13}$ y $l=53^{+22}_{-15}$ del espectro angular de fluctuaciones del Fondo Cósmico de Microondas (FCM).

El instrumento, con un tamaño de haz de $\text{FWHM} \approx 2,1^\circ$ y un ángulo de choqueo de $\beta \approx 2,9^\circ$, realizó medidas en cuatro bandas milimétricas centradas a longitudes de onda en 3,3, 2,1, 1,3 y 1,1 mm. Durante esta tesis se ha desarrollado una técnica de reducción del ruido atmosférico cuya aplicación a los datos ha permitido la eliminación de gran parte del ruido atmosférico en noches individuales de observación. En esta tesis se presentan los resultados de

varios tests para determinar la eficiencia de dicha técnica, concluyéndose que usando como monitor atmosférico el canal a más alta frecuencia es posible eliminar gran parte del ruido atmosférico en los otros tres canales.

La región final analizada estadísticamente depende del canal y demodulación considerada, siendo la mayor para el canal 1 en la banda a $l=53$ y que comprende las zonas de cielo entre $[206^\circ, 285^\circ]$ y $[331^\circ, 381^\circ]$ en ascensión recta. Las estimaciones de los distintos contaminantes Galácticos predicen señales debidas a éstos muy por debajo del ruido atmosférico e incluso de la señal que se espera del FCM. Los resultados de los datos en la banda $l=33$ son poco concluyentes y existen serias dudas de que todavía estén dominados por la presencia de residuos atmosféricos en el barrido final. El análisis de los datos en estas regiones en la banda $l=53$ revela la existencia de una señal con una amplitud consistente con otros resultados experimentales a escalas angulares comparables con la nuestra y con lo que se espera de los modelos teóricos de materia fría oscura. A pesar de la barra de error asociada, este resultado indica una subida del espectro angular de fluctuaciones del FCM, tal y como cabe esperar si en efecto existe el llamado pico Doppler y cuya existencia parece ser indicada por resultados experimentales de otros grupos trabajando a mayor resolución angular.

BRUNO FEMENÍA CASTELL

Nació el 3 de septiembre de 1970 en Gandía (Valencia). Estudió el primer ciclo de Ciencias Físicas en la Universidad de Valencia y el segundo ciclo (especialidad de Astrofísica) en la Universidad de La Laguna-Imperial College (con beca ERASMUS). Premio extraordinario de licenciatura en 1993, comenzó la tesis doctoral en el IAC en octubre del mismo año. En la actualidad tiene una plaza como post-doc en el Observatorio Astrofísico de Arcetri (Florencia, Italia), donde trabaja en el proyecto TMR *Laser Guide Star*.

TRIBUNAL

Diego Sáez (Univ. de Valencia)
Carlos Gutiérrez (IAC)
Juan E. Betancort (ULL/IAC)
Enrique Martínez (Univ. de Cantabria)
Fernando Atrio (Univ. de Salamanca)

IRENE GONZÁLEZ HERNÁNDEZ presentó su tesis doctoral titulada "Mapa sinóptico de flujos transversales en las capas altas de la zona de convección solar", el pasado 30 de abril en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum Laude". Esta tesis ha sido dirigida por el Dr. Jesús Patrón Recio, investigador del IAC.

"Mapa sinóptico de flujos transversales en las capas altas de la zona de convección solar"

Modelos teóricos de estructura y evolución estelar indican que en el Sol actual la convección térmica debe extenderse desde la superficie hacia el interior, formando una zona que ocupa del orden del 30% del radio en la cual los movimientos convectivos transportan prácticamente toda la energía que emerge del interior radiativo.

El conocimiento de la distribución y evolución de los campos de velocidades a gran escala en la superficie solar es una de las claves hacia la comprensión de mecanismos tanto de transporte energético, dígame la convección, como de fenómenos magnéticos, o dinamo solar. Sin embargo, y a pesar de que la teoría predice la existencia de celdas de convección gigantes, existen muy pocas o ninguna

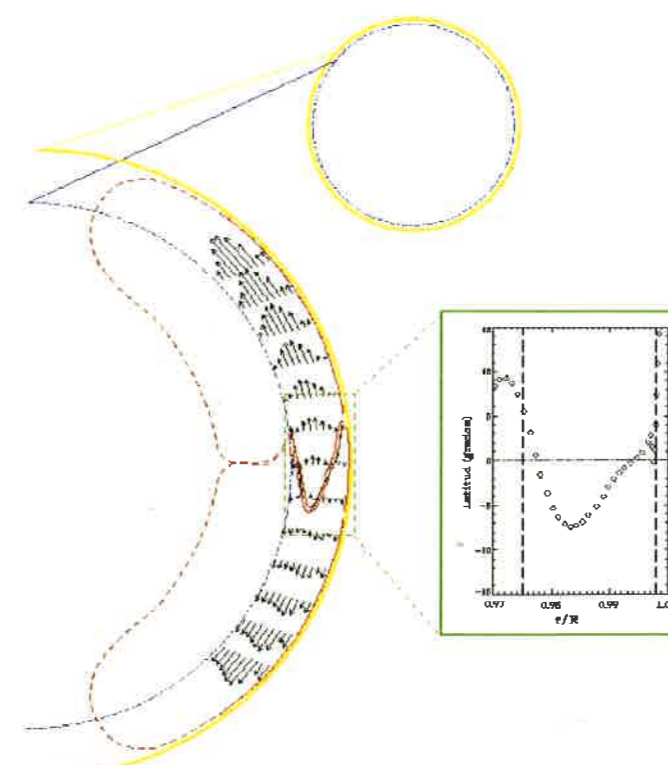
evidencia observacional de dichas estructuras. Desde hace unos años se ha venido aplicando la técnica de los *diagramas de anillos*, englobada en la denominada *heliosismología local* y que está basada en el desplazamiento producido en los espectros de potencias de los modos de oscilación solares por los campos de velocidades, como herramienta para obtener tales campos de velocidades. Hasta ahora este método ha estado prácticamente en prueba dando resultados muy positivos. El trabajo que se presenta pretende ser, por un lado, la consolidación de este método de análisis de datos heliosismológicos y, por otro, mostrar su capacidad para reproducir las propiedades locales del Sol que, combinadas, nos pueden brindar al mismo tiempo información acerca de propiedades globales.

IRENE E. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Nació en Tenerife el día 20 de octubre de 1969. Estudió Ciencias Físicas en la Universidad de La Laguna, donde obtuvo la licenciatura en 1993. En 1994 se incorporó al grupo de Física Solar del IAC con una beca de Formación de Personal Investigador, desarrollando su investigación en la rama de Heliosismología. En la actualidad trabaja como post-doc en el *Queen Mary and Westfield College* en Londres becada por la Agencia Espacial Europea.

TRIBUNAL

Teodoro Roca (IAC/ULL)
Fernando Pérez (IAC/ULL)
Antonio Jiménez (IAC/ULL)
Fernando Moreno Insertis (IAC)
Ramón Oliver (Univ. de las Islas Baleares)



Flujos meridionales en el Sol obtenidos a partir del análisis local de modos de oscilación acústicos.

LUIS BELLOT RUBIO presentó su tesis doctoral titulada "Estructura de los elementos magnéticos solares a partir de la inversión de espectros de Stokes", el pasado 28 de mayo en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum Laude". Esta tesis ha sido dirigida por los doctores Basilio Ruiz y Manuel Collados, investigadores del IAC.

"Estructura de los elementos magnéticos solares a partir de la inversión de espectros de Stokes"

En esta tesis se presenta un nuevo código de inversión de la ecuación de transporte radiativo específicamente diseñado para el análisis de los perfiles de Stokes que emergen de las estructuras magnéticas no resueltas en la fotosfera del Sol. El objetivo final es determinar consistentemente las propiedades termodinámicas y magnéticas de estas estructuras a partir del ajuste de la forma de los perfiles observados. El código de inversión se basa en el esquema propuesto por Ruiz Cobo y del Toro Iniesta (1992), e implementa el modelo de tubo de flujo delgado. Todos los parámetros considerados relevantes para el transporte radiativo (incluyendo campos de velocidad) se obtienen con la ayuda del algoritmo de Marquart.

La integración de la ecuación de transporte radiativo (ETR) se realiza a través de una nueva estrategia hermítica basada en el desarrollo en serie hasta cuarto orden del vector de Stokes. La técnica que proponemos es claramente superior a otros métodos tanto en velocidad como en precisión. Además, permite evaluar el operador evolución sin coste adicional al tiempo que se resuelve la ETR. Hemos investigado con detalle los efectos producidos por las oscilaciones magnetoópticas que aparecen en el operador evolución para líneas espectrales muy intensas. Estos problemas son comunes a todos los métodos de integración de la ETR, pero pueden minimizarse empleando redes no equiespaciadas.

Nuestro código hace uso intensivo de las llamadas funciones respuesta. Estas funciones describen los cambios que ocurren en el espectro de Stokes emergente cuando los parámetros atmosféricos son perturbados. En esta tesis identificamos los parámetros libres del modelo de tubo de flujo delgado y calculamos analíticamente las funciones respuesta correspondientes. A consecuencia de las ligaduras que impone

el modelo de tubo de flujo delgado, el valor de dichas funciones a una altura dada depende no sólo de las condiciones físicas de la capa en cuestión, sino también de capas superiores. El problema de inversión es, pues, un problema no local.

Se presenta un estudio detallado del comportamiento del código con datos sintéticos. Con ello se pretende caracterizarlo y determinar sus limitaciones para el análisis de datos reales. Encontramos que el código produce resultados precisos incluso cuando sólo se emplean dos líneas espectrales y la señal a ruido es pobre. Se ha prestado especial atención al tratamiento de errores, que incluye el efecto de las covarianzas entre parámetros estimados. Ello nos permite investigar la unicidad y credibilidad de los modelos atmosféricos que se infieren.

También se presentan en esta tesis los primeros resultados de la inversión de perfiles de Stokes de regiones faculares en el centro del disco solar. Se han analizado espectros de alta y baja resolución espacial de líneas de hierro neutro en 6301,5 y 6302,5 Å observadas por el *Advanced Stokes Polarimeter*. Permitiendo que existan velocidades dentro del tubo de flujo, somos capaces de reproducir completamente la forma de estos perfiles. Las atmósferas magnéticas que se derivan de la inversión se caracterizan por la ausencia de movimientos de materia en capas altas, pero muestran fuertes gradientes de velocidad en capas profundas. Estos gradientes resultan ser vitales para entender las asimetrías observadas en los perfiles de polarización circular (V). Nuestro escenario predice un desplazamiento sistemático de los ceros de V que está presente en observaciones realizadas por el *Fourier Transform Spectrometer*. En esta tesis se ha conseguido resolver por primera vez el problema de las asimetrías de V, que ha intrigado a los físicos solares durante más de veinte años.

LUIS R. BELLOT RUBIO

Nació en Santa Cruz de Tenerife, el 15 de enero de 1970. Estudió el primer ciclo de Ciencias Físicas en la Universidad de Granada (1988-91), licenciándose en 1993 por la Universidad de La Laguna en la especialidad de Astrofísica. Es miembro de la *International Meteor Organization* y de la *Sociedad Española de Observadores de Meteoros y Cometas de España*. Actualmente es Astrónomo de Soporte de Solar en el Observatorio del Teide.

TRIBUNAL

Teodoro Roca (IAC/ULL)
Inés Rodríguez (IAC/ULL)
Egidio Landi (Univ. de Florencia)
Manuel Vázquez (IAC)
Inés Márquez (ULL)

ANA MARÍA PÉREZ GARCÍA presentó su tesis doctoral titulada "Galaxias Seyfert: una perspectiva con el Observatorio Espacial Infrarrojo (ISO)", el 23 de junio, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum laude". Esta tesis fue dirigida por el Dr. José Miguel Rodríguez Espinosa, investigador del IAC.

"Galaxias Seyfert: una perspectiva con el Observatorio Espacial Infrarrojo (ISO)"

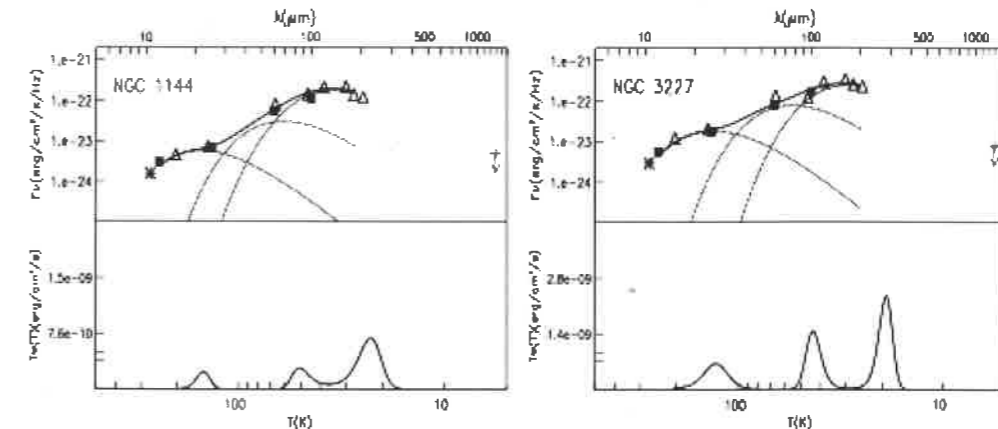
El estudio de la emisión infrarroja en las galaxias Seyfert es fundamental para entender el origen de su extraordinaria actividad, así como para discernir la relación entre los distintos tipos de galaxias Seyfert. Dos importantes cuestiones no están aún resueltas. No está claro, por ejemplo, si la radiación infrarroja de las galaxias Seyfert es toda de origen térmico o si, por el contrario, hay alguna contribución de emisión no térmica. Por otro lado, no se conoce si la emisión en el infrarrojo lejano es extensa y, si lo es, cómo de extensa es. Los datos del satélite ISO ofrecen, por primera vez, la posibilidad de hacer un estudio exhaustivo de las distribuciones espectrales de energía en el infrarrojo medio y lejano de una muestra completa de galaxias Seyfert.

En este trabajo se ha aplicado a las distribuciones espectrales de energía un método bayesiano, obteniendo dos resultados fundamentales: 1) que la distribución espectral infrarroja de energía en galaxias Seyfert puede explicarse mediante producción térmica de energía y 2) que esta emisión es suma de, al menos, dos componentes térmicos. La interpretación inmediata de este resultado es que la parte más caliente del espectro en el infrarrojo medio y lejano es emisión térmica de polvo calentado por el núcleo activo y/o por bro-

tes de formación estelar activa en la región circumnuclear, mientras que la emisión más fría está originada en la galaxia huésped por polvo calentado en regiones de formación estelar en el disco y por el campo de radiación del medio interestelar.

La comparación entre los parámetros obtenidos del análisis de las distribuciones espectrales de energía para los dos tipos de galaxias Seyfert (temperaturas, flujos, luminosidades), y los resultados de las correlaciones con la emisión de los objetos en otros rangos espectrales (radio y rayos X) remarcan la importancia de la galaxia huésped. Por otra parte, en general, las propiedades nucleares quedan explicadas por el modelo unificado de AGN, que mantiene que las diferencias entre las Seyfert 1 y las Seyfert 2 se deben a efectos de orientación.

Se ha conseguido también mapear la emisión infrarroja lejana de parte de los objetos de la muestra, llegándose a la conclusión de que la emisión es extensa y comparable a la extensión en el rango óptico de los objetos. La existencia, además, de una región brillante extranuclear en el mapa de uno de los objetos nos afirma en la idea de que gran parte de la emisión en el infrarrojo lejano no es de origen nuclear.



Distribución espectral de energía en el infrarrojo medio y lejano de algunas de las galaxias Seyfert de la muestra del CfA. Para cada objeto se muestran los datos ISO (triángulos) y los datos IRAS (cuadrados negros), además del ajuste encontrado con el método de la transformada inversa de Planck. Los diferentes componentes térmicos están dibujados en líneas de puntos. En la parte inferior de la figura para cada objeto se muestra el espectro de temperaturas que produce dichos componentes térmicos.

ANA MARÍA PÉREZ GARCÍA

Nació en Zamora. Estudió Ciencias Físicas (Física Teórica) en la Universidad de Salamanca y, posteriormente, hizo la especialidad de Astrofísica en La Universidad de La Laguna. Durante tres años colaboró en el IAC en la calibración y puesta a punto del espectrómetro ISOPHOT-S. Desde 1995 a 1998 realizó su tesis doctoral en el IAC, período durante el cual disfrutó de una beca de Formación de Personal Investigador del Ministerio de Educación. Actualmente es astrónoma de Soporte del Observatorio del Roque de los Muchachos.

TRIBUNAL

Francisco Sánchez (IAC)
Francisco Garzón (ULL/IAC)
Casiana Muñoz Tuñón (IAC)
Eduardo Simonneau (Inst. de Astrofísica de París, Francia)
Josefa Masegosa (CSIC/IAA)

JOSÉ ALFONSO LÓPEZ AGUERRI presentó su tesis doctoral titulada "Estructura y dinámica de una muestra de galaxias espirales", el 13 de octubre, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum laude". Esta tesis fue dirigida por las Dras. Mercedes Prieto Muñoz y Antonia Varela Pérez, investigadoras del IAC.

"Estructura y dinámica de una muestra de galaxias espirales"

En este proyecto se analiza una muestra de galaxias disco con actividad nuclear intermedia, estudiando su estructura y dinámica. Una galaxia espiral es un sistema formado por varias estructuras, con diferente morfología y dinámica, las cuales interactúan y coexisten unas con otras. A partir del análisis de las variaciones radiales de los isocontornos de brillo (isofotas) y de los mapas de color de los objetos se obtienen las diferentes componentes que forman la galaxia, las cuales se parametrizan realizando una descomposición de los perfiles de luminosidad de la galaxia según las diferentes estructuras que la forman. Para ello se asumió que cada componente sigue una determinada ley de luminosidad, de forma que la suma de todas ellas debe reproducir el perfil de luminosidad original del

objeto. Suponiendo una geometría de elipsoides coaxiales concéntricos para el bulbo y barra, se realizó una inversión fotométrica de sus perfiles de luminosidad para obtener su estructura 3D, obteniendo así una distribución espacial de sus fuentes. Una pieza clave para estudiar la dinámica de las galaxias es conocer su potencial gravitatorio. Éste será la suma del generado por cada una de las distintas componentes que forman la galaxia. El potencial producido por el bulbo y la barra será el generado por una familia de elipsoides concéntricos y coaxiales, el del disco por discos de Toomre o excepcionales y el del halo por una esfera isoterma. Este potencial se usará para la realización de modelos hidrodinámicos que nos dan información acerca de la dinámica de los objetos estudiados.



NGC 1300, galaxia espiral barrada analizada en nuestra muestra. En ella se pueden observar las estructuras típicas de este tipo de galaxias: bulbo, disco, barra y brazos espirales.

JOSÉ ALFONSO
LÓPEZ AGUERRI

Nació en Zaragoza, el 9 de septiembre de 1970. Estudió Física y Matemáticas en la Universidad de Zaragoza, donde se licenció en 1993 en Ciencias Físicas y en 1994 en Ciencias Matemáticas. En octubre de ese mismo año se incorporó al IAC como Astrofísico Residente para realizar su tesis doctoral.

TRIBUNAL

Casiana Muñoz Tuñón (IAC)
John E. Beckman (CSIC/IAC)
Francisco Garzón (IAC/ULL)
Marc Balcells (IAC)
Evencio Mediavilla (ULL/IAC)

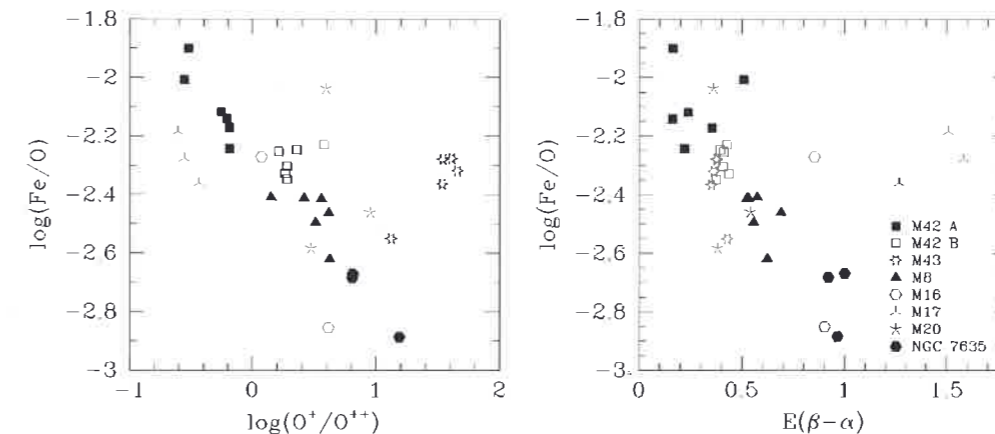
MÓNICA RODRÍGUEZ GUILLÉN presentó su tesis doctoral titulada "La abundancia de hierro en regiones HII galácticas", el 9 de octubre, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum laude". Esta tesis fue dirigida por el Prof. Guido Münch, Profesor Emérito del Instituto Max-Planck de Astronomía de Heidelberg, Alemania.

"La abundancia de hierro en regiones HII galácticas"

Este trabajo se centra en el análisis de la emisión de [Fe II] y [Fe III] en siete regiones HII galácticas: M42, M43, M8, M16, M17, M20 y NGC 7635. Con este fin, se utilizan espectros en el rango $\lambda 4200-8800\text{\AA}$ obtenidos en distintas zonas de cada objeto. Algunas de las líneas de emisión no pertenecientes a los iones del Fe se usan para determinar las condiciones físicas y las abundancias iónicas de distintos elementos en todas las zonas consideradas. Estas abundancias iónicas implican que las abundancias de O, S, Cl, N, Ar y He son iguales para todas las regiones HII estudiadas dentro del rango de errores.

Se demuestra que las intensidades relativas de las líneas de [Fe II] observadas se comportan de un modo que implica la importancia de los efectos de fluorescencia en su formación, con lo cual no es necesario postular que la emisión de [Fe II] se origina en una zona de alta densidad, como ha sido sugerido por otros autores.

Se calculan entonces las abundancias de Fe en todas las zonas utilizando exclusivamente las líneas de [Fe III] y factores de corrección por las contribuciones de Fe⁺ y Fe³⁺ basados en modelos de ionización existentes. Los valores obtenidos para Fe/H son entre 10 y 63 veces menores que la abundancia solar, lo que implica que la mayor parte del Fe se encuentra depositado en el polvo en el interior de las regiones HII. Además, la abundancia de Fe en el gas resulta estar correlacionada con el grado de ionización de la zona donde se mide. Esta correlación se explica relacionando los fotones energéticos con la liberación de átomos de Fe del polvo. Por otra parte, los valores de Fe/H muestran cierta tendencia a disminuir con el exceso de color indicado por las intensidades relativas de las líneas de H I. Este resultado podría deberse a la acción de la presión de radiación o de los vientos estelares sobre los granos de polvo.



Correlaciones encontradas para los valores de la abundancia de Fe en el gas con el grado de ionización (diagrama de la izquierda) y con el exceso de color indicado por las intensidades relativas de las líneas de H I (diagrama de la derecha).

Estas dos correlaciones sugieren que los átomos de Fe presentes en el gas ionizado proceden de la destrucción de granos de polvo pequeños (que pueden contener un 10-30% de la abundancia total de Fe), probablemente originados tras la fragmentación de granos de mayor tamaño.

MÓNICA RODRÍGUEZ
GUILLÉN

Nació en Petrel (Alicante), el 31 de enero de 1969. Estudió el primer ciclo de Ciencias Físicas en la Universidad de Granada y el segundo en la Universidad de La Laguna. El último año de la licenciatura lo realizó en el Imperial College (Londres) con una beca Erasmus de la Unión Europea. En 1992 se licenció por la Universidad de La Laguna en la especialidad de Astrofísica. En octubre de ese mismo año se incorporó al IAC como Astrofísica Residente para realizar la tesis doctoral.

TRIBUNAL

Manuel Peimbert (Univ. Nacional Autónoma de México)
César Esteban (ULL/IAC)
Enrique Pérez (CSIC/IAA)
Minia Manteiga (Univ. de Vigo)
Antonio Mampaso (IAC)

CARLOS ALLENDE PRIETO presentó su tesis doctoral titulada "Inhomogeneidades superficiales y modelos semi-empíricos de fotosferas estelares pobres en metales", el 3 de noviembre, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Apto "cum laude". Esta tesis fue dirigida por el Dr. Ramón García López, investigador del IAC.

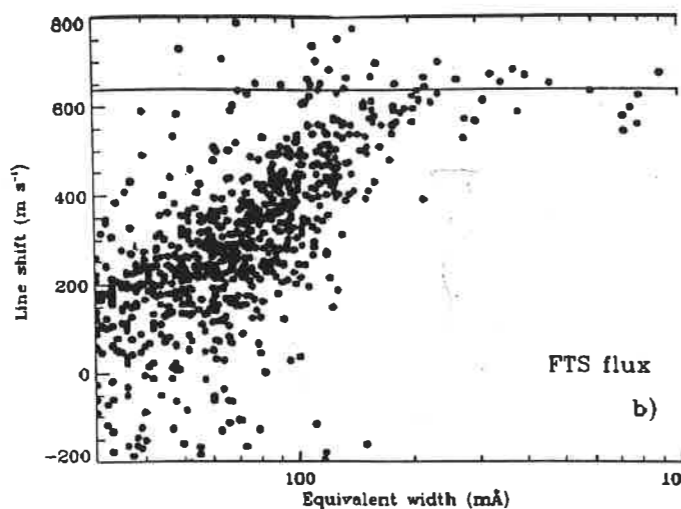
"Inhomogeneidades superficiales y modelos semi-empíricos de fotosferas estelares pobres en metales"

La interpretación de observaciones espectroscópicas detalladas de diversas estrellas revela inconsistencias, posiblemente debido a que las hipótesis utilizadas son inadecuadas. Los paralajes medidos por el satélite Hipparcos establecen un sistema de referencia sólido que hemos utilizado para comprobar la validez de los modelos de atmósfera clásicos para estrellas frías. Esto nos ha permitido confirmar la existencia de errores que ya anteriormente se intuían y que apuntan hacia importantes efectos de No Equilibrio Termodinámico Local para las estrellas de menor gravedad.

Como alternativa a los modelos unidimensionales que conservan el flujo, proponemos un nuevo método de construcción de modelos semi-empíricos a partir de la inversión de perfiles normalizados de líneas espectrales. La aplicación al Sol demuestra su efectividad a partir de la comparación con observaciones con resolución espacial y medidas absolutas de flujo. La aplicación a otras estrellas, en particular la estrella pobre en metales *Groombridge 1830*, y la de metalicidad solar ϵ *Eridani*, da lugar a modelos semi-empíricos que son capaces de reproducir todos los rasgos espectrales considerados. Los espectros de muy alta resolución de la enana pobre en metales *Groombridge 1830* y la subgigante extremadamente deficiente en metales HD140283 permiten ir más allá de los límites de los modelos

de atmósfera homogéneos, y muestran lo que se interpreta como la huella de patrones convectivos que, al menos en HD140283, aparecen significativamente realzados debido a la baja opacidad. Se demuestra cómo no sólo las asimetrías de las líneas espectrales, sino también los desplazamientos de los mínimos de las líneas, pueden ser usados en el Sol y en otras estrellas para extraer información útil sobre los campos de velocidades y las inhomogeneidades superficiales. Además, hemos trazado el incremento de los desplazamientos de los mínimos al azul convectivos hacia las capas más profundas de la fotosfera solar. Los mínimos de las líneas más fuertes aparecen prácticamente libres de desplazamientos convectivos netos, propiedad ésta que podría ser utilizada para separar la velocidad radial y el desplazamiento espectral gravitatorio de los movimientos fotosféricos en estrellas de tipo solar.

Finalmente, presentamos los resultados de la búsqueda de estrellas muy pobres en metales de la Galaxia realizada desde el telescopio "Isaac Newton" del Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. En paralelo, desarrollamos un nuevo método de clasificación de espectros estelares basado en redes de neuronas artificiales, demostrando su utilidad y ventajas. Los espectros de baja resolución utilizados permiten identificar la temperatura efectiva y la metalicidad de las estrellas.



La figura muestra los desplazamientos de las líneas de absorción de Fe I en el espectro integrado de todo el disco solar, en función de la anchura equivalente de las mismas.

CARLOS ALLENDE PRIETO

Nació en Gijón (Asturias), en octubre de 1971. Estudió el primer ciclo de Ciencias Físicas en la Universidad de Cantabria, y se licenció en la Universidad de La Laguna en 1994. Ese mismo año estuvo en la *Queen's University* de Belfast (Reino Unido) como becario de verano, donde trabajó en un estudio espectroscópico de la estrella simbiótica RR Tel, bajo la supervisión de Philip Dufton. También en 1994, obtuvo una beca como Astrofísico Residente en el IAC. En la actualidad disfruta de una beca de investigación post-doctoral en el Observatorio McDonald de la Universidad de Texas, en Austin, Estados Unidos.

TRIBUNAL

Manuel Collados (IAC/ULL)
Rafael Rebolo (CSIC/IAC)
Bengt Gustafsson (Univ. de Uppsala, Suecia)
Javier Trujillo (CSIC/IAC)
Benjamín Montesinos (LAEFF, Madrid)

MARIO HERNÁNDEZ CORUJO presentó su tesis doctoral titulada "Astrosismología en la Secuencia Principal: las estrellas δ Scuti del cúmulo del Pesebre", el 18 de diciembre, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Sobresaliente "cum laude". Esta tesis fue dirigida por el Dr. Juan Antonio Belmonte, investigador del IAC.

"Astrosismología en la Secuencia Principal: las estrellas δ Scuti del cúmulo del Pesebre"

La aplicación de la sismología estelar en estrellas pulsantes pertenecientes a un cúmulo abierto cercano ofrece unas perspectivas óptimas debido a la mayor y más precisa información estelar disponible en este entorno, tales como estimaciones de metalicidad, distancia y edad. Además, esta información estelar es compartida por los miembros del cúmulo debido a un origen común. En este trabajo se ha completado una muestra de ocho estrellas δ Scuti, pulsadores en la Secuencia Principal, en diferente estado evolutivo y pertenecientes al cúmulo del Pesebre. Esta muestra consta de BT, EP, BU, BN, BQ, BW, BS Cnc y KW 284. Cuatro de estas estrellas fueron observadas durante el desarrollo de este trabajo por medio de la red observacional STEPHI. Un total de 34 modos de oscilación fueron detectados en nuestra muestra con un nivel de significación superior al 99%. Estos niveles fueron obtenidos de las pruebas estadísticas de Fischer y Scargle, adaptadas al caso de series de datos con huecos y con ruido no blanco. Entre los modos detectados destacan en BW Cnc dos pares de modos muy próximos en frecuencia que interfieren entre sí produciendo diferentes espectros de amplitudes dependiendo de la época de observación. Asimismo, hay que subrayar que el rango de frecuencias de los modos observados está de acuerdo con lo esperado teóricamente.

En el análisis teórico de los modos observados, la rotación estelar ha mostrado ser un parámetro fundamental a tener en cuenta en las estrellas δ Scuti del Pesebre, siendo necesario considerar sus efectos tanto en las frecuencias de oscilación como en la posición de las estrellas en el

diagrama HR. Adoptando como hipótesis de trabajo la existencia de, al menos, dos modos radiales de entre los modos detectados en cada estrella, se ha desarrollado un método que, aplicado a estrellas poco evolucionadas, encuentra qué modos observados pueden ser radiales y su identificación.

Este método se basa en la suposición de una misma distancia, edad, metalicidad y sobrepenetración convectiva para todas las estrellas. Usando este método con modelos apropiados para las cuatro estrellas menos evolucionadas de la muestra (BS, BW, BN y BU Cnc) se encuentran 6 definiciones más probables que indican una metalicidad del cúmulo superior a la solar ($Z = 0,025 - 0,030$), con sobrepenetración convectiva y para una edad de unos 650 millones de años. Tomando como base estos datos se generan herramientas para la identificación de los modos no radiales en estas estrellas y se procede a la identificación de los modos en las estrellas más evolucionadas (KW 284, BT y EP Cnc). Se estudia también la estrella binaria BQ Cnc, para la que se determina la posición de sus componentes sobre el diagrama HR y se detecta la presencia de un modo g en el espectro observado, utilizando modelos coherentes con las determinaciones anteriores.

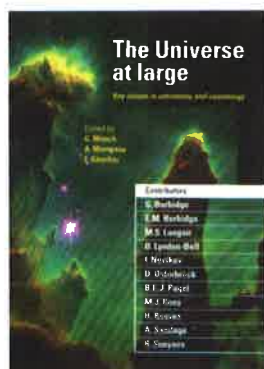
Como ilustración a esta tesis ver imagen reproducida en el artículo de la sección de Investigación sobre "Estrellas δ Scuti en el Cúmulo del Pesebre: un laboratorio para estudiar la estructura y evolución estelares", en la pág. 20 de este número.

MARIO HERNÁNDEZ CORUJO

Nació en Lanzarote, el 2 de enero de 1972. Estudió Ciencias Físicas en la Universidad de La Laguna, donde se licenció en la especialidad de Astrofísica en 1994. Fue becario de verano en el *Royal Greenwich Observatory* y en el IAC, en 1993 y 1994, respectivamente, y desde octubre de este último año es Astrofísico Residente en el IAC.

TRIBUNAL

Pere L. Pallé (IAC)
Clara Régulo (ULL/IAC)
Eloy Rodríguez (CSIC/IAA)
Ana M. Ulla (Univ. de Vigo)
Ramón J. García López (ULL/IAC)



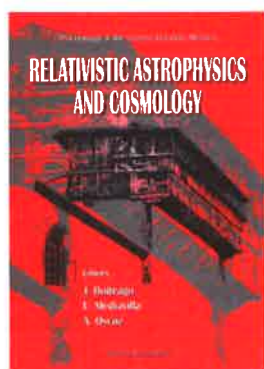
EDICIONES

The Universe at large

Cambridge University Press ha publicado el libro *The Universe at large. Key issues in astronomy and cosmology*, editado por G. Münch, A. Mampaso y F. Sánchez. Este libro recoge las contribuciones de G. Burbidge, E.M. Burbidge, M.S. Longair, D. Lynden-Bell, I. Novikov, D. Osterbrock, B.E.J. Pagel, M.J. Rees, H. Reeves, A. Sandage y R. Sunyaev, que fueron invitados al encuentro *Key Problems in Astronomy*, celebrado del 10 al 13 de enero de 1995.

Relativistic Astrophysics and Cosmology

La editorial *World Scientific* ha publicado el libro *Relativistic Astrophysics and Cosmology*, editado por J. Buitrago, E. Mediavilla y A. Oscoz, en el que se recogen las actas del congreso de ERES con el mismo título, celebrado en La Laguna (Tenerife), del 4 al 7 de septiembre de 1995.

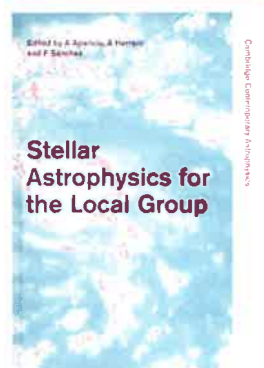


Stellar Astrophysics for the Local Group

Cambridge University Press también ha publicado el volumen dedicado a la *Canary Islands Winter School of Astrophysics* de 1996, sobre "Astrofísica estelar para el Grupo Local: un primer paso hacia el Universo". El volumen, titulado *Stellar Astrophysics for the Local Group*, ha sido editado por A. Aparicio, A. Herrero y F. Sánchez.

Canary Islands Winter School of Astrophysics. 10 Años de Encuentro

Con la X Canary Island Winter School, sobre "Cúmulos Globulares", se han conmemorado 10 años de encuentro e interacción en Canarias entre jóvenes astrofísicos y profesores de prestigio procedentes de todo el mundo para estudiar conjuntamente temas astronómicos de actualidad. Por este motivo, el IAC ha editado un cartel-folleto conmemorativo, en español y en inglés, con datos de estas Escuelas y la lista de todos los participantes: 612 alumnos, 80 profesores y 34 países.

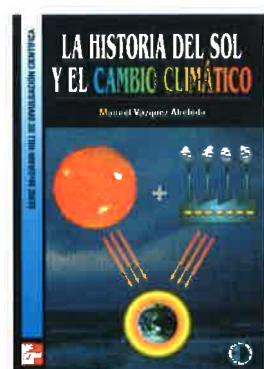


Especial de IAC Noticias sobre la X Winter School

Como todos los años, el IAC ha editado un especial, en español e inglés, sobre la *Canary Island Winter School*, dedicada este año a los "Cúmulos Globulares". Este especial recoge entrevistas con todos los profesores invitados e información adicional sobre esta X Escuela y las anteriores.

La historia del Sol y el Cambio Climático

Manuel Vázquez Abeledo, experto en Física Solar e investigador del IAC, es el autor del libro *La historia del Sol y el Cambio Climático*, publicado dentro de la *Serie de Divulgación Científica* de la editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. El libro fue presentado el 26 de noviembre, en el Museo de la Ciencia y el Cosmos del Cabildo de Tenerife, por Francisco Sánchez, director del IAC, en presencia de Antonio García Brage, editor de McGraw-Hill, Juan Antonio Belmonte, director del Museo y astrofísico del IAC, y el autor.



Medidas de la temperatura de la superficie terrestre indican que la Tierra ha sufrido un considerable calentamiento en los últimos cien años, probablemente debido a la emisión de gases procedentes de la quema de combustibles fósiles. Para evaluar su importancia, en esta obra se realiza un viaje a lo largo de los diversos cambios climáticos que ha sufrido nuestro planeta, desde su origen hasta nuestros días, estudiando sus posibles causas. Especial énfasis se da a la contribución que en tales procesos hayan podido tener los cambios en la energía que recibimos del Sol. Finalmente, se discuten las posibles consecuencias del calentamiento y se sugieren algunas soluciones al problema.

Ciencia y Cultura en Canarias

El Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, perteneciente al Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, ha editado el libro *Ciencia y Cultura en Canarias*, que recoge las charlas del curso del mismo título celebrado del 31 de enero al 6 de junio de 1997 en este Museo.

Nuevos carteles

El IAC ha editado a lo largo de 1998 un total de 7 carteles, correspondientes a otras tantas reuniones científicas organizadas por el Instituto.



VISITAS ORGANIZADAS A LAS INSTALACIONES DEL IAC

En 1998 visitaron el IAC un total de 264 personas entre alumnos de diferentes centros de enseñanza (media y superior), participantes en congresos, equipos de filmación y particulares. El Observatorio del Teide recibió 5.018 visitantes y el del Roque de los Muchachos, 7.908, de los cuales 5.408 visitaron este observatorio durante las jornadas de puertas abiertas celebradas en verano.

En el mes de julio visitó el Observatorio del Teide un grupo de niños invitados por el programa infantil "Club Super 3", de la televisión autonómica catalana TV3, dentro de su proyecto divulgativo "Superperiodistas al Sol". El grupo se alojó en la Residencia del Observatorio y realizó varios reportajes sobre el Sol y el trabajo de los astrónomos.

III SEMANA ASTRONÓMICA DE GRAN CANARIA

La Agrupación Astronómica de Gran Canaria organizó del 2 al 6 de noviembre en colaboración con el IAC y otras entidades, en la Casa de Colón (Las Palmas de Gran Canaria), la III Semana Astronómica de Gran Canaria. En las sesiones participaron varios investigadores del IAC.

CHARLAS:

- "Avances en el estudio de objetos subestelares". RAFAEL REBOLO
- "Ptolomeo: El problema de salvar las apariencias". JACINTO QUEVEDO (Museo Elder de la Ciencia y la Tecnología).
- "El Gran Telescopio Canarias". PEDRO ALVAREZ (GTC)
- "La astronomía antes de la astronomía". JUAN ANTONIO BELMONTE
- "La historia del Universo contada por los meteoritos". JORDI LLORCA (Universidad de Barcelona)
- "2 de agosto de 1999, la gran cita con el Sol". MIQUEL SERRA
- "Las Leónidas, tormenta de meteoros". MARK KIDGER
- "La astronomía y los aficionados". LUIS SALAS (Agrupación Astron. de Gran Canaria)

CURSO HISPANO-PORTUGUÉS DE INTRODUCCIÓN A LA ASTROFÍSICA PARA EL PROFESORADO "El Universo y yo"

Conscientes del enorme interés que despierta la Astronomía y de la importancia del papel educativo y social de una adecuada formación científica en relación con este tema, y dado el éxito conseguido en cursos anteriores, la Fundación Santa María y el IAC organizaron un Curso Hispano-Portugués de Introducción a la Astrofísica para el profesorado. Con el título "El Universo y Yo", fue impartido por miembros del IAC, del 29 de junio al 3 de julio, en el Hotel San Felipe, del Puerto de la Cruz (Tenerife). Al curso acudieron 20 profesores portugueses y españoles de enseñanza media, los cuales ya habían sido previamente seleccionados por la Fundación Santa María siguiendo unos criterios de experiencia educativa previa en astronomía con sus alumnos. El Curso fue presentado por Manuel Iceta, Director de la Fundación Santa María, Ismael Pérez Fournon, Coordinador de Enseñanza del IAC (en representación del Director del IAC), y el Coordinador del Curso, Ángel Gómez Roldán, del IAC.

CHARLAS:

- "Misterios Cósmicos: cuestiones pendientes en la Astrofísica Actual". ALEJANDRO OSOZ ABAD
 - "Exobiología: meteoritos, moléculas interestelares,... y la Vida en el Sistema Solar: ¿Marte, Europa y Titán? MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO
 - "El Sol, ese gran desconocido". INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO
 - "Otros Sistemas Solares". MARK KIDGER
 - "La colaboración de los aficionados en la astronomía". ÁNGEL GÓMEZ ROLDÁN
 - "Cuerpos Menores". RICARD CASAS i RODRÍGUEZ
 - "Cosmología: estatus actual del modelo del Big Bang y evidencias observacionales para su validación". MIQUEL SERRA-RICART
 - "Observadores del Cielo de la Antigua Iberia". JUAN ANTONIO BELMONTE AVILÉS
- Además de las charlas, también hubo sesiones de trabajo teórico/prácticos sobre aspectos tratados durante cada día y su aplicabilidad en un aula de Secundaria, así como una visita al Observatorio del Teide y, posteriormente, una observación nocturna con el telescopio IAC-80 y el Telescopio Mons, de 82 y 51 cm respectivamente.

EXPOSICIONES

A lo largo de 1998 el IAC ha participado en las siguientes exposiciones, dentro y fuera de las Islas:

- "2nd TAP Conference". Jornadas del Programa de Aplicaciones Telemáticas de la Comisión Europea, celebradas en Barcelona, del 4 al 7 de febrero.
- "III Semana Turística del Valle de la Orotava". Del 17 al 22 de noviembre en Puerto de la Cruz (Tenerife).
- Feria Internacional de Informática, Multimedia y Comunicaciones SIMO '98, celebrada en noviembre en Madrid. La empresa GRANTECAN, S.A. participó en la Feria dentro del stand del Instituto Tecnológico de Canarias (ITC).
- Exposición "Un siglo de ciencia en España", celebrada del 23 de diciembre al 24 de enero en la Residencia de Estudiantes del CSIC, en Madrid.

Además, se ha actualizado la exposición informativa sobre las actividades del IAC en las instalaciones de su sede central, en La Laguna.

ASTRONOMÍA Y CULTURA: ARQUEOASTRONOMÍA Y ETNOASTRONOMÍA

Del 30 de marzo al 3 de abril, y en colaboración con el IAC, se celebró en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, del Organismo Autónomo de Museos del Cabildo de Tenerife, el curso "Astronomía y Cultura: Arqueoastronomía y Etnoastronomía", dirigido por el investigador del IAC y Director del Museo de la Ciencia y el Cosmos del Cabildo de Tenerife Juan Antonio Belmonte y en el que participaron, además de arqueólogos e historiadores, varios astrónomos del Instituto.

A este curso interdisciplinar, pues aún en un sólo foro ciencias aparentemente tan dispares como la Astronomía, la Arqueología y la Etnografía, asistieron como ponentes especialistas de renombre mundial como el **Dr. Clive Ruggles**, de la Universidad de Leicester (Reino Unido) y Presidente de la Sociedad Europea para la Astronomía en la Cultura (SEAC) y el **Dr. Carlos Jaschek**, Profesor Emérito de la Universidad de Estrasburgo, Vicepresidente de la SEAC y uno de los padres de la Astrofísica Estelar.

La Arqueoastronomía es una joven disciplina científica que trata de estudiar, desde un punto de vista arqueológico, antropológico, etnográfico e histórico, la forma en que las culturas humanas, de todas las épocas y lugares, han mirado al cielo tratando de descubrir en él sus anhelos más íntimos, de entender el Cosmos o, con fines mucho más prosaicos, pero quizá tanto o más importantes, de establecer un calendario.

El curso pretendía mostrar a la sociedad los espectaculares avances logrados a nivel mundial por una especialidad científica tan singular como la Arqueoastronomía, tratándose temas tan controvertidos como el posible uso astronómico de Stonehenge, los conocimientos astronómicos de los guanches o de los antiguos egipcios, o la Astronomía maya.

Además de las conferencias previstas, el 3 de abril se visitó el Observatorio del Teide, donde tuvo lugar una sesión práctica de observación del cielo a simple vista en la que se contó el origen y la historia de las constelaciones, usando como pantalla la propia bóveda celeste.

CHARLAS:

- "El Cosmos en movimiento: las bases astronómicas de la Arqueoastronomía". ANTONIO APARICIO (IAC/ULL).
- "Fuentes etnoastronómicas en la Prehistoria de Canarias. La verificación arqueológica". JOSÉ JUAN JIMÉNEZ GONZÁLEZ (Museo Arqueológico de Tenerife).
- "Paradigmas de la Arqueoastronomía Canaria" y "Los íberos: un ejemplo de estudio arqueoastronómico". CÉSAR ESTEBAN (ULL/IAC).
- "Registros en piedra: la Astronomía megalítica". CLIVE RUGGLES.
- "Del tiempo astronómico al tiempo social: el problema del tiempo en los estudios arqueoastronómicos". STANISLAW IWANISZEWSKI (Univ. Varsovia, Polonia).
- "Astronomía y Cultura". CARLOS JASCHEK (Univ. Estrasburgo, Francia).
- "Arqueoastronomía comparada: Nabatea y Canarias ¿diferentes pero iguales?" JUAN ANTONIO BELMONTE (Museo de la Ciencia y el Cosmos/IAC).
- "Mitos celestes indoeuropeos" FRANCISCO DÍEZ DE VELASCO (ULL).
- "La visión del cielo en el Egipto faraónico" KURT LOCHER (Liceo de Zürich, Suiza).

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN

ANTONIO APARICIO dio la charla "Alineaciones solsticiales en las Pirámides de Güímar", el 19 de junio, en el Parque Etnográfico de las Pirámides de Güímar, Tenerife.

JOHN BECKMAN dio las siguientes charlas al grupo astronómico "Sigma Octante", de Cochabamba, Bolivia: "Instrumentación astronómica multilongitud de onda", el 4 de febrero, y "La evolución del Universo", el 2 de julio.

JUAN ANTONIO BELMONTE dio la charla titulada "La Astronomía antes de la Astronomía", el 22 de octubre, en el Aula de Cultura de la Caja de Ahorros del Mediterráneo (CAM), dentro de las IV jornadas de Astronomía del Mediterráneo y el 25 de octubre en el ciclo de conferencias "Nuestros científicos", organizado por la CAM.

JESÚS BURGOS dio una charla sobre "Acercamiento al mercado laboral y elaboración del CV", el 18 de febrero en el I.E.S. de La Victoria de Acentejo (Tenerife). Dio también la

charla titulada "Un paseo por el espacio" para alumnos de Bachillerato del I.E.S. de Medina del Campo (Valladolid), el 12 de noviembre.

CARLOS DEL BURGO dio la charla titulada "Espectroscopia bidimensional con fibras ópticas: INTEGRAL", el 9 de enero, en un seminario de Astronomía dirigido a alumnos y profesores de tercer ciclo de la Universidad Complutense de Madrid.

JAVIER DÍAZ CASTRO, responsable de la OTPC, dio la charla "Contaminación lumínica" en las siguientes ocasiones: el 17 de marzo en el Colegio de Ingenieros Industriales de Santa Cruz de Tenerife; el 24 de abril en la Fundación Instituto Tecnológico de Canarias, en Tenerife; el 14 de mayo en el Colegio de Ingenieros Superiores Industriales de Canarias (Tenerife); y el 28 de mayo ante la Agrupación Astronómica de Madrid.

ÁNGEL GÓMEZ ROLDÁN dio la charla titulada "La basura espacial y su observación con el telescopio OGS", el 19 de mayo, en la Sede de la Agrupación Astronómica de Madrid. Además, dio otra charla sobre "La colaboración de los aficionados en la astronomía", el 30 de junio, en el Hotel San Felipe de Puerto de la Cruz (Tenerife), dentro del Curso Hispano-portugués de Introducción a la Astrofísica para el Profesorado.

ARTEMIO HERRERO dio la charla "Del Sistema Solar a los confines del Universo: un viaje con las estrellas", el 14 de diciembre en la sede de la Caja de Ahorros del Mediterráneo en Alicante y el 21 de diciembre en la sede de Valencia.

RAFAEL REBOLO dio la charla "Elementos ligeros y el Big Bang", el 22 de julio en la Universidad Rovira i Virgili y la charla "Enanas marrones y materia oscura", el 23 de julio en la Universidad Rovira i Virgili y el 22 de octubre en el Programa "Ciencia viva", en Zaragoza, el 30 de octubre en las Jornadas de la Agrupación Astronómica de Huesca. Dio también la charla "Avances en el estudio de los objetos subestelares", el 2 de noviembre en la III Semana Astronómica de Gran Canaria.

CLARA RÉGULO dio la charla "El mensaje de la luz", para el Centro del Profesorado de Santa Cruz de Tenerife, en el mes de marzo, y las charlas "Formación estelar" y "Evolución estelar", los días 21 y 22 de julio, respectivamente, para la Fundación de la Universidad de Verano de La Gomera.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO dio las siguientes charlas divulgativas: "Nacimiento, vida y muerte de las estrellas", el 15 de abril, en el Centro del Profesorado de Santa Cruz de Tenerife, dentro del curso "La Astronomía en Canarias"; "El Sol: ese gran desconocido", el 15 de abril, en el Aula Magna de la Facultad de Física y Matemáticas de la Universidad de La Laguna, dentro del VI Ciclo de Conferencias "Espacio y Ciencia"; "El Sol: ese gran desconocido", el 30 de junio, en el Hotel San Felipe de Puerto de la Cruz (Tenerife), dentro del Curso Hispano-portugués de Introducción a la Astrofísica para el Profesorado; "El taller del astrónomo", el 20 de julio, para la Fundación de la Universidad de Verano de La Gomera; "El Sol: últimos descubrimientos", el 21 de julio, para la Fundación de la Universidad de Verano de La Gomera; "El Sol: ese gran desconocido", el 5 de diciembre, en la Sede Social de la Asociación de Familiares de Disminuidos Psíquicos de Las Palmas de Gran Canaria.

NANCI SABALISCK participó en un programa televisivo de divulgación sobre astrofísica en Los Silos (Tenerife), en el mes de octubre.

FRANCISCO SÁNCHEZ dio las siguientes charlas: "Evolución de la Observación Astronómica", con motivo del Bicentenario del Real Observatorio de la Armada de San Fernando de Cádiz, el 6 de junio, en Cádiz. "Proyección Directa del Instituto de Astrofísica de Canarias sobre su entorno", en octubre, en la Universidad Complutense de Madrid. "La Tierra: un lugar extraordinariamente exótico", el 30 de julio, en la Fundación Blas Cabrera, Lanzarote. Además, en noviembre pronunció un discurso en el acto de entrega del Premio de la Promoción de 1960 de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid.

HÉCTOR SOCAS presentó el libro "El reloj glacial", escrito por Nemesio Guzmán, en la Sociedad Centro Icodense (Tenerife), el 14 de noviembre.

ANTONIA VARELA dio las siguientes charlas: "Canarias: un lugar privilegiado para la observación astronómica", en el Hotel Gran Tinerfe de Playa de las Américas (Tenerife), para el Rotary Club de Tenerife, el 9 de marzo; la misma charla ante los alumnos del Máster en Interpretación de Conferencias de la Universidad de La Laguna, el 24 de marzo; "Las galaxias: estructura y evolución", el 23 de julio para la Fundación de la Universidad de Verano de La Gomera; y "En los límites del Universo: el Gran Telescopio Canarias", el 24 de julio para la Fundación de la Universidad de Verano de La Gomera.

REUNIÓN DEL CONSEJO RECTOR DEL IAC

El Consejo Rector del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), presidido por la Ministra de Educación y Cultura, Esperanza Aguirre de Gil y Biedma, se reunió el 8 de junio en la sede central del IAC, en La Laguna (Tenerife). En rueda de prensa, la Ministra destacó, entre otros puntos, el apoyo del Gobierno Español y del Gobierno Autónomo de Canarias a la construcción del Gran Telescopio Canarias, "que convertirá al IAC en el centro de referencia internacional en investigación astrofísica". Esta reunión tuvo su continuación el 13 de julio en Madrid, donde se trataron algunos puntos que quedaron pendientes en la reunión de junio en Tenerife.

Entre los puntos del orden del día de esta reunión figuraba la aprobación del "plan operativo" del IAC, consecuencia del informe de su Comisión Asesora de Investigación, que marcará las directrices de la actividad científica y técnica del Instituto. El Consejo Rector del IAC aprobó también una serie de acuerdos con el *Istituto per lo Studio e le Tecnologie delle Radiazioni Extraterrestri* de la *Consiglio Nazionale delle Ricerche* (TESRE), con la *National Foundation for Research in Astronomy* (NFRA), con la *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR) y con el *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC).

Se ratificaron, asimismo, los distintos acuerdos internacionales suscritos por el IAC. Entre ellos figura el firmado con el Instituto de Investigación Astrofísica de la Universidad *John Moores* de Liverpool (Reino Unido), para la instalación de un nuevo telescopio, de dos metros de diámetro, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. El llamado *Telescopio de Liverpool* (LT) será el mayor telescopio de los dirigidos por control remoto y tendrá la particularidad de que un porcentaje de su tiempo de observación será destinado a la divulgación, formando parte de un programa de enseñanza práctica de la ciencia para centros de enseñanza.

Asistieron a esta reunión la Ministra de Educación y Cultura, **Esperanza Aguirre de Gil y Biedma**; el Presidente del Gobierno de Canarias, **Manuel Hermoso Rojas**; el Secretario de Estado de Universidades, Investigación y Desarrollo, **Manuel Jesús González González**; el Rector Magnífico de la Universidad de La Laguna, **Matías López Rodríguez**; el Presidente del CSIC, **César Nombela**; el Presidente del Cabildo Insular de Tenerife, **Adán Martín Menís**; el Presidente del Cabildo Insular de La Palma, **José Luis Perestelo Rodríguez**; y el Director del IAC, **Francisco Sánchez**.



Los miembros del Consejo Rector del IAC durante su visita a las instalaciones del Instituto (a la izquierda) y al comienzo de la reunión (a la derecha).

TELESCOPIO DE LIVERPOOL un nuevo telescopio para 1999 en el Observatorio del Roque de los Muchachos

En virtud de un acuerdo entre el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y el Instituto de Investigación Astrofísica de la Universidad John Moores de Liverpool (Reino Unido), tras su ratificación por el Consejo Rector del IAC, se instalará un nuevo telescopio, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Previa resolución de los permisos locales pertinentes, se iniciarán las obras de construcción del edificio que albergará el telescopio previsiblemente en 1999.

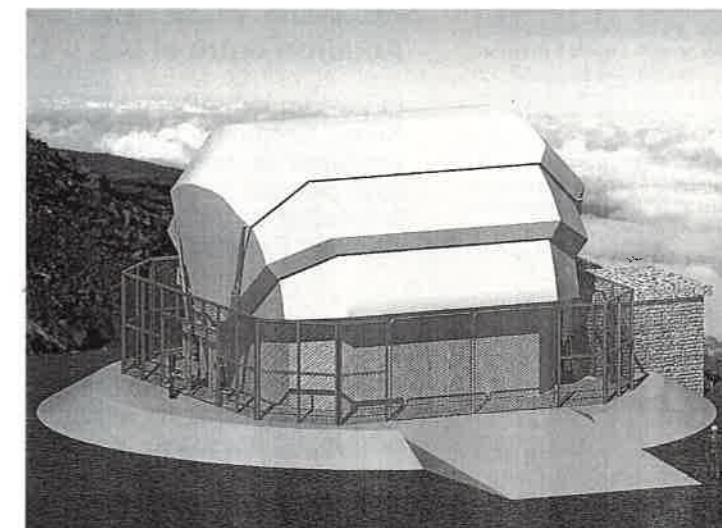
El llamado *Telescopio de Liverpool* (LT), con 2 metros de diámetro, será el mayor telescopio de los dirigidos por control remoto (vía ordenador y satélite), por lo que no será necesario la presencia del astrónomo en el telescopio. La automatización permitirá además realizar observaciones astrofísicas de forma continua, permitiendo detectar eventos imprevistos tales como supernovas.

Este telescopio también tendrá la particularidad de que un porcentaje de su tiempo de observación (7%) será destinado a la divulgación, formando parte de un programa de enseñanza práctica de la ciencia y la tecnología para colegios y universidades financiado por la Unión Europea. Profesores y alumnos podrán usar los últimos datos e imágenes obtenidos con este telescopio.

El *Universo Lab* será una página Web en Internet que ofrecerá la oportunidad de seguir una amplia gama de programas de observación, que incluirán objetos del sistema solar -planetas, cometas, la Luna...-, novas, estrellas variables y el centro de nuestra galaxia, entre otros.

Como en todos los telescopios instalados en los Observatorios de Canarias, España dispondrá del 20% del tiempo de observación y otro 5% destinado a programas de colaboración internacional.

Dirección electrónica: <http://telescope.livjm.ac.uk/>



Maquetas del Telescopio de Liverpool, que será instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

ACUERDOS

El IAC firmó un acuerdo de colaboración con el INAOE, de México

El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), representado por su Director General, Francisco Sánchez, y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), de México, representado por la Directora General en funciones, Elsa Recillas Pishmish, firmaron un convenio de colaboración el pasado 5 de mayo, en la sede central del IAC, en La Laguna.

El INAOE, ubicado en Santa María de Tonantzintla, en el Estado mexicano de Puebla, es un centro de investigación especializado en actividades científicas y tecnológicas relacionadas con las áreas de astrofísica, óptica y electrónica, con especial interés en la formación de investigadores a nivel científico, técnico y académico. Actualmente está construyendo el GTM (Gran Telescopio Milimétrico), de 50 m de diámetro, en colaboración con la Universidad de Massachusetts (Estados Unidos). El objeto del acuerdo firmado es estimular la cooperación entre ambas instituciones, facilitando el intercambio entre sí de investigadores, estudiantes de doctorado, postdoctorados y personal de plantilla.



Elsa Recillas Pishmish, Directora General en funciones del INAOE (México), y Francisco Sánchez, Director del IAC, en el momento de la firma del acuerdo de colaboración.

Acuerdo entre el IAC y CajaCanarias

El Director del IAC, Francisco Sánchez, y el Presidente de CajaCanarias, Rodolfo Núñez, firmaron el 10 de enero un convenio de colaboración en virtud del cual ambas entidades se comprometen a crear en el archipiélago canario parques temáticos cuyo principal contenido sean la astronomía y ciencias afines. El acuerdo establece la creación de un Centro de Información y Atención a visitantes en el Observatorio del Teide (Tenerife).

Acuerdo con Telefónica Servicios Móviles

El IAC firmó un acuerdo con la compañía Telefónica Servicios Móviles, S.A., el pasado 15 de octubre, por el cual el Instituto autoriza a esta compañía a instalar en el edificio del Telescopio "Isaac Newton", del ING, ubicado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, una estación base de telefonía móvil. En virtud de este acuerdo, cuya vigencia es de 3 años prorrogables, la compañía Telefónica Servicios Móviles se compromete a satisfacer al IAC una cantidad en metálico y a entregar al Instituto, sin coste alguno, un aparato modificador de sistema GSM-LICEA 2000.

OTRAS NOTICIAS

Francisco Sánchez, Medalla de Honor al Fomento de la Invención 1988 de la Fundación "García Cabrerizo"

El Prof. Francisco Sánchez, fundador y director del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), recibió, el 24 de noviembre, la Medalla de Honor al Fomento de la Invención 1988 que concede la "Fundación García Cabrerizo". Estas Medallas se otorgan a las personalidades que más se hayan distinguido por su labor de apoyo y estímulo al desarrollo de la invención española. En esta XIX Convocatoria se distingue a Francisco Sánchez "como gran impulsor del trabajo creativo de la tecnología en una fecunda vida de ayuda y estímulo a dichos objetivos".

También han sido entregadas otras tantas Medallas de Honor al Fomento de la Invención 1988 a "Fábricas Agrupadas de Muñecas de Onil, S.A. (FAMOSAS)" y a D. Gabriel Ferraté Pascual, fundador y ex rector de la Universidad Politécnica de Cataluña. En ediciones anteriores, recibieron esta distinción personalidades como Federico Mayor Zaragoza, Mariano Barbacid o Carlos Ferrer Salat.

Doctor Honoris Causa por el INAOE, de México

El Prof. Francisco Sánchez fue investido, asimismo, con el título de Doctor Honoris Causa por el Instituto Nacional de Astronomía, Óptica y Electrónica de México (INAOE), por "su trabajo pionero y fundador en la creación de instituciones y sus contribuciones al desarrollo de la astrofísica moderna". El acto tuvo lugar el día 2 de marzo en Tonantzintla, Puebla (México).

V Aniversario del Museo de la Ciencia y el Cosmos

El Museo de la Ciencia y el Cosmos del Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife celebró, el 11 de mayo, su V cumpleaños. Para conmemorarlo invitó a todos sus amigos a presenciar la apertura del stand número 100, fundó un club de colaboradores y organizó, además, una noche astronómica para los más pequeños.

Con motivo de este V aniversario, el Instituto de Astrofísica de Canarias hizo entrega al director del Museo, Juan Antonio Belmonte, de la reproducción de una azafea de Azarquiel, instrumento astronómico medieval andalusí construido por el astrónomo murciano del siglo XIII Mohammad ben Hudayl y que servía para determinar la latitud de un lugar y para realizar, con precisión, otros muchos cálculos matemático-astronómicos.



El director del Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, Juan Antonio Belmonte, mostrando la reproducción de la azafea de Azarquiel, regalo del IAC.

Premio Nacional de Licenciatura

El joven ingeniero del IAC Fernando Gago Rodríguez recibió el Primer Premio Nacional Fin de Carrera por los estudios de Ingeniería Industrial, premio que concede anualmente el Ministerio de Educación y Cultura a los mejores expedientes de España a lo largo de toda la carrera de los diferentes estudios universitarios. El premio le fue entregado de manos de la Ministra de Educación y Cultura el pasado 23 de noviembre en el CSIC, en Madrid.

Fernando Gago nació en Gijón (Asturias), en 1972 y estudió Ingeniería Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Gijón, obteniendo, en julio de 1997, el número 1 de la 14ª promoción. En enero de ese año se incorporó al IAC como becario del Taller de Electrónica para hacer las milicias universitarias. A partir de finales de julio fue contratado como Ingeniero B en el mismo departamento.

EXPEDICIÓN SHELIOS 98

Además de su interés astronómico, un eclipse total de Sol es siempre un fenómeno curioso de la naturaleza que se produce cuando la Luna se interpone entre la Tierra y el Sol, proyectando un cono de sombra sobre la superficie terrestre que, debido al movimiento de rotación de la Tierra, se desplaza trazando una línea, la llamada línea de totalidad. El pasado 26 de febrero se produjo el último eclipse total del milenio visible desde el Hemisferio Sur, siendo las islas Canarias el único lugar de España desde donde pudo observarse, aunque de forma parcial. La línea de totalidad empezó en esta ocasión en un punto situado en el centro del océano Pacífico, siguió por América Central pasando por Panamá, Colombia y Venezuela y se extinguió a unos 350 Km al Oeste de la isla de La Palma (19° 02' de longitud Oeste y 29° 51' de latitud Norte).

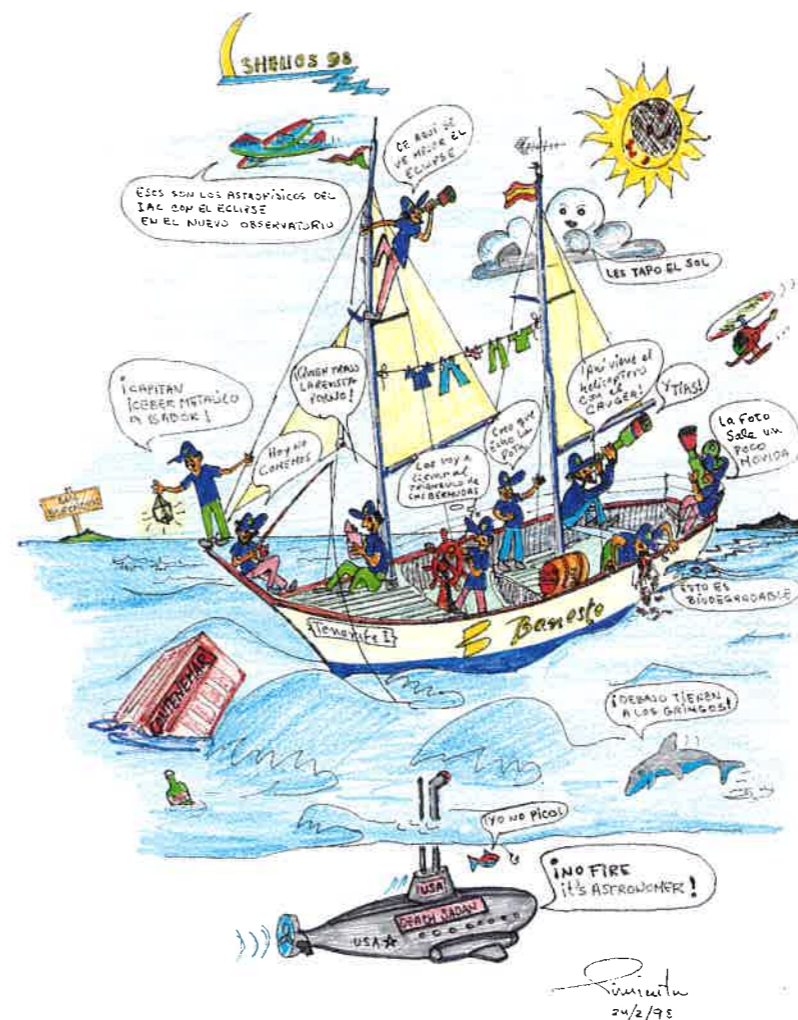
Rumbo al eclipse total de Sol

En un intento de conseguir imágenes del eclipse desde el mar, varios miembros del IAC organizaron una expedición marítima consistente en desplazarse en velero hasta la línea de totalidad del eclipse, a una distancia de unos 2.000 km al oeste de la isla de Tenerife. La expedición SHELIOS 98, patrocinada por Banesto, partió del muelle del Centro Superior de Náutica y Estudios de la Mar de la Universidad de La Laguna, en Santa Cruz de Tenerife, el día 19 de febrero; el grupo estaba compuesto por 10 personas: los capitanes de la Marina Mercante Antonio Bermejo y Antonio Poleo; los miembros del IAC Miquel Serra-Ricart, Gotzon Cañada, Luis Manadé y Juan Calvo; el periodista Juanjo Martín; el marinero Gregorio Cabrera y los alumnos de Náutica Jesús Manuel Rodríguez y Pascasio Verde.

Tras largos días de travesía con vientos poco favorables en el camino de ida, el "Tenerife I", que así se llamaba el velero de la Universidad de La Laguna, alcanzó la línea de totalidad del eclipse, en la que permaneció varios días hasta llegar a unos 2.000 km al oeste de la isla de La Palma. Pudieron observar el eclipse como total y sacar más de 200 imágenes del fenómeno. La travesía de regreso gozó de vientos muy favorables en dirección oeste, lo que facilitó su regreso tan sólo cinco días después del eclipse. Durante toda la travesía, el grupo estuvo en contacto permanente por radio con el IAC a través del Centro Regional de Coordinación de Salvamento de Tenerife, lo que permitió conocer la situación exacta del barco y tener información diaria de la ruta seguida. Desde el IAC se mantuvo una página web donde se podía seguir el "diario de a bordo" de la expedición. La dirección es: <http://www.iac.es/general/index.html>



Secuencia de imágenes del eclipse tomadas desde el velero "Tenerife I" en alta mar.



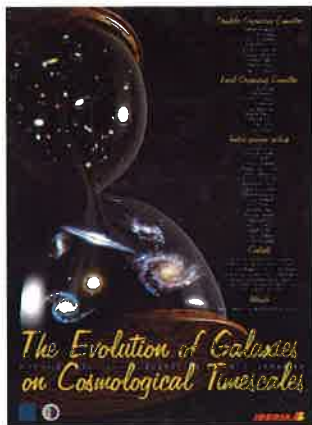
La expedición vista por Antonio Pimienta, observador del Observatorio del Teide.



A la izquierda, el "Tenerife I" saliendo del puerto de Santa Cruz de Tenerife. Arriba, despedida del velero en la dársena del Centro Superior de Náutica y Estudios de la Mar de la Universidad de La Laguna.

Especial Congresos 1998

En breve aparecerá una edición especial de la revista *IAC Noticias* dedicada a los congresos celebrados en el IAC durante el año 1998.



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA (La Laguna, TENERIFE)

C/ Vía Láctea, s/n
E38200 LA LAGUNA (TENERIFE), ESPAÑA
Teléfono: 34 - 922 605200
Fax: 34 - 922 605210
E-mail: cpv@iac.es
WWW Home Page: <http://www.iac.es/home.html>
Ftp: iac.es

Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)

Teléfono: 34 - 922 605219 y 922 605336
E-mail: otri@iac.es
WWW Home Page: <http://www.iac.es/otri/otri.htm>

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

Teléfono: 34 - 922 605365
E-mail: fdc@iac.es
WWW Home Page: <http://www.iac.es/galeria/fpaz/otpc.html>

OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE)

Teléfono: 34 - 922 329100
Fax: 34 - 922 329117
E-mail: teide@ot.iac.es
WWW Home Page: <http://www.iac.es/ot/indice.html>

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (LA PALMA)

Apartado de Correos 303
E38700 SANTA CRUZ DE LA PALMA
Teléfono: 34 - 922 405500
Fax: 34 - 922 405501

