



IAC

noticias

N. 2-1999

**El Cangrejo del Sur,
una nebulosa peculiar**

Las estrellas hipergigantes

**Formación estelar
en NGC 185**

El planeta "Milenio"

ESPECIAL CONGRESOS:

- Temas escogidos sobre estrellas binarias
- Estrellas frías, sistemas estelares y el Sol

ENTREVISTAS CON:

- Evry Schatzman
- Garik Israelian
- Rafael Arny

**Exposición "20 años de
Astronomía en La Palma"**

Leónidas 99

**Shelios '99 y el último
eclipse solar del milenio**

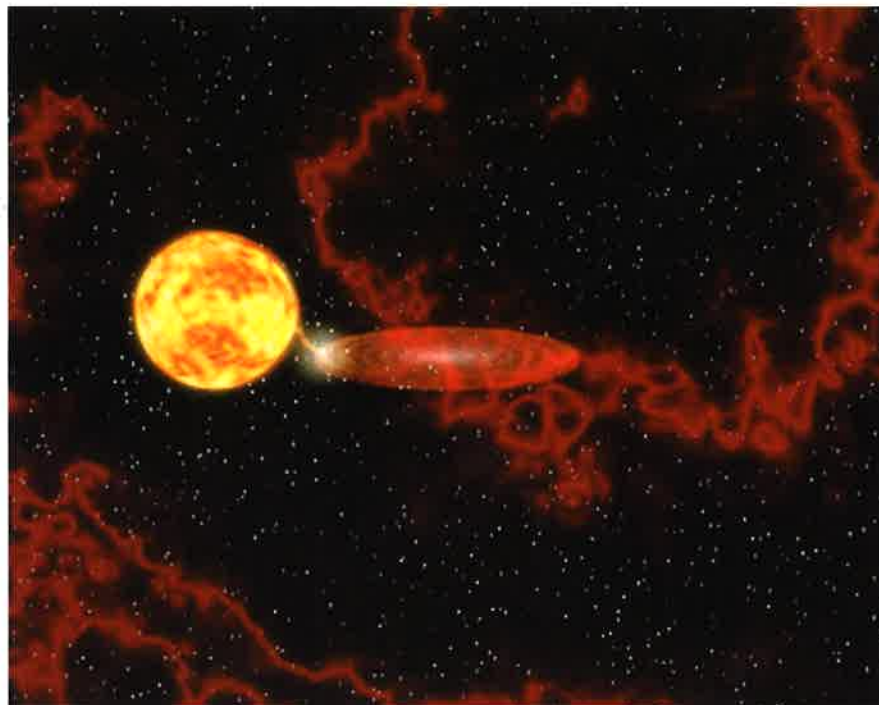


Ilustración de la formación de un agujero negro a partir de la explosión de una estrella supermasiva. (Secuencia de imágenes en el interior). Simulación: Gabriel Pérez (IAC)

LOS AGUJEROS NEGROS, el destino último de las estrellas supermasivas

Los agujeros negros ya no son mera ciencia ficción. A pesar de no poder verlos directamente, los astrónomos saben de su existencia gracias a la influencia sobre estrellas que giran a su alrededor. Pero lo que los astrónomos no sabían hasta ahora con certeza era cómo se formaban estos agujeros negros y si realmente eran el destino último de muchas estrellas. Investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias, en colaboración con un grupo de la Universidad de California, han detectado con el telescopio Keck, de 10 metros de diámetro, restos de una violenta explosión termonuclear en la estrella que ahora gira en torno a un agujero negro de nuestra galaxia. Testigo de la explosión, la estrella compañera ha sido enriquecida, según han observado los astrónomos, con grandes cantidades de oxígeno, magnesio, silicio y azufre. Estos elementos químicos sólo se producen en estrellas supermasivas que únicamente pueden contaminar con ellos su entorno cuando mueren en explosiones estelares como *supernovas* o *hipernovas*. Todos estos resultados prueban por primera vez que una estrella con 30 veces la masa del Sol dio origen, tras uno de estos procesos, al agujero negro que ahora existe en su lugar. Los resultados de esta investigación fueron publicados por la revista *Nature* en septiembre de 1999.



Consulta
nuestra
página web:

[http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/
digital.htm](http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm)

SUMARIO

3	.....	INVESTIGACIÓN
3	.....	El Cangrejo del Sur, una nebulosa peculiar.
4	.....	Estrellas supermasivas, origen de los agujeros negros.
6	.....	NGC185, una galaxia elíptica enana con estrellas jóvenes azules.
8	.....	Las estrellas hipergigantes. Sus espectaculares cambios de temperatura y luminosidad prueban una evolución estelar detectable a escala humana.
		GARIK ISRAELIAN
10	.....	INSTRUMENTACIÓN
10	.....	Nueva caja de adquisición y guiado para el telescopio "Carlos Sánchez"
12	.....	OBSERVATORIOS
12	.....	El "Planeta Mileno".
14	.....	Colaboración internacional
14	.....	Reunión del CCI
14	.....	ACUERDOS
15	.....	CONGRESOS
15	.....	European Astrophysics Doctoral Network (EADN). 12th Predoctoral School on "Selected Topics on Binary Stars". Todo sobre estrellas binarias
18	.....	XI Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun. Estrellas de tipo solar: un reto para el siglo XXI.
22	.....	TESIS
30	.....	A TRAVÉS DEL PRISMA
30	.....	EVRY SCHATZMAN y la historia de la evolución estelar.
33	.....	GARIK ISRAELIAN: "No me interesa ser el mejor en un tema".
36	.....	RAFAEL ARNAY: "Facilitamos el trabajo a los investigadores huyendo de la burocracia".
38	.....	DIVULGACIÓN/OTRAS NOTICIAS
40	.....	Exposición "20 años de Astronomía en La Palma".
44	.....	Leónidas 99: la tormenta de fin de siglo.
48	.....	Expedición Shelios '99. 11 de agosto de 1999: eclipse total de Sol.

SUPLEMENTO ESPECIAL GTC

PAGES 1 & 4

BLACK HOLES - THE ULTIMATE DESTINY OF SUPERMASSIVE STARS

Black holes are not just science fiction anymore. Despite not being able to see them directly, astronomers know of their existence thanks to their effects on the stars that revolve around them. But what astronomers did not know with any certainty was how these black holes form and if they really are the ultimate destiny of many stars. Researchers at the Instituto de Astrofísica de Canarias, working in collaboration with a group from the University of California, have detected the remains of a violent thermonuclear explosion in the star that now revolves around a black hole in our Galaxy, using the 10-m diameter Keck Telescope. The results of this research were published in the journal *Nature* in September 1999.

PAGE 3

THE SOUTHERN CRAB - A PECULIAR NEBULA

The majority of the stars in the Universe do not live alone. It is estimated that more than half of them form binary systems, that is, pairs of stars, in which the mutual gravitational attraction makes them orbit around their mutual centre of gravity. If the distance between the two stars is sufficiently small (like the typical distances between planets of our solar system) very interesting and dramatic phenomena can take place. In certain cases one of the stars can be "phagocytosed" by the other; starting to fall slowly over the companion, until it enters the atmosphere, being destroyed finally by tidal forces and ending up merging together. An international group of researchers, led by Romano Corradi, an IAC researcher, has observed with the Hubble Space Telescope one of these binary systems that, because of their continuous and intimate interaction, are known as symbiotic stars.

PAGE 6

NGC185, A DWARF ELLIPTICAL GALAXY WITH YOUNG, BLUE STARS

Researchers David Martínez-Delgado and Antonio Aparicio-Juan of the Stellar Populations group of the IAC, have found evidence of the existence of young blue stars in NGC 185, a dwarf elliptical galaxy of the Local Group of which the Milky Way is also a member. The results, based on observations made with the telescopes of the Roque de los Muchachos Observatory, in La Palma, have been published in *The Astronomical Journal*. These observations represent the first solid proof that there has been recent star formation in dwarf elliptical galaxies, which profoundly modifies the belief that these are objects that are only populated by old stars.

PAGE 8

HYPERGIANT STARS. THEIR SPECTACULAR CHANGES OF TEMPERATURE AND LUMINOSITY SHOW A STELLAR EVOLUTION WHICH IS DETECTABLE ON A HUMAN SCALE

Stars of low mass, like the Sun, live for thousands of millions of years without showing considerable changes in their temperature or their luminosity. In contrast, cool hypergiants, the most brilliant stars of the Universe, lose approximately one solar mass every 100 000 years and have very large circumstellar envelopes (as much as 500 times the diameter of the Sun). Their mass oscillates between 10 and 20 Solar masses and they can be extinguished in less than 10 million years, an extraordinarily rapid evolution in astronomical terms. A group of astronomers led by IAC researcher Garik Israelian detected important changes in the temperature and a strong increase in the mass-loss rate in these stars. The article with the results of this research was published in *The Astrophysical Journal* on October 1st.

PAGE 12

THE MILLENNIUM PLANET

Last April the first detection was made from the Roque de los Muchachos Observatory (La Palma) of reflected starlight from a planet orbiting a star beyond the solar system. Up to now, the existence of extrasolar planets had only been inferred from the gravitational influence of the planet over the star. However, on this occasion, the light of a star other than the Sun (τ Boötis) has been observed directly, reflected from a planet in exactly the same way as sunlight is reflected from bodies in our solar system such as the Moon, Mars, or Jupiter. Alister Graham, IAC Support Astronomer in the Observatorio del Roque de los Muchachos, aided the team of Dr. Collier-Cameron from St Andrews University (Scotland), to obtain the data that produced these results that were published in the journal *Nature* on December 16th.

PAGE 14

INTERNATIONAL COLLABORATION

The William Herschel Telescope participated in the observations of the impact of Lunar Prospector into the South Pole of the Moon.

PAGE 15

ALL ABOUT BINARY STARS

More than half of all stars form and evolve as binary, or multiple systems, which makes their study essential to understand stellar evolution. The XII Predoctoral School of the European Astrophysics Doctoral Network (EADN), held in the Faculty of Physics of the University of La Laguna, from September 6th to 17th, took as its subject the observations and physical processes of these systems.

PAGE 18

SOLAR-TYPE STARS: A CHALLENGE FOR THE 21ST CENTURY

The Cambridge Workshops on cool stars were conceived two decades ago as scientific meetings to provide a regular forum for encounters of solar and stellar physicists. The aim was to discuss new observations, debate on theoretical models and, above all, attempt to establish a relationship between detailed observations of the Sun and the immense, but not very detailed database of observations of more distant stars. The XI Cambridge Workshop was organised by the IAC and held in Puerto de la Cruz, on October 4th to 8th.

PAGE 30

THROUGH THE PRISM

EVRY SCHATZMAN. GARIK ISRAELIAN. RAFAEL ARNAY

PAGE 40

EXHIBITION "20 YEARS OF ASTRONOMY IN LA PALMA"

As a way of celebrating the twentieth anniversary of the signing of the International Agreements on Astrophysics (La Palma, May 26th 1979), the IAC organised an exhibition in Santa Cruz de La Palma, which was open from November 16th 1999 to January 16th 2000.

PAGE 44

LEONIDS 99

PAGE 48

EXPEDITION SHELIOS '99

La mayoría de las estrellas del Universo no viven solas. Se estima que más de la mitad de ellas forman sistemas binarios, es decir, parejas de estrellas que por su atracción gravitatoria orbitan una alrededor de la otra. Si la distancia entre las dos estrellas es suficientemente pequeña (como las distancias típicas de los planetas en nuestro sistema solar), pueden tener lugar fenómenos muy interesantes y dramáticos. En ciertos casos, una de las estrellas puede ser «fagocitada» por la otra: empieza cayendo poco a poco sobre la compañera, hasta entrar en su atmósfera, para finalmente ser destruida por sus fuerzas de marea y acabar fundiéndose con ella. En otros casos, cuando la distancia entre las dos estrellas es suficientemente grande para evitar ese «canibalismo estelar», puede todavía ocurrir que una de las dos estrellas capture materia de las capas externas de la otra. Este gas se acumula sobre la superficie de la estrella hasta provocar violentas explosiones que lanzan al espacio gas a la velocidad de miles de kilómetros por segundo. Un grupo de astrofísicos internacionales, liderado por Romano Corradi, investigador del IAC, ha observado con el telescopio espacial *Hubble* uno de estos sistemas binarios, que por la continua e íntima interacción entre las dos estrellas se conocen como «estrellas simbióticas».

EL CANGREJO DEL SUR, una nebulosa peculiar

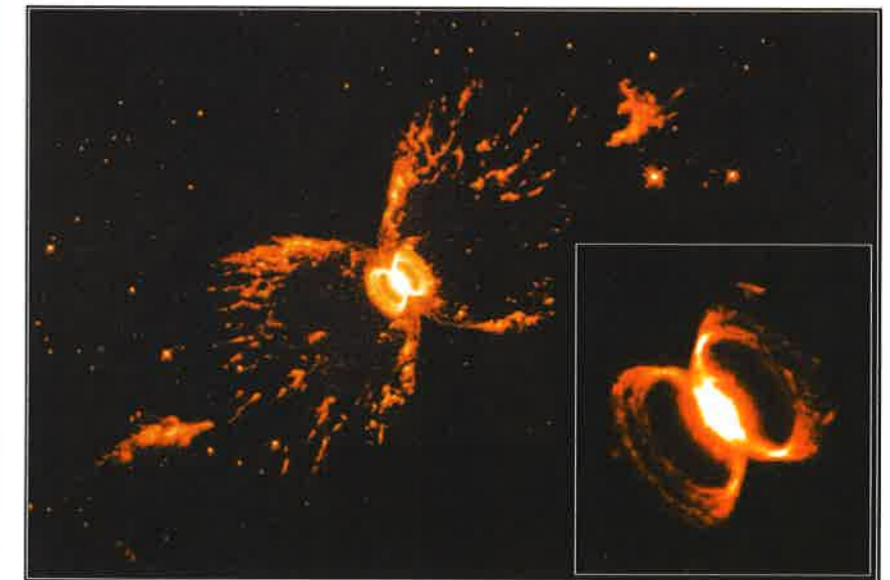
La nebulosa *He 2-104* observada por Corradi y sus colegas con el *Hubble* también recibe el nombre del *Cangrejo del Sur* por la forma que evocan las imágenes tomadas desde tierra. "El sistema —explica Romano Corradi— contiene dos estrellas muy viejas, ambas próximas a extinguirse completamente, pero muy diferentes entre sí: una es una gigante roja «fría», que está perdiendo sus capas externas de gas en un poderoso viento estelar, y la otra es una estrella enana blanca muy caliente, el residuo de una estrella que ha terminado todo su combustible nuclear y que ahora está 'viviendo' del gas capturado de la gigante fría". Una imagen del sistema *He 2-104* y el detalle central de esta nebulosa fueron presentados en un congreso celebrado recientemente en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en Estados Unidos. "La imagen del *Hubble* —señala Corradi— muestra que en realidad el sistema contiene dos nebulosas parecidas, contenidas una dentro de la otra como en una muñeca rusa. Se cree que las dos nebulosas son el resultado de dos diferentes explosiones nucleares sobre la enana blanca, ocurridas hace unos 200 y 1.000 años, respectivamente".

Corradi añade que estas observaciones proporcionan información muy va-

liosa sobre la evolución de las estrellas en sistemas binarios: "En concreto, sobre los fenómenos que pueden marcar tan dramáticamente su existencia, ya que se trata de explosiones estelares muy violentas. El Sol, en este sentido, pertenece a esa minoría de estrellas que no tienen una compañera, así que se estima que su evolución será mucho más tranquila y estable".

Más información en:

<http://oposite.stsci.edu/pubinfo/pr/1999/32/>



La nebulosa del cangrejo del Sur y detalle de su núcleo, observados por R. Corradi y sus colaboradores con el Telescopio Espacial Hubble.

Las estrellas supermasivas, de unas 30 veces la masa del Sol, acaban su vida bien mediante una explosión como supernova o directamente mediante un colapso gravitatorio. Ambos procesos conducen teóricamente a la formación de agujeros negros, pero hasta ahora no se tenían pruebas de ninguno de ellos. En el artículo publicado en *Nature* ("Evidence of a Supernova Origin for the Black Hole in GRO J1655-40"), astrónomos del IAC y de la Universidad de California, en Berkeley, presentaron los resultados de un estudio sobre la composición química de la estrella que orbita en torno al agujero negro del sistema GRO J1655-44 (Nova Scorpii 1994). Esta estrella muestra un alto contenido atmosférico de oxígeno, magnesio, silicio y azufre, diez veces superior al del Sol. Estos elementos químicos se originan en reacciones nucleares que tienen lugar en el interior de estrellas muy masivas al alcanzar temperaturas de miles de millones de grados y se expulsan al medio circundante si la estrella termina su vida explotando como supernova. En este proceso, además de enriquecer el entorno con nuevos productos químicos, se espera que tenga lugar la formación de una estrella de neutrones o de un agujero negro.

ESTRELLAS SUPERMASIVAS, origen de los agujeros negros

"UNO DE LOS MEJORES EJEMPLOS DE AGUJERO NEGRO QUE SE CONOCEN EN NUESTRA GALAXIA, CON UNA MASA DETERMINADA DINÁMICAMENTE ENTRE 4 Y 8 VECES LA DEL SOL, TUVO SU ORIGEN EN UN VIOLENTÍSIMO PROCESO EXPLOSIVO DE UNA ESTRELLA MUY MASIVA CUYOS RESTOS TERMONUCLEARES HAN SIDO AHORA DETECTADOS".

Hasta la fecha había numerosas pruebas de la formación de estrellas de neutrones tras la explosión de una supernova, pero no se conocían pruebas de la formación de agujeros negros. "Las investigaciones realizadas por nuestro grupo —explica Rafael Rebolo, Profesor de Investigación del CSIC en el IAC— han puesto de manifiesto que uno de los mejores ejemplos de agujero negro que se conocen en nuestra galaxia, con una masa determinada dinámicamente entre 4 y 8 veces la del Sol, tuvo su origen en un violentísimo proceso explosivo de una estrella muy masiva cuyos restos termonucleares han sido ahora detectados".

La composición de la materia expulsada se ha podido determinar gracias a la existencia de otra estrella en las cercanías, que presumiblemente ya estaba ligada a la estrella más masiva y que sobrevivió a su explosión, aunque fue contaminada significativamente por el material expulsado. "Esta estrella actuó como testigo del fenómeno y afortunadamente quedó ligada gravitatoriamente al agujero negro a una distancia que hoy es de unos 17 millones de kilómetros, permitiendo no sólo establecer con gran

precisión las propiedades dinámicas que apoyan la existencia de un agujero negro en el sistema, sino también desvelar con este nuevo trabajo cuál pudo ser su origen", señala Garik Israelian, otro miembro del grupo investigador y astrónomo del IAC.

Supernovas o hipernovas

Las proporciones relativas de oxígeno, magnesio, silicio y azufre que se han observado encajan de forma óptima con las recientes predicciones para la producción de elementos en hipernovas, una nueva clase de supernovas mucho más violentas que fueron propuestas el pasado año para explicar la detección de una supernova muy energética asociada con una explosión de rayos gamma. Las investigaciones más recientes sobre la explosión de estrellas masivas rotantes que colapsen favorecen que éstas originen, tras la explosión como hipernova, la formación de agujeros negros con masas similares a la del que parece existir en el sistema GRO J1655-40.

El Prof. Ken Nomoto, de la Universidad de Tokyo (Japón), cree al respecto que existe una gran probabilidad de que se

tratase de una hipernova, pues de haber sido una supernova normal, la mayor parte del hierro, azufre y silicio sintetizados en ella habrían caído hacia el agujero negro masivo sin ser expulsados al exterior. "Sólo una explosión hipereenergética, es decir, la de una hipernova, puede explicar la expulsión observada de azufre y silicio", concluye este investigador.

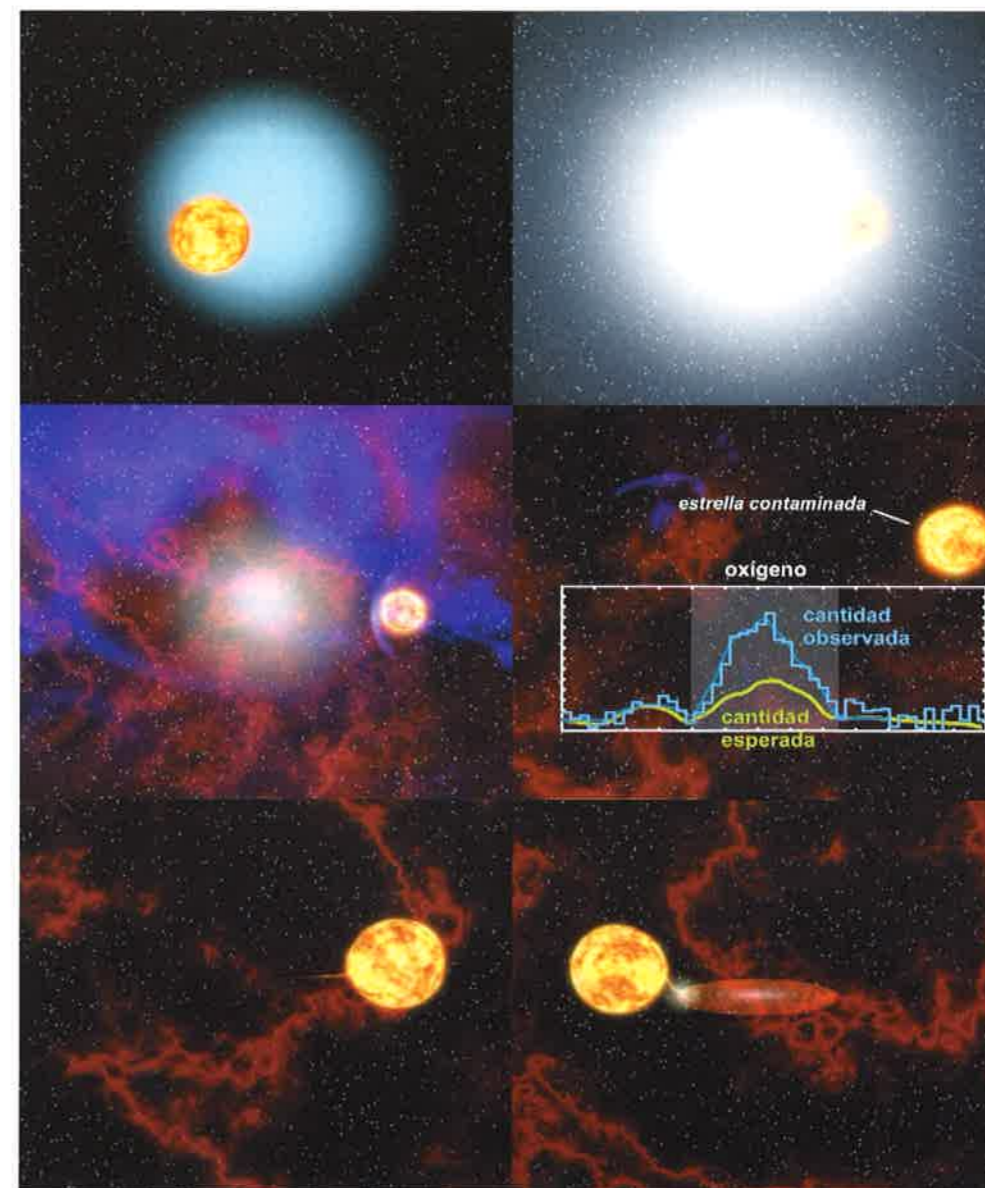
Jorge Casares, descubridor en 1992 del agujero negro en el sistema

V404 de la constelación del Cisne, afirma: "Este estudio, extendido a otros sistemas binarios que contengan agujeros negros y estrellas de neutrones, permitirá esclarecer la conexión entre estos sistemas y las últimas etapas evolutivas de las estrellas que las originan, así como conocer mejor la producción de elementos en los violentos procesos explosivos relacionados con el nacimiento de los agujeros negros".

INVESTIGADORES:

Rafael Rebolo (CSIC/IAC)
Garik Israelian (IAC)
Jorge Casares (IAC)
Eduardo Martín (Univ. de California)
Gibor Basri (Univ. de California)

ILUSTRACIÓN DE LA EXPLOSIÓN DE UNA ESTRELLA SUPERMASIVA Y LA FORMACIÓN DE UN AGUJERO NEGRO



Simulación artística de la explosión como hipernova de una estrella supermasiva.
1-izda: Sistema binario prehipernova;
1-dcha: Explosión como hipernova de la estrella principal;
2-izda: Contaminación de la estrella compañera con los restos de la explosión;
2-dcha: Indicación del enriquecimiento en oxígeno de la estrella compañera;
3-izda: Inicio de la captura de materia estelar por el agujero negro;
3-dcha: Disco de acreción en torno al agujero negro.
Elaboración de la simulación: Gabriel Pérez © IAC

Los investigadores David Martínez Delgado y Antonio Aparicio Juan, del grupo de Poblaciones Estelares del IAC, han encontrado pruebas de la existencia de estrellas jóvenes y azules en NGC 185, una galaxia elíptica enana del Grupo Local, al que también pertenece la Vía Láctea. Los resultados, basados en observaciones realizadas con telescopios del Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, han sido publicados en la revista científica *The Astronomical Journal*. Estas observaciones representan la primera prueba sólida de que en las galaxias elípticas enanas ha habido una formación estelar reciente, lo que modifica profundamente la concepción que se tiene de ellas como objetos poblados sólo por estrellas viejas.

NGC185, una galaxia elíptica enana con estrellas jóvenes y azules

La observación por astrónomos del Grupo de Poblaciones Estelares del IAC de formación estelar reciente en la galaxia NGC 185, perteneciente a nuestro Grupo Local, contradice el esquema establecido en los años 40 por Walter Baade (1893-1960), astrónomo de la Institución Carnegie en Pasadena (California, Estados Unidos), de que las galaxias elípticas enanas están pobladas sólo por estrellas viejas. Como explica Antonio Aparicio, quien lidera el grupo que ha realizado el estudio, **“las galaxias elípticas enanas, como NGC 185, constituyen un problema complejo y mal entendido que revisite incluso una cierta componente que podríamos llamar ‘social’ entre los astrofísicos”**. La razón es que estas galaxias se vieron directamente implicadas en la construcción de uno de los paradigmas clave de la Astrofísica de este siglo: el del concepto de Poblaciones Estelares, debido a Baade. En los años 40, este astrónomo llevó a cabo un gran trabajo de síntesis que puso orden en el caos de datos aparentemente inconexos que en aquel momento manejaban los astrónomos sobre las propiedades de las estrellas de distintos tipos en la Vía Láctea (nuestra galaxia) y en otras galaxias. Como resultado, introdujo los conceptos de Población I y Población II. Esta última incluía, esencialmente, a las estrellas muy viejas, que se caracterizaban por ser muy rojas. **“Una de las cuestiones interesantes y que, entonces, parecía quedar confortablemente clara —señala Aparicio—, era que había objetos formados exclusivamente por estrellas de Población II**

y que entre ellos se encontraban las galaxias elípticas enanas”.

El propio Baade, en 1944, ya se había dado cuenta de que en el núcleo de alguna galaxia elíptica enana y, en concreto, en el de NGC 185, había algunas “estrellas” azules (y jóvenes). Según Aparicio, esta presencia resultaba extraña en un objeto de Población II y, además, “desagradable”, puesto que suponía una excepción al ordenado esquema de las poblaciones. Baade explicó que se trataba de una “impureza” y siguió adelante. Lo curioso del asunto es que los astrónomos que le sucedieron en el estudio de estas galaxias siguieron también adelante sin hacer demasiado caso de aquella “impureza”.

En 1996 los investigadores del IAC abordaron el estudio de NGC 185, para el que utilizaron los telescopios JKT (Jacobus Kapteyn Telescope) y NOT (Nordic Optical Telescope), del Observatorio del Roque de los Muchachos. **“Identificamos las supuestas ‘estrellas’ azules de Baade —explica Martínez Delgado—, pero había un problema. Si esos objetos eran realmente estrellas, debían ser muy luminosas, muy masivas y, por tanto, muy jóvenes (de menos de 10 millones de años de edad). Esto implicaría la aparición de dos fenómenos laterales: el primero, que debería haber una gran cantidad de gas que, sin embargo, no estaba presente. El segundo, que esas estrellas masivas deberían ir acompañadas de una gran cantidad de estrellas de masas intermedias que no se observaban.**

LA OBSERVACIÓN DE FORMACIÓN ESTELAR RECIENTE EN LA GALAXIA NGC 185 CONTRADICE EL ESQUEMA ESTABLECIDO EN LOS AÑOS 40 POR EL ASTRÓNOMO WALTER BAADE DE QUE LAS GALAXIAS ELÍPTICAS ENANAS ESTÁN POBLADAS SÓLO POR ESTRELLAS VIEJAS.

Estas dos cuestiones quedaron sin resolver e hicieron que el problema fuera temporalmente aparcado.”

Lo que se desprende del nuevo estudio realizado es que las “estrellas” azules de NGC 185 no son tales, sino cúmulos estelares que, debido a la distancia, aparecen como prácticamente puntuales. Según los investigadores del IAC, esto confundió a Baade: en sus viejas placas fotográficas, los cúmulos eran indistinguibles de las estrellas. **“Y hemos resuelto el problema”**, comenta Aparicio. **“Los cúmulos están formados por miles de estrellas, que no tienen ya que ser tan luminosas ni, por tanto, tan masivas ni tan jóvenes: la luminosidad de todas ellas se suma ahora para alcanzar la luminosidad total del cúmulo, que es la que observamos. Cada una de ellas puede ser miles de veces menos luminosa de lo que pensó Baade. Como consecuencia, sus edades pasan a ser de algunos cien-**

tos de millones de años y sus masas, moderadas. Tampoco es necesaria la presencia de gran cantidad de gas, que ha podido ser expulsado del entorno”.

Este resultado confirma, por un lado, algo que ya se sospechaba: que las galaxias elípticas enanas no están formadas meramente de estrellas muy viejas y, por tanto, que ha habido formación estelar reciente. Por otro —añade Aparicio—, **“los cúmulos estelares que hemos encontrado son la traza del último proceso de formación estelar que tuvo lugar en NGC 185, hace algunos cientos de millones de años (en comparación, la edad de la galaxia y de sus estrellas más viejas es de unos 10.000 a 15.000 millones de años). Son la prueba fehaciente de que la formación estelar en estas galaxias ha continuado hasta épocas recientes y, por tanto, de que el esquema de las Poblaciones I y II es demasiado simple”**.



Región central de la galaxia elíptica enana NGC 185, del Grupo Local. El color azul evidencia la existencia de formación estelar reciente en su centro. Imagen obtenida con el Telescopio Jacobus Kapteyn, instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos y perteneciente al Grupo Isaac Newton.

“LOS CÚMULOS ESTELARES QUE HEMOS ENCONTRADO SON LA TRAZA DEL ÚLTIMO PROCESO DE FORMACIÓN ESTELAR QUE TUVO LUGAR EN NGC 185, HACE ALGUNOS CIENTOS DE MILLONES DE AÑOS. SON LA PRUEBA FEHACIENTE DE QUE LA FORMACIÓN ESTELAR EN ESTAS GALAXIAS HA CONTINUADO HASTA ÉPOCAS RECIENTES Y, POR TANTO, DE QUE EL ESQUEMA DE LAS POBLACIONES I Y II ES DEMASIADO SIMPLE”.

Las estrellas poco masivas (como el Sol) viven varios miles de millones de años sin experimentar cambios considerables en su temperatura o en su luminosidad. En cambio, las hipergigantes frías, que son de las estrellas más brillantes del Universo, pierden en torno a una masa solar cada 100.000 años y tienen envolturas circunestelares muy amplias (de hasta 500 veces la del Sol). Su masa oscila entre 10 y 20 veces la masa solar y puede extinguirse en menos de 10 millones de años, una evolución extraordinariamente rápida en términos astronómicos. Un grupo de astrónomos liderado por el investigador del IAC Garik Israelian han estudiado los espectros de varias hipergigantes obtenidos hace 3 décadas y los han comparado con los espectros obtenidos recientemente desde el Observatorio del Roque de los Muchachos. Como resultado detectaron cambios importantes en la temperatura y un fuerte incremento en la pérdida de masa de estas estrellas, fenómenos que, como indica André Maeder, experto en evolución estelar del Observatorio de Ginebra (Suiza), "resultan especialmente interesantes si tenemos en cuenta que corresponden a una transición evolutiva nunca observada hasta la fecha". El artículo con los resultados de esta investigación fue publicado en la revista *The Astrophysical Journal* el pasado 1 de octubre.

LAS ESTRELLAS HIPERGIGANTES

Sus espectaculares cambios de temperatura y luminosidad prueban una evolución estelar detectable a escala humana

GARIK ISRAELIAN (IAC)

Las hipergigantes son objetos raros de los que sólo se conocen 12 en nuestra galaxia. Existen indicios (como, por ejemplo, la sobreabundancia de sodio y nitrógeno en sus atmósferas con respecto al Sol) de que las hipergigantes son estrellas que han evolucionado desde la fase de supergigante roja a la de supergigante azul. Casi todas las hipergigantes observadas tienen temperaturas que oscilan entre los 4.000 y 8.000 K y son de 100.000 a un millón de veces más luminosas que el Sol.

La fase "prohibida"

Los cálculos de la evolución estelar predicen que la temperatura inicial de las estrellas masivas disminuye desde los 20.000-30.000 K hasta los 3.000 K sólo cuando al principio de su vida su masa es inferior a las 60 masas solares. Una vez alcanzan la fase en que la temperatura es de unos 3.000 o 4.000 K, las estrellas de masa superior o igual a 10 masas solares vuelven a mermar en tamaño y evolucionan hasta convertirse en supergigantes azules con temperaturas entre 12.000 y 30.000 K. Sin embargo, Böhm-Vitense indicó en 1958 que las estrellas con temperaturas en torno a los 9.000 K muestran inversiones de densidad, lo que podría in-

dicar que su temperatura no puede superar los 8.000-9.000 K una vez han empezado a reducirse en tamaño.

Esto ha llevado a investigar el llamado "vacío evolutivo amarillo", la fase evolutiva en la vida de las estrellas masivas en la que sus temperaturas no pueden ser de entre 8.000 y 12.000 K ni su luminosidad puede ser de entre 100.000 y un millón de veces la del Sol. Es una fase "prohibida" sólo para estrellas masivas evolucionadas que ya han alcanzado temperaturas tan bajas como 3.000-4.000 K (y comienzan de nuevo a aumentarlas). Para las estrellas que cambian su temperatura de los altos valores iniciales hasta los 3.000-4.000-K no existe esa región "prohibida". En esa fase, las envolturas estelares son inestables, algo que se manifiesta de diversas formas. Por ejemplo, las atmósferas presentan gradientes de densidad negativos a determinada profundidad en el interior estelar, es decir, la densidad disminuye con la profundidad. Se supone que las estrellas, al acercarse a esa región "prohibida", pueden mostrar signos de inestabilidad, pero el proceso en sí de acercarse al vacío no ha sido aún estudiado. Es un campo sin explorar en el que la teoría no cuenta todavía con observaciones en las que apoyarse.

Realizar un seguimiento de las estrellas que se acercan al vacío contribuiría a conocer mejor la naturaleza de las inestabilidades, la hidrodinámica de las atmósferas inestables y a responder a la pregunta más importante de si estas estrellas pueden o no pasar el vacío. El vacío es una predicción teórica que no ha podido confirmarse observacionalmente. El programa observacional para realizar el seguimiento de varias hipergigantes (es decir, para observarlas con frecuencia, unas 10 veces al año) fue puesto en marcha hace 5 años por mí y mis colegas A. Lobel (Universidad de Harvard, EEUU), C. de Jager (Universidad de Utrecht, Países Bajos), M. Schmidt (Centro Nicolás Copérnico, Polonia) y F. Musaeu (SAO, Rusia) y ha producido ya un buen número de resultados interesantes.

Se piensa que las hipergigantes galácticas V509 Cas, ρ Cas e IRC+10420 se están acercando actualmente al "vacío evolutivo amarillo" con 8.000 K, aunque ha habido períodos con 4.000 K. El brillo de IRC+10420 en luz visible aumentó 300 veces entre 1930 y 1970 y su temperatura efectiva ha aumentado en 1.000 K en los últimos 20 años. Desgraciadamente no existen observaciones espectroscópicas frecuentes de esta estrella. Otras hipergigantes que parecen tener temperatura y luminosidad similares son Var A, de la galaxia M33, y V382 Car, en nuestra galaxia. Otro objeto interesante, HD 33579, parece estar situado en el interior del vacío, evolucionando hacia temperaturas más bajas (lo cual ¡no está prohibido!).

Las observaciones anteriores realizadas desde tierra de V509 Cas y ρ Cas sólo se han hecho en el rango óptico y en el infrarrojo cercano (4.000-9.000 Å). Las primeras observaciones de estas dos hipergigantes en el ultravioleta cercano (3.000-3.500 Å) se realizaron en agosto de 1998 con el Espectrógrafo *Echelle* de Utrecht (UES) del Telescopio "William Herschel", del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Con el espectrógrafo *echelle* SOFIN, del Telescopio NOT, también en aquel observatorio, se obtuvieron más espectros de alta resolución de estas estrellas en el rango de 3.500-11.000 Å en octubre el mismo año. Los espectros recogidos en los archivos de septiembre de 1969, julio de 1976 y agosto de 1978 fueron obtenidos en el *Dominion Astronomical Observatory* de Victoria (Canadá).

Un análisis espectral detallado de las observaciones nos permitió comunicar por primera vez (Israelian, Lobel, y Schmidt, *ApJ*, vol. 523, L145, 1999) el hallazgo de importantes cambios de la temperatura efectiva en los registros espectroscópicos de la hipergigante fría V509 Cas que no pueden explicarse por la variabilidad regular de la atmósfera de una estrella supergigante. El hallazgo se basa en una

combinación única de espectros ópticos de alta resolución a lo largo de un período de 30 años. Así, V509 Cas resultó ser la primera estrella masiva fría evolucionada que presentaba los efectos de la evolución estelar según se deriva del estudio de 30 años de historia espectroscópica, en realidad sólo un instante en la vida de una estrella. La temperatura efectiva de V509 ha aumentado rápidamente en las tres últimas décadas, lo que coloca a la estrella al límite del vacío: ha pasado de unos 5.000 K en 1969 a unos 8.000 K en la actualidad.

Estudiar las fases finales de la evolución de estrellas con masas comprendidas entre las 10 y las 60 masas solares requiere datos específicos, como las pulsaciones atmosféricas y los mecanismos de pérdida de masa de las hipergigantes frías, pero ante todo precisa observaciones frecuentes, es decir, un programa de seguimiento. Evidentemente, las amplias variaciones de 3.000-4.000 K no son debidas a las pulsaciones, pero reflejan cambios evolutivos complejos debidos a la reconstrucción activa del interior estelar. Resulta significativo que un conjunto de estrellas cuya temperatura va en aumento se esté concentrando alrededor del lado del vacío de las bajas temperaturas (en torno a los 8.000 K) sin que aparezca ninguna en el interior del vacío. Esto conduce a la hipótesis de que al acercarnos al límite de esa área la estrella podría experimentar una muy elevada pérdida de masa y desarrollar una cubierta asociada a una reducción de la temperatura efectiva. Queda abierta la cuestión de con qué frecuencia (quizá sólo sea una vez) se produce este fenómeno antes de que la estrella pase a través del vacío. Es posible que el paso final de las estrellas más masivas a través del vacío no llegue a producirse nunca y que estas estrellas acaben su vida en una explosión de supernova.

No sabemos cómo evolucionará V509 Cas en los próximos años cuando se encuentre en el límite de la región "prohibida", pero podríamos barajar tres posibilidades:

- 1) La estrella podría volver al punto en que su temperatura era de 4.000-5.000 K. Para la teoría será un enorme desafío explicar tales variaciones en la temperatura en tan poco espacio de tiempo y cómo la estrella puede recuperar su estructura interna anterior. Sabemos que estos movimientos no son pulsaciones, ¿cómo explicarlos entonces?
- 2) La estrella puede pasar sin problemas esta región "prohibida", lo que significaría que sencillamente no conocemos la estructura de las envolturas de las estrellas hipergigantes. La teoría no es válida.
- 3) La estrella podría explotar como una supernova. No ha habido ninguna explosión de supernova en nuestra galaxia desde 1604, con lo que no sorprendería demasiado después de lo que sabemos tras la supernova 1987A, en la Gran Nube de Magallanes.

"LA TEMPERATURA EFECTIVA DE LA ESTRELLA HIPERGIGANTE V509 Cas HA AUMENTADO RÁPIDAMENTE EN LAS TRES ÚLTIMAS DÉCADAS, LO QUE COLOCA A LA ESTRELLA AL LÍMITE DEL VACÍO: HA PASADO DE UNOS 5.000 K EN 1969 A UNOS 8.000 K EN LA ACTUALIDAD."

ANDRÉ MAEDER:
"Si la supergigante 'amarilla-azul' V509 Cas explotará en poco tiempo en forma de supernova, si se convertirá en una estrella Wolf-Rayet o si retrocederá en su evolución a la fase de gigante roja hasta que una ingente pérdida de masa le arranque su envoltura, son preguntas que sólo observaciones futuras podrán responder."

NUEVA CAJA DE ADQUISICIÓN Y GUIADO PARA EL TELESCOPIO "CARLOS SÁNCHEZ"

JUAN CALVO (IAC)

En la actualidad, los instrumentos de mayor uso en el telescopio "Carlos Sánchez", de 1,5 m, instalado en el Observatorio del Teide, son la Cámara Infrarroja (CAIN) y el fotómetro CVF. Cada instrumento tiene una caja de adquisición y guiado propia con una serie de elementos imprescindibles para su funcionamiento. En las figuras 1 y 2 se esbozan estas cajas con sus elementos montados, a excepción de la cámara de guiado.

Su intercambio, incluyendo tanto la verificación como un posible alineado, precisa un tiempo excesivamente alto como para poder ser realizado a lo largo de una misma noche de observación. Por ello, hace tiempo se empezó a plantear la idea de poder utilizar independientemente ambos instrumentos a lo largo de una misma noche de observación. La solución a la que se llegó fue que los dos equipos debían compartir una misma caja de adquisición y guiado.

Por otro lado, no tendría sentido realizar un cambio de equipo en una misma noche y que el tiempo restante para observar no fuera lo suficientemente amplio como para que mereciera la pena realizarlo. Lorenzo Peraza, como ingeniero mecánico, y Adolfo García, como ingeniero óptico, fueron dando forma a la idea en la que se está trabajando actualmente en el Área de Instrumentación. Se trata de que esta nueva caja de adquisición y guiado para el telescopio "Carlos Sánchez" tenga instalados simultáneamente los equipos correspondientes a la Cámara Infrarroja (CAIN) y el fotómetro CVF, de forma que puedan ser usados durante la misma noche de observación con un tiempo de cambio de uno a otro no superior a treinta minutos. Manuel Verde, ingeniero técnico mecánico, ha sido la persona designada para finalizar la parte mecánica del proyecto.

En la figura 3 se muestra el diseño final de la nueva caja de adquisición y guiado para este telescopio.

COLABORAN EN EL PROYECTO:

Investigador Principal:
 Francisco Garzón
 Gestor del Proyecto:
 Juan Calvo
 Jefe de Mantenimiento Instrumental:
 Emilio Cadavid
 Ingeniero Técnico:
 Manuel Verde

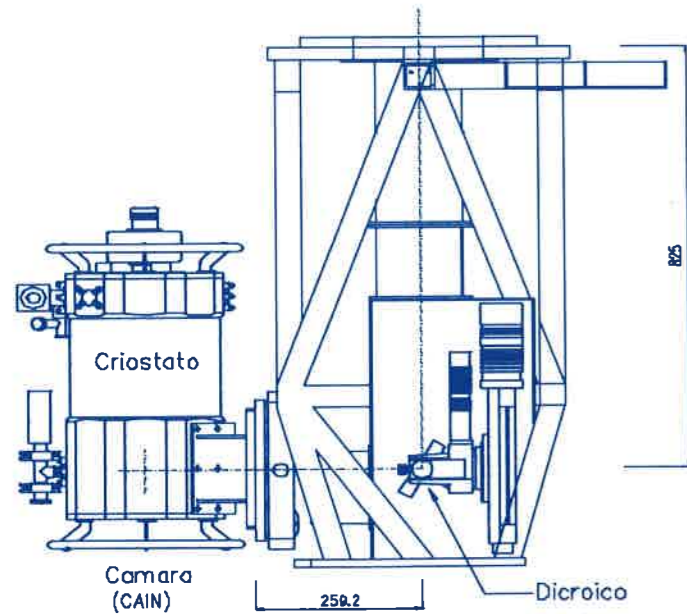


Fig. 1: Cámara infrarroja

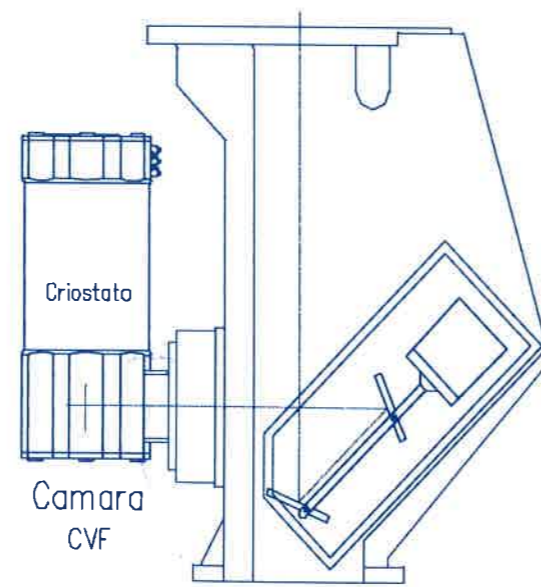


Fig. 2: Fotómetro CVF

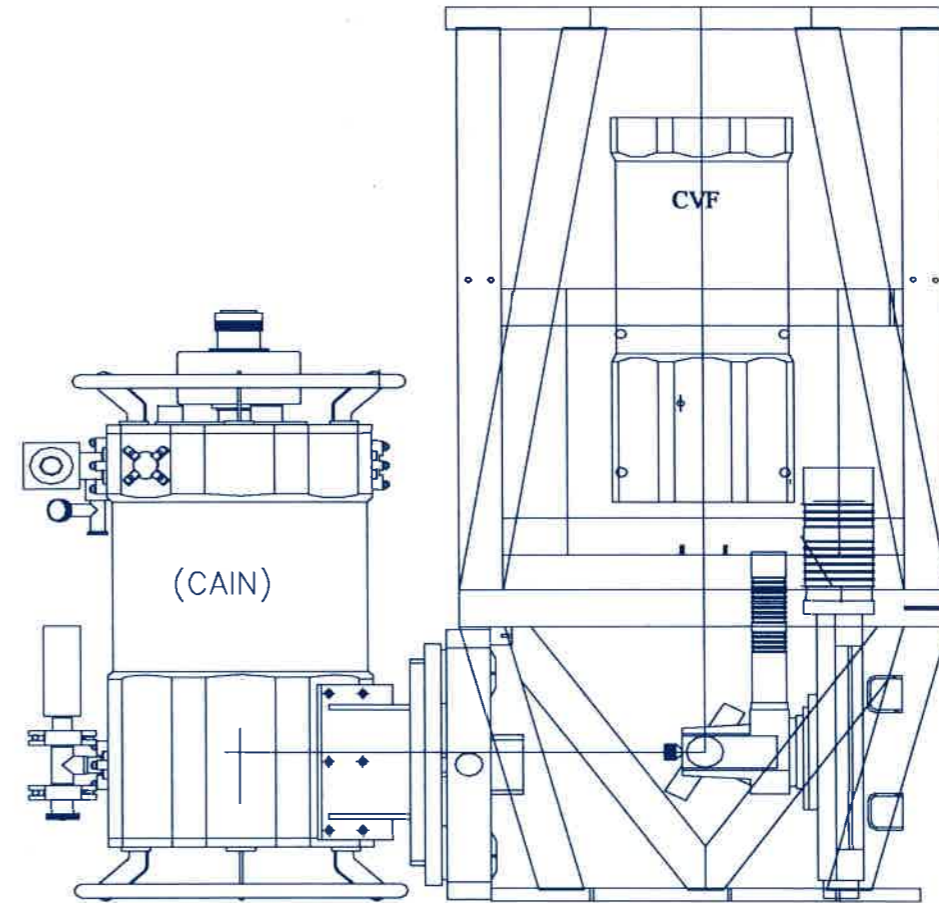


Fig. 3: Caja de adquisición y guiado con CAIN y CVF instalados (vista desde el sur).

CESIÓN DE USO DE UN CALIBRADOR ELÉCTRICO MULTIFUNCIÓN POR EL ITC

El avanzado estado de la negociación de un convenio de colaboración con el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) ha permitido adelantar la cesión, por esta institución, de un calibrador multifunción con prestaciones superiores a las del que ofrece actualmente el Laboratorio de Calibración Eléctrica del IAC. Mediante esta cesión, el Laboratorio estará pronto en condiciones de poder realizar calibraciones de pinzas amperimétricas por el método de bobina en corriente continua y alterna hasta un máximo de 1.000 amperios.

CONCIERTO ESPECÍFICO DE COLABORACIÓN

El IAC ha firmado un Concierto Específico de Colaboración con la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias en virtud del cual Rosaura Hernández Valiñas, alumna de tercero de FPII de Delineación Industrial del I.E.S de Geneto, realizará sus prácticas en el Instituto. La estancia comenzó el 10 de enero y finalizará el 15 de mayo y consistirá en colaborar de forma directa en la ejecución de proyectos bajo la supervisión del Jefe del Servicio de Delineación Técnica, Abelardo Díaz Torres, trabajando en equipo para cubrir tanto los objetivos académicos como los que se trace el IAC y manejando programas informáticos.

El pasado mes de abril se produjo, desde el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), la primera detección directa de un planeta extrasolar. Esta detección consiste en la observación de la luz de la estrella reflejada por el planeta. Hasta ahora, las detecciones de planetas más allá de nuestro sistema solar se basaban en la influencia gravitatoria que ejercían sobre sus estrellas. Sin embargo, esta vez se observó directamente la luz de una estrella distinta del Sol (τ Bootis) reflejada en un planeta que orbita a su alrededor; su luz se refleja en el planeta exactamente de la misma forma en que se refleja la luz solar en cuerpos celestes de nuestro Sistema Solar, como la Luna, Marte o Júpiter. Alister Graham, Astrónomo de Soporte del IAC en el Observatorio del Roque de los Muchachos, asistió en abril de 1999 al equipo del Dr. Collier-Cameron, de la Universidad de St. Andrews (Escocia), en la obtención de los datos que llevaron a estos resultados, publicados en la revista *Nature* el 16 de diciembre.

EL PLANETA "MILENIO"

ALISTER GRAHAM (IAC)

El ya denominado "Planeta Milenio" fue observado a través del espectrógrafo UES (*Utrecht Echelle Spectrograph*) instalado en el telescopio "William Herschel", del Grupo Isaac Newton, en el Observatorio del Roque de los Muchachos. En su órbita alrededor de la estrella τ Bootis, la luz reflejada en su superficie se observa con corrimiento al azul y luego al rojo según se acerca y se aleja respectivamente del observador. Este ciclo de 3,3 días entre corrimiento al rojo y luego al azul de la luz reflejada en el planeta se corresponde de forma exactamente inversa con el corrimiento al azul y luego al rojo de la luz observada de su estrella, tal y como cabría esperar si el centro de gravedad permaneciera fijo en el sistema formado por ambos cuerpos. Esta detección supone un enorme avance, pues viene a confirmar que las variaciones en la velocidad radial detectadas en otras estrellas se deben efectivamente a la presencia de un planeta.

Andrew Collier-Cameron y sus colegas David James y Keith Horne, de la Universidad de St. Andrews (Escocia), junto con Alan Penny, del CLRC *Rutherford Appleton Laboratory* de Oxfordshire (Inglaterra), detectaron la luz reflejada por el planeta durante las observaciones realizadas en 1998 y 1999 en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

A sólo 55 años luz de distancia, la estrella τ Bootis, relativamente cercana, puede verse a simple vista desde la Tierra. Las mediciones realizadas indican que el diámetro de su planeta es unas veinte veces el de la Tierra y, debido a la proximidad a su estrella —más de veinte veces más cerca de su estrella de lo que está la Tierra del Sol— su temperatura superficial podría alcanzar los 1.700^o C, lo suficientemente alta como para encontrar hierro en estado líquido.

Para el Dr. Penny, ser una de las primeras personas en obtener una evidencia directa de un planeta extrasolar es una experiencia única, especialmente cuando se está al borde de un nuevo milenio. "Nuestro descubrimiento —afirma Penny— es un importante paso adelante para poder conocer cómo son realmente estos planetas, un paso que podría llevar al hallazgo de planetas de tipo terrestre". El momento culminante llegó en mayo de 1999, "una vez completa la mayor parte de las observaciones del año. En aquellos momentos, igual que ahora, estábamos seguros en un 95% de que teníamos algo", —comenta Collier-Cameron, responsable del grupo.

En 1997, Geoffrey Marcy, de la Universidad de San Francisco, y Paul Butler, actualmente del Observatorio Anglo-Australiano en Nueva Gales del Sur

(Australia) observaron variaciones en la velocidad radial de τ Bootis e infirieron la existencia de un planeta gigante en torno a esta estrella. Desde entonces, un equipo independiente de astrónomos que habían estado observando la estrella informaron, a mediados de 1999, de que no habían conseguido observar directamente el planeta. Un miembro de este equipo, David Charbonneau, del *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (EEUU), había utilizado el telescopio Keck de Hawai para observar este planeta. "Los dos resultados —manifestó Charbonneau— parecen ligeramente inconsistentes. El método es muy complejo. Es posible que lo hayamos detectado y se nos haya vuelto a perder."

La detección es un resultado 3-sigma (es decir, existe una probabilidad del 95% de que sea una detección real), y la posibilidad de que lo que han detectado no sea más que ruido es de una entre veinte. Se realizarán más mediciones en la primavera del año 2000 para verificar la probable detección por parte de este equipo, cuyos resultados

fueron publicados en la revista *Nature* el 16 de diciembre de 1999.

Este descubrimiento abre la puerta a la posible identificación de componentes atmosféricos de otros planetas extrasolares en los próximos años. El "Planeta Milenio" es al menos 30.000 veces más débil que su estrella (según su posición orbital). La disponibilidad de grandes telescopios, como el Gran Telescopio Canarias (GTC), que se está construyendo en el Observatorio del Roque de los Muchachos, será enormemente beneficiosa para investigaciones de este tipo. Con ellos podríamos conocer la composición química de estos planetas, qué gases contienen y si son capaces de albergar vida.

Al filo del nuevo milenio en el 2001, nos encontramos realmente en el amanecer de una nueva era para la investigación y el descubrimiento de nuevos planetas y, gracias al GTC, la comunidad astrofísica española estará muy bien situada para participar en este tipo de aventuras científicas.

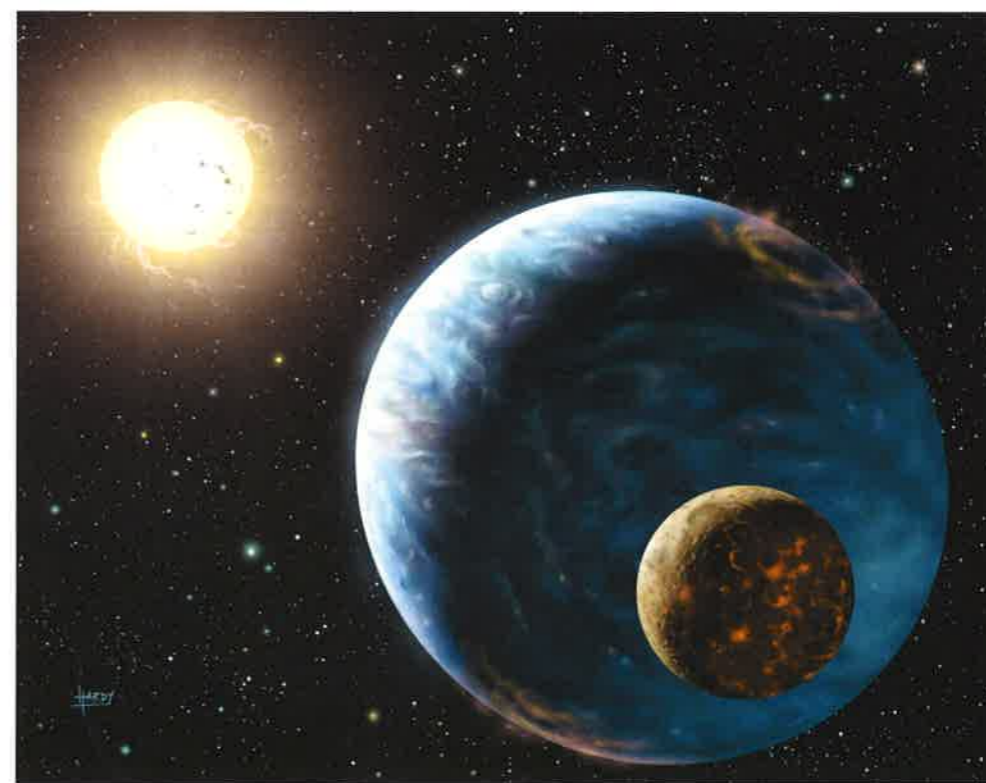


Ilustración del planeta que orbita en torno a la estrella τ Bootis. La luna que aparece en primer plano es imaginaria, aunque es muy posible que el planeta "Milenio" pudiera tener un satélite. Fuente: PPARC (Particle Physics and Astronomy Research Council), <http://www.pparc.ac.uk/News/Planet.htm>.

"EL PLANETA 'MILENIO' ES AL MENOS 30.000 VECES MÁS DÉBIL QUE SU ESTRELLA (SEGÚN SU POSICIÓN ORBITAL). LA DISPONIBILIDAD DE GRANDES TELESCOPIOS, COMO EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS (GTC), QUE SE ESTÁ CONSTRUYENDO EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS, SERÁ ENORMEMENTE BENEFICIOSA PARA INVESTIGACIONES DE ESTE TIPO."

"ESTA DETECCIÓN SUPONE UN ENORME AVANCE, PUES VIENE A CONFIRMAR QUE LAS VARIACIONES EN LA VELOCIDAD RADIAL DETECTADAS EN OTRAS ESTRELLAS SE DEBEN EFECTIVAMENTE A LA PRESENCIA DE UN PLANETA."

COLABORACIÓN INTERNACIONAL

El telescopio "William Herschel" participó en las observaciones realizadas tras el impacto del "Lunar Prospector" sobre el polo sur lunar

El 31 de julio de 1999 se produjo un impacto controlado de la nave "Lunar Prospector" de la NASA sobre un cráter próximo al polo sur lunar, una zona que no recibe luz del Sol y en la que se cree que podría existir una reserva de agua en estado sólido. El experimento fue concebido para que, una vez agotada la vida útil del vehículo espacial, su impacto sobre la superficie de la Luna desprendiese vapor de agua que fuese observable desde telescopios situados en Tierra y en el espacio, y que permitiese comprobar la posible existencia de agua en nuestro satélite. El desprendimiento y observación de otros elementos, como el sodio y el potasio, permitiría también obtener una valiosa información acerca de los procesos responsables de la presencia de estos elementos en la atmósfera lunar. Se llevaron a cabo observaciones coordinadas, espectroscópicas y de imagen directa, utilizando un amplio conjunto de telescopios localizados en diversos observatorios, incluidos el telescopio "Keck", de 10m de diámetro, situado en Hawai, y el telescopio "William Herschel" (WHT), de 4,2m, del Observatorio del Roque de los Muchachos, así como en el telescopio espacial "Hubble".

Aunque el equipo encargado de la operación del vehículo está convencido de que el impacto se produjo en el lugar adecuado, no se detectó ningún tipo de residuo ni en el visible ni en el infrarrojo. En particular, no se detectó ninguna emisión procedente de vapor de agua ni de otras moléculas relacionadas. La presencia de una fuerte componente de luz difusa procedente del limbo lunar (la zona del impacto está detrás de la zona iluminada de la Luna) supuso un límite importante a esta investigación. Tampoco se observaron variaciones en la abundancia de sodio de la atmósfera lunar. Los investigadores Stefano Verani (*International Space Science Institute*, Berna, Suiza), Chris R. Benn (*Issac Newton Group*, La Palma) y Ramón J. García López (IAC) utilizaron el espectrógrafo UES del WHT para obtener espectros de dos líneas de sodio presentes en la atmósfera lunar a 200 km de su superficie, realizando observaciones en la zona próxima al impacto, así como al Este y al Norte, durante la noche inmediatamente posterior al mismo (que se produjo durante la mañana para nosotros). Los valores hallados son similares a los habituales para esa fase lunar y altitud, sin que se hayan observado anomalías que pudiesen estar asociadas al impacto.

Los resultados de este estudio, que ha sido coordinado por Edwin S. Barker, del Observatorio McDonald, de la Universidad de Texas (EEUU), fueron presentados en un congreso internacional celebrado en Padua el pasado mes de octubre y publicados por la *American Astronomical Society*.

CONVENIO MARCO DE COLABORACIÓN CON EL INTA

Con el fin de impulsar la colaboración en programas y proyectos de carácter nacional e internacional, el IAC y el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "Esteban Terradas") firmaron, el pasado día 15 de diciembre, un Convenio Marco de Colaboración prorrogable anualmente. La colaboración entre ambas instituciones se facilitará por medio de estudios, informes y propuestas, así como mediante la creación de comisiones técnicas y grupos de trabajo.

REUNIÓN DEL CCI

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios del Teide, en Tenerife, y del Roque de los Muchachos, en La Palma, celebró su 42ª reunión ordinaria el 16 de noviembre, en el Hotel Taburiente de los Cancajos (La Palma). Al término de la reunión, los miembros del CCI asistieron a la inauguración de la Exposición "20 años de Astronomía en La Palma", que conmemoraba el vigésimo aniversario de la firma de los Acuerdos Internacionales en Materia de Astrofísica, en Santa Cruz de La Palma. La anterior reunión tuvo lugar en la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica), el 26 de mayo, cuando justamente se cumplían los 20 años de la firma de estos Acuerdos.

En esta reunión se trataron, entre otros temas del orden del día, los proyectos existentes para la instalación de nuevos telescopios y, en su caso, la firma de los correspondientes acuerdos internacionales, así como la asignación del 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) así como del Centro Común de Astronomía de La Palma, la nueva sede del IAC en la Isla.

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 aportación efectiva a los Observatorios de cada uno de los países participantes. 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.

TODO SOBRE ESTRELLAS BINARIAS

Más de la mitad de las estrellas se forman y evolucionan en el seno de sistemas binarios o múltiples, por lo que su estudio es esencial para entender la evolución estelar. Sobre las observaciones y los procesos físicos de estos sistemas trató la XII Escuela Predoctoral de la Red Doctoral Europea de Astrofísica (*European Astrophysics Doctoral Network, EADN*), creada en 1986 por un grupo de universidades de 11 países europeos. Actualmente forman parte de esta red más de 35 universidades e institutos de 17 países de Europa Occidental, y se espera que nuevas universidades de Europa del Este se integren en breve. En su duodécima edición, esta escuela ha tenido como sede la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, donde se ha celebrado del 6 al 17 de septiembre, organizada por el Departamento de Astrofísica de esta universidad.

La Universidad de La Laguna ha sido miembro de la EADN desde sus inicios. Uno de los fines de la red EADN es estimular la movilidad entre universidades de estudiantes graduados del campo de la Astrofísica que se encuentren preparando sus tesis doctorales. Con este fin organiza anualmente una Escuela Predoctoral de Astrofísica dirigida a estudiantes que están comenzando una tesis doctoral en esta rama de la ciencia, para lo cual recibe ayuda económica del programa TMR (*Training and Mobility of Researchers*) de la Unión Europea además de fondos de la Fundación Granholm de Suecia. La XII Escuela de la EADN, organizada en la Universidad de La Laguna, contó además con apoyo económico de diversas instituciones y empresas, entre ellas el Instituto de Astrofísica de Canarias.

Las escuelas predoctorales que organiza la EADN han tenido tradicionalmente dos semanas de duración y pretenden dar una visión amplia sobre campos relevantes y de actualidad en la investigación astrofísica, a la vez que poner en contacto a los estudiantes que están comenzando una tesis doctoral con investigadores reconocidos de la comunidad internacional. "Los temas tratados en escuelas anteriores" -señala el astrofísico Carlos Lázaro, uno

de los organizadores de esta edición- han sido muy variados (evolución de galaxias, dinámica galáctica y simulación de N-cuerpos, astrofísica de altas energías, plasmas en astrofísica, espectroscopía de rayos-X en astrofísica, sistemas planetarios extrasolares, etc.). Sin embargo, el tema de las estrellas binarias, al que se dedicó la XII Escuela Predoctoral de la EADN, nunca había sido propuesto para una de estas escuelas, a pesar de ser de tanto interés en Astrofísica". Las materias tratadas en las escuelas EADN son publicadas por *Springer-Verlag* dentro de la serie "Lecture Notes in Physics".

Las sistemas múltiples

"Actualmente -explica Carlos Lázaro- se considera que la mayoría de estrellas de la galaxia se forman y evolucionan en sistemas ligados de estrellas binarias o múltiples. En muchos casos, las componentes de estos sistemas se encuentran suficientemente cerca para que, en algún momento de su evolución, intercambien cantidades apreciables de masa y energía, formando entonces lo que normalmente denominamos *binarias interactivas*. Ese intercambio de masa entre las com-



Cartel anunciador de la escuela EADN celebrada en Tenerife.



Bert C. de Loore



Selected Topics on Binary Stars European Astrophysics Doctoral Network (12th Predoctoral School) La Laguna (Tenerife) September 1999

Participantes en la XII Predoctoral School de la EADN, celebrada en La Laguna (Tenerife).

evolución de las estrellas respecto a la que seguirían como estrellas aisladas y da lugar a fenómenos nuevos, como el proceso de acrecimiento de materia, de gran interés teórico y observacional".

Las binarias interactivas tienen relación con diversos campos de la Astrofísica: estrellas superdensas como las enanas blancas y estrellas de neutrones, objetos colapsados candidatos a ser "agujeros negros", erupciones de tipo nova y algunos tipos de supernova, radiación de alta energía en ultravioleta, rayos X y rayos gamma, etc. El programa diseñado para la XII Escuela Predoctoral EADN pretendió dar una visión amplia, aunque desde luego no exhaustiva, del estudio de las estrellas binarias, con diferentes puntos de vista, todos ellos de gran actualidad. Por eso, la escuela no se centró sólo en el estudio de las binarias interactivas, un tema recurrente de numerosas reuniones científicas.

Entre los profesores invitados este año destacaba el Prof. Józef Smak, del Centro Astronómico Copérnico de Varsovia (Polonia). Smak, experto en un tipo de estrellas binarias llamadas "variables cataclísmicas" por los procesos eruptivos que se dan en ellas, pronun-

ció la conferencia inaugural de esta escuela.

Otros temas de gran interés tratados fueron la determinación de parámetros estelares absolutos por medio de las binarias y su comparación con los modelos de estructura y evolución estelar (de importancia fundamental para toda la Astrofísica); los diferentes procesos físicos que aparecen en estrellas binarias y que influyen en su evolución y en el análisis de las observaciones (evolución orbital y de rotación por interacción gravitatoria entre las componentes de la binaria, fenómenos de irradiación mutua,...), los fenómenos de actividad magnética intensificada que se observan en binarias de rotación rápida por la interacción de fuerzas de marea, etc. La exposición de los temas tratados permitió a los estudiantes asistentes a la escuela adquirir nuevos conocimientos sobre los problemas teóricos que plantean las estrellas binarias, nuevas técnicas de análisis de las observaciones, a la vez que tuvieron la ocasión de conocer recientes resultados observacionales y proyectos de investigación en curso.

La física de estos sistemas estelares ha experimentado recientemente importantes avances, tanto en el campo

de **ponentes estelares que forman una binaria modifica completamente la teórico como en el observacional. Precisamente, uno de los más recientes resultados científicos de investigadores del IAC, la comprobación del origen de los agujeros negros como resultado de la explosión de una estrella supermasiva, se ha realizado en un sistema binario, en el que una de las dos estrellas del sistema se enriqueció con material procedente de la explosión de su compañera. "Hasta ahora los astrónomos conocían bien los procesos que desencadenan la formación estelar, pero no habían podido confirmar la hipótesis de que uno de los posibles finales de las estrellas muy masivas fuera el convertirse en agujero negro. La circunstancia de que la estrella estudiada se encontrase en un sistema binario permitió a los astrónomos confirmar algo que sospechaban desde hacía varios años,"** comenta el Prof. Bert de Loore, de la Universidad Libre de Bruselas (Bélgica), autor de varios libros dedicados al estudio de la evolución de los sistemas binarios y veterano participante en esta serie de Escuelas EADN.

Jóvenes investigadores

Para un doctorando, el interés de esta Escuela no está sólo en profundizar en sus conocimientos sobre una rama concreta de la Astronomía, sino también **"en exponer el resultado de su propio trabajo y en aprender a presentarlo en público de modo adecuado. No es evidente para un estudian-**

te de doctorado ser capaz de comunicar bien una idea, aprovechando al máximo los medios técnicos a su alcance", subraya De Loore. Este tipo de reuniones supone un incentivo y motiva a los jóvenes científicos en su trabajo de investigación, aspecto éste que el Prof. Klaus Strassmeier, de la Universidad de Viena (Austria) y que participa en la Escuela por primera vez, considera **"especialmente importante en ciencia, en particular cuando se está aún empezando en la aventura de la investigación".**

En esta XII Escuela Pre-Doctoral EADN participaron cuarenta y un estudiantes de doce países europeos: Alemania, Bélgica, Croacia, España, Estonia, Francia, Grecia, Inglaterra, Irlanda, Italia, Polonia y Portugal. Los temas tratados en la escuela y los profesores invitados a exponerlos fueron los siguientes:

- "Variables cataclísmicas". J. SMAK. (Centro Astronómico Copérnico, Polonia)
- "Variables cataclísmicas y binarias doblemente degeneradas". T.R. MARSH. (Universidad de Southampton, Reino Unido)
- "Actividad magnética en binarias". K.G. STRASSMEIER. (Universidad de Viena, Austria)
- "Evolución de Binarias Masivas Cercanas". C. DE LOORE. (Universidad Libre de Bruselas, Bélgica)
- "Procesos físicos en sistemas binarios cercanos". A. CLARET. (Instituto de Astrofísica de Andalucía, España), A. GIMÉNEZ (Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental, España).
- "Binarias de rayos X y Candidatos a agujero negro". J. CASARES. (Instituto de Astrofísica de Canarias, España).



Klaus Strassmeier

COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL:

Carlos Lázaro Hernando
M. Jesús Arévalo Morales
Pablo Rodríguez Gil
Ignacio González Martínez-Pais

ENTIDADES COLABORADORAS:

- Programa TMR de la Unión Europea
- Fundación Granholm de Suecia
- Universidad de La Laguna
- IAC
- Cabildo de Tenerife
- Ayuntamiento de La Laguna
- IBERIA
- SUN Microsystems
- DISA

Dirección en Internet:
<http://www.iac.es/eadn99school/main.htm>



Józef Smak.

ESTRELLAS DE TIPO SOLAR: un reto para el siglo XXI

Los *Cambridge Workshops* sobre estrellas frías fueron concebidos hace dos décadas como reuniones científicas para proporcionar un foro regular de encuentro de especialistas en física solar y estelar donde discutir las nuevas observaciones, debatir sobre modelos teóricos y, especialmente, tratar de establecer una relación entre las observaciones detalladas del Sol y la inmensa pero poco detallada base de datos de las observaciones de estrellas más lejanas. La primera de estas reuniones, celebrada en Cambridge, Massachusetts (EEUU) en 1980, dio nombre a esta serie de reuniones que sólo ha salido de los Estados Unidos en dos ocasiones: en 1995, celebrada en Florencia (Italia), y en 1999, que ha tenido lugar en Tenerife, organizada por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), en el Centro de Congresos del Puerto de la Cruz, del 4 al 8 de octubre.



Jürgen Schmitt

Con 270 participantes, esta edición, la última del milenio, contó con representantes de cuatro continentes y fue una buena ocasión para revisar los temas que habitualmente se tratan en los *Cambridge Workshops* sobre estrellas frías. También fue una de las más largas, incluyendo en su agenda temas que complementan los abordados hasta ahora y, en opinión del investigador Ramón García López, profesor de la Universidad de La Laguna y copresidente del Comité Científico Organizador, "cumplió sus propósitos de identificar los desafíos y problemas que plantea la física de estrellas de tipo tardío para el siglo que viene". Jürgen Schmitt, Director del Observatorio de Hamburgo (Alemania), presidió la sesión dedicada a actividad estelar, la más tradicional de estas reuniones y que aglutina en un mismo foro la física solar y la estelar. Schmitt destacó dos temas de esta edición en los que se han producido avances importantes: el estudio de estrellas de baja masa y objetos subestelares y los recientes descubrimientos sobre rotación diferencial en el campo de la actividad estelar.

Planetas gigantes aislados

Con la presentación de evidencias observacionales de la existencia de planetas gigantes flotando libremente en el espacio de la región de Orión, el grupo del IAC compuesto por Víctor Sánchez Béjar, M. Rosa Zapatero-Osorio y Rafael Rebolo aportó los últimos avances en astrofísica subestelar. "Demostrar la existencia de este tipo de objetos era todo un reto - comenta Schmitt - una labor que han llevado a cabo especialmente desde el IAC, cuyo grupo estuvo entre los prime-

"A PESAR DE QUE SE INTUÍA, HASTA AHORA HABÍA SIDO EXTREMADAMENTE DIFÍCIL DEMOSTRAR LA EXISTENCIA DE LA ROTACIÓN DIFERENCIAL EN OTRAS ESTRELLAS."

ros en demostrar la existencia de las enanas marrones." En cuanto al segundo de los temas destacados por Schmitt, este investigador señaló que "en las estrellas de baja masa se da el hecho curioso de que parecen girar muy rápidamente: una medida directa indica un período de rotación de 7 horas, como el de Júpiter, lo que comparado con los 30 días del Sol es muy rápido". Siguiendo el paradigma de la actividad estelar, que dice que cuando en una estrella hay rotación y convección debería haber también dinamo, generación de campos magnéticos, emisión de rayos X, corona, etc., cabría esperar entonces que hubiese actividad en estos objetos, pero no parece detectarse, lo que constituye un problema con dos únicas explicaciones, según Schmitt: "o bien hay un sesgo en las observaciones (algo que se debatió durante la reunión), o bien estas estrellas no presentan la actividad habitual que se encuentra en estrellas de masa superior".

Rotación del Sol

Destacó también el debate sobre la rotación diferencial en las estrellas. Se sabe que el Sol no gira de forma uniforme, sino que existe una ligera diferencia en el ritmo de rotación entre el ecuador y los polos solares. "Hasta ahora había sido extremadamente difícil demostrar la existencia de esa rotación diferencial en otras estrellas - comenta Schmitt, a pesar de que se intuía. En el congreso se presentó el trabajo de un grupo francés en el que se demuestra de modo convincente la existencia de la rotación diferencial en las estrellas. Lo curioso es que la naturaleza de esa rotación dife-

rencial estelar parece ser muy similar a la del Sol, y es sorprendente porque las estrellas estudiadas presentan una velocidad de rotación 30 veces superior a la del Sol y, a pesar de ello, el modelo de rotación diferencial es similar." De este tema se ocuparon un buen número de ponencias. De interés fue también el debate sobre rotación diferencial e imágenes superficiales.

Rayos X

Roberto Pallavicini, del Observatorio Astronómico de Palermo (Italia), presentó los resultados de las observaciones del satélite italiano de rayos X BeppoSAX, utilizado especialmente en el estudio de estrellas de tipo tardío. "BeppoSAX es un satélite relativamente pequeño pero con algunas características únicas - explica Pallavicini, como ser capaz de abarcar un amplio rango espectral. No es particularmente útil para estudiar estrellas, pero ha resultado serlo para algo que no alcanzará siquiera el telescopio 'Chandra': con él hemos obtenido algunos resultados interesantes, especialmente sobre fulguraciones estelares y la primera detección de emisiones de rayos X en fulguraciones estelares. En un principio se pensó que era una emisión térmica similar a la que se observa en las fulguraciones estelares durante la fase de pulsación, pero ahora sabemos que esa emisión térmica es debida a la elevadísima temperatura, de más de 100 millones de grados, que se alcanza en las fulguraciones de algunas estrellas". Los datos de BeppoSAX sobre coronas estelares complementan a los obtenidos con instrumentos ópticos. Aunque de pequeño tamaño en comparación con otras misiones lanzadas recientemente o que se lanzarán en breve, BeppoSAX está produciendo resultados muy interesantes, siendo los más conoci-

dos los de los estudios de explosiones de rayos gamma.

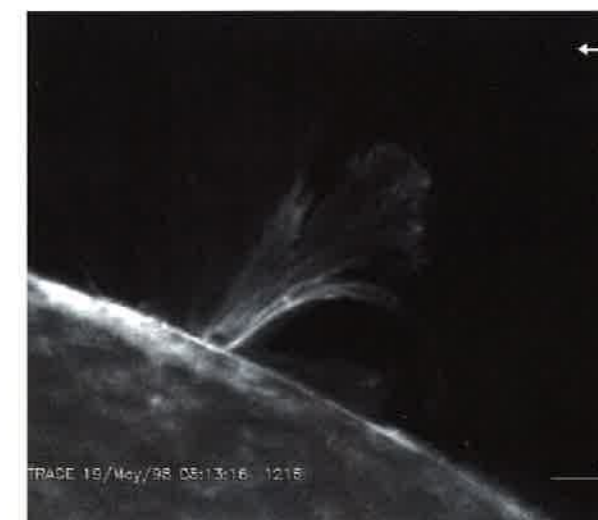
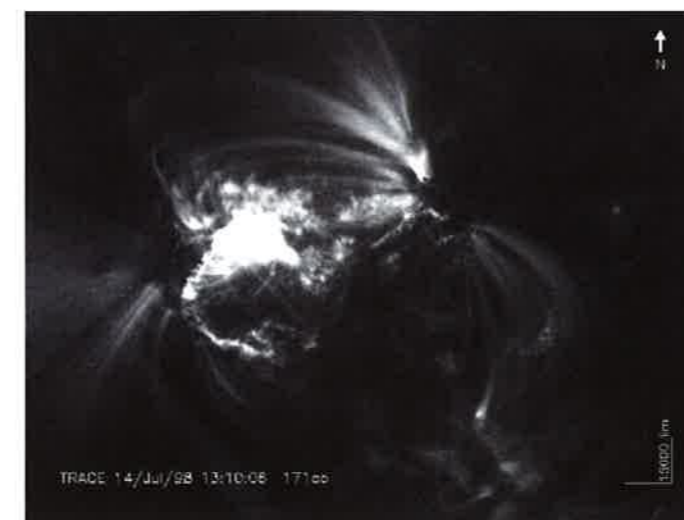
TRACE: las mejores imágenes de la corona solar

Las últimas observaciones de la atmósfera solar realizadas tanto con telescopios terrestres como desde satélites suponen un gran avance para la física solar y estelar, actualizando muchos de los supuestos de los que parte la física estelar (como que no existe un equilibrio en las abundancias de los elementos químicos en las atmósferas estelares; no existe un mínimo continuo de temperatura por encima de la fotosfera; no hay una estratificación térmica simple, ni siquiera en el interior de las estructuras magnéticas, etc.). A ello han contribuido, en especial, las observaciones del satélite TRACE, lanzado hace aproximadamente un año y medio, y que fueron presentadas en el congreso por C.J. Schrijver del Instituto *Stanford-Lockheed* de Investigación Espacial (EEUU), y Leon Golub, del *Smithsonian Astrophysical Observatory* de Cambridge-Masachusetts (EEUU).

"TRACE observa el Sol a una resolución espacial que no se ha conseguido nunca desde el espacio", explica Schrijver. Hasta ahora las misiones espaciales sólo habían podido obtener algunas instantáneas, pero no películas donde observar claramente el funcionamiento de la corona solar con gran exactitud. "Con TRACE hemos podido constatar que la corona solar, esa región del Sol donde la temperatura alcanza más de un millón de grados centígrados, muy por encima de la superficie solar, es de una increíble complejidad. Está compuesta por filamentos de estructura muy fina, que hemos podido observar porque TRACE tiene una resolución de 700 km".



Roberto Pallavicini



Gigantescos bucles (imagen de la izda.) y fulguraciones (dcha.) en la corona solar, imágenes extraídas de las secuencias obtenidas con el satélite TRACE y presentadas durante el XI Cambridge Workshop celebrado en Tenerife.



Carolus J. Schrijver

En la corona solar las diferencias de temperatura entre puntos separados entre sí por tan sólo unos pocos cientos de kilómetros pueden alcanzar varios millones de grados; el material se desplaza a lo largo de las líneas de campo magnético dentro del volumen de la corona solar, formando filamentos que se mueven según cambia el campo magnético. "En las imágenes de TRACE se puede observar el movimiento del material hacia el interior de los bucles" –continúa Schrijver, "algo que no se había observado directamente hasta la fecha; su temperatura se mantiene, probablemente, mediante corriente eléctrica que se cortocircuita en la corona, al igual que sucede con las tormentas con aparato eléctrico en la superficie de la Tierra. Cuando eso sucede, el material se enfría rápidamente al irradiar su energía y cae de nuevo. Hasta ahora, todos estos procesos se han observado en ocasiones puntuales, mientras que nosotros hemos podido contemplar su desarrollo de forma rutinaria. Cada vez que observamos vemos cómo se dan cambios muy rápidos, cómo el material asciende y vuelve a caer. Ahora podemos comparar estos resultados con lo que conocemos del campo magnético en la superficie del Sol para estudiar cómo se deposita el calor en esas capas, que es uno de los mayores enigmas de la física solar y estelar." Las imágenes de TRACE y su impacto en la física estelar fueron uno de

los resultados más espectaculares presentados en el XI Cambridge Workshop sobre estrellas frías, sistemas estelares y el Sol.

Para Andrea Dupree, del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, "la reunión se celebró en un momento muy oportuno, en que el lanzamiento del observatorio 'Chandra' de rayos X y del satélite FUSE (ambos proyectos estadounidenses) ha facilitado el acceso a zonas del espectro invisibles desde tierra; ha habido grandes avances en instrumentación, especialmente en el infrarrojo. Además, pronto la ESA lanzará su telescopio XMM, un satélite de rayos X que estudiará las estrellas frías, y Japón su satélite Astro-E." De este congreso Dupree destaca los resultados de los estudios solares de los observatorios espaciales TRACE (NASA) y SOHO (NASA/ESA), que han revolucionado la imagen que teníamos de la atmósfera externa del Sol; la 'explosión' de la informática de que estamos siendo testigos, "pues ahora -explica, en lugar de observar imágenes estáticas, las imágenes se presentan en secuencias de vídeo y con las últimas técnicas de proyección"; y, finalmente, que se ha podido incluir la dimensión temporal de los procesos estudiados, de la evolución a corto plazo de las estrellas, "con lo cual -concluye- podemos decir que se ha añadido una nueva dimensión a nuestras investigaciones".

EL FORO "CS11"

RAMÓN GARCÍA LÓPEZ
(Univ. de La Laguna/IAC)

La undécima edición del congreso *Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun* (coloquialmente conocido por las siglas "CS11"), celebrada en Tenerife, reunió a 270 investigadores procedentes de América, Europa, India, Japón y Australia, entre los que se encontraba un gran número de los mejores especialistas en el estudio de la física solar y estelar. El objetivo de esta multitudinaria reunión científica, que se ha consolidado durante las últimas ediciones como el congreso de mayor prestigio en este campo, fue el de pasar revista a lo que sabemos sobre una serie de aspectos fundamentales en el estudio de las estrellas de tipo solar, que son aquellas que, cubriendo un amplio rango de masas estelares, se caracterizan por tener una estructura interna y atmosférica que se asemeja a la de nuestra estrella patrón. La idea subyacente durante el congreso fue la de poner de manifiesto cuáles son los retos planteados para el trabajo en este campo durante los próximos años.

El congreso se estructuró en cinco sesiones plenarias, en las que se trataron los cinco temas generales que constituyeron el núcleo de la reunión, y en otras cinco sesiones paralelas, diseñadas de manera que varios paneles de investigadores fomentaron la discusión sobre algunos temas seleccionados por su especial relevancia en este momento. Se desplegaron, además, un total de 248 pósters a lo largo del congreso. CS11 sirvió también para poner claramente de manifiesto la estupenda salud de la que goza la física solar y estelar en España, y en el IAC en particular, mediante una amplia participación de investigadores españoles en conferencias de revisión, contribuciones orales y pósters, así como en la coordinación de sesiones plenarias y de debate.

Durante el congreso se presentaron un buen número de nuevos resultados relevantes, entre los que podemos mencionar la evidencia de planetas masivos flotando libremente, la medida de oscilaciones en estrellas distintas del Sol, las espectaculares imágenes de la corona solar proporcionadas por el satélite TRACE, etc. El recuerdo al Prof. K. Zwaan, recientemente fallecido y que encarnó claramente el espíritu de esta serie de congresos tratando siempre de establecer vínculos entre la física solar y la estelar, fue especialmente emotivo.

En resumen, CS11 resultó ser un interesante y fructífero foro de debate científico sobre el futuro de la física solar y estelar y, a la vez, un marco agradable en el que se profundizaron los vínculos profesionales y personales de una amplia comunidad diseminada por todo el globo. La próxima cita será en Boulder, EEUU, durante la primera semana de agosto de 2001.



Andrea Dupree



Grupo de participantes en el "XI Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun"

COMITÉ ORGANIZADOR CIENTIFICO:

T.R. Ayres, A. Baglin, S. Balachandran, J.P. Caillault, P. Demarque, A. Dupree, R.J. García López, B. Gustafsson, C. Jordan, D.L. Lambert, J.L. Linsky, B. Montesinos, R.W. Noyes, R. Pallavicini, R. Rebolo, T. Roca Cortés, J.H.M.M. Schmitt, J. Stauffer, K. Strassmeier, A.M. Tittle, M. Vázquez, J.P. Zahn

COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL:

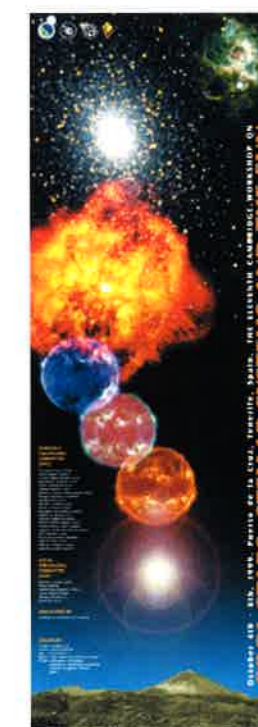
R.J. García López, R. Rebolo, V. Sánchez Béjar, M.R. Zapatero Osorio, M. Murphy, R. Cabrera

ENTIDADES COLABORADORAS:

Universidad de La Laguna, Dirección General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias, Dirección General de Enseñanza Superior del MEC, Cabildo de Tenerife, Patronatos de Turismo de los Cabildos de La Palma y Tenerife, Iberia, Banco Bilbao-Vizcaya, Ayuntamiento de La Orotava, Denominación de Origen del Valle de La Orotava, Bodegas Valleoro, Quesería Teisol, Liceo de Taoro, Centro de Congresos del Puerto de la Cruz.

Dirección en Internet:

<http://www.iac.es/cs11/cs11.html>



Cartel anunciador de la reunión.

ÁLVARO PÉREZ RAPOSO

Nació en Madrid, el 16 de septiembre de 1972. Estudió Ciencias Físicas en la Universidad Complutense, donde se licenció en 1995. Ese mismo año consiguió una beca como Astrofísico Residente en el IAC. Actualmente trabaja en la Universidad de Cantabria.

ÁLVARO PÉREZ RAPOSO presentó su tesis doctoral titulada "El formalismo perturbativo en la evolución no lineal de estructuras cosmológicas", el pasado 29 de enero, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la calificación de Sobresaliente "cum laude". Esta tesis ha sido dirigida por los doctores Jesús González de Buitrago, de la Universidad de La laguna e investigador del IAC, y Luis J. Goicoechea, de la Universidad de Cantabria.

"El formalismo perturbativo en la evolución no lineal de estructuras cosmológicas"

El primer acercamiento al estudio de la estructura del Universo es el llamado modelo homogéneo, que idealiza el Universo como un gas homogéneamente distribuido y en expansión. La expansión se debería a una gran explosión inicial, el Big Bang, que se está frenando debido a la atracción gravitatoria del propio gas. Este modelo funciona muy bien y ha dado muy buenos resultados hasta donde es aplicable. Pero el universo real no es perfectamente homogéneo. Algunas galaxias están agrupadas en cúmulos de galaxias (desde cientos hasta miles de ellas) e incluso existen agrupaciones de varios cúmulos: los supercúmulos de galaxias. Para explicar esto se ha buscado una vía que no suponga abandonar completamente el modelo homogéneo. Se trabaja con la hipótesis de que el universo era efectivamente homogéneo al principio. En algún momento surgieron diminutas inhomogeneidades, esto es, en algunos puntos la densidad del gas era un poco más alta que la media y en otros más baja. Pero estas irregularidades, por pequeñas que fueran al principio, tienden a crecer y a hacerse notables. Es fácil comprender, pues, que si en una zona la densidad es algo más alta que en los alrededores, la atracción gravitatoria también lo sea, y por tanto más materia caerá a esa zona y más aumentará su densidad. Este es el problema de crecimiento de las inhomogeneidades, que se cree que finalmente darían lugar a las llamadas estructuras cosmológicas: galaxias, cúmulos y supercúmulos.

Las dificultades aparecen a la hora de poner estas ideas en forma de ecuaciones. La evolución de las inhomogeneidades (de las estructuras cosmológicas) se formula como un problema de fluidos, y las ecuaciones son no lineales. No se conoce una solución general. Actualmente, la simulación numérica es el único método que permite abordar este problema desde el punto de vista global, aunque se necesitan métodos analíticos para interpretar los resultados numéricos.

Los métodos analíticos más desarrollados son los formalismos perturbativos. Se basan en la idea de que las irregularidades, cuando surgieron, eran extremadamente pequeñas y pueden tratarse como una pequeña perturbación del caso homogéneo. Efectivamente así es, y las ecuaciones re-

sultantes sí pueden ser abordadas. Pero como las inhomogeneidades crecen, sólo durante una época se cumple que sean pequeñas perturbaciones. Sólo durante esa época es válido este método. A esta época se la denomina régimen lineal y, un poco más allá, el cuasilineal.

Hay dos formalismos que desarrollan esta idea: el euleriano y el lagrangiano. Desde su aparición, este último ha sido el más empleado para realizar estudios analíticos en cosmología, puesto que sus resultados parecían mucho más precisos. Como consecuencia de ello, el formalismo euleriano ha caído en el olvido debido también a la falta de una exposición sistemática que ha llevado a que todas las computaciones adquieran una elevada complejidad. Sin embargo, los dos formalismos deberían ser, en principio, equivalentes. Su punto de partida es el mismo, las ecuaciones de fluidos, pero se escriben desde el enfoque euleriano y el otro desde el lagrangiano. Como se sabe, ambos enfoques son equivalentes. Sin embargo, la relación entre las dos teorías no está clara, como tampoco lo está el origen de los resultados, sorprendentemente buenos, de las aproximaciones lagrangianas.

En esta tesis se hace un desarrollo sistemático del formalismo euleriano. Se dan expresiones sencillas para evaluar las distintas aproximaciones y para estudiar su precisión y aplicabilidad. Se han ampliado asimismo algunos trabajos previos para comparar los dos formalismos con el fin de aclarar la relación existente entre ellos. Todo el estudio es analítico. Para comparar las aproximaciones de uno y otro método se emplean como referencia las soluciones exactas, que se conocen para algunos casos particulares: simetrías esféricas y planas.

Los principales resultados del estudio se pueden resumir en los dos siguientes. Primero, el formalismo euleriano ha quedado bien asentado, dando fórmulas sencillas que permiten trabajar con él. Segundo, se ha demostrado que, tal y como intuíamos, ambos formalismos son equivalentes, que el lagrangiano o el euleriano son sólo dos caminos para calcular las aproximaciones de primer orden, segundo orden, tercer orden, etc., pero que llevan a las mismas expresiones.

TRIBUNAL

Jesús Martín (Univ. de Salamanca)
Juan Betancort (Univ. La Laguna/IAC)
Evencio Mediavilla (Univ. La Laguna/IAC)
Diego Sáez (Univ. de Valencia)
Fernando Atrio (Univ. de Salamanca)

JUAN CARLOS VEGA BELTRÁN presentó su tesis doctoral titulada "Estudio comparativo de la cinemática del gas y de las estrellas en una muestra de galaxias disco", el 26 de marzo de 1999, en el Aula del IAC, obteniendo la calificación de Sobresaliente "cum laude". Esta tesis ha sido dirigida por los doctores Francesco Bertola, Profesor Decano de la Universidad de Padua, y por John Beckman, Profesor de investigación del CSIC en el IAC.

"Estudio comparativo de la cinemática del gas y de las estrellas en una muestra de galaxias disco"

Este trabajo propone el estudio cinemático (gas y estrellas) de una muestra de 27 galaxias. La idea original era hacer un estudio de cómo cambia la cinemática con el tipo morfológico de las galaxias. Una vez hecho el estudio se establecen una serie de propiedades cinemáticas generales con el tipo morfológico, básicamente distinguimos entre espirales tardías y espirales tempranas.

Una parte de las galaxias estudiadas (cuando las condiciones eran las adecuadas) fueron estudiadas con modelos dinámicos. Aunque el número de galaxias modeladas no es grande, tomando además los resultados obtenidos por otros autores en otras galaxias similares, podemos intuir una serie de conclusiones generales. Encontramos una posible correlación entre la presencia de gas rotando a velocidad inferior a la velocidad teórica circular predicha por los modelos y la relación de luminosidad entre el bulbo y el disco. Sin embargo, no parece obvia la relación entre el tipo morfológico y el fenómeno de curvas de

rotación de crecimiento lento. Concluimos que los sistemas con una componente caliente difusa (lente o bulbo) con longitud de escala comparable a aquella del disco están caracterizados por curvas de rotación que presentan curvas de crecimiento lento. Por el contrario, en sistemas con un bulbo pequeño el gas se encuentra prácticamente moviéndose circularmente.

Otros resultados importantes que se deducen de la lectura de esta tesis son: la utilidad de la cinemática como herramienta para revisar los tipos morfológicos de las galaxias; la necesidad de disponer de datos fotométricos y cinemáticos para entender perfectamente que está ocurriendo en una galaxia y de entender qué fenómenos han sufrido las galaxias hasta llegar a su estado actual; el complemento a la estadística de los parámetros cinemáticos de las galaxias barradas; necesidad de obtener campos cinemáticos bidimensionales (gas y estrellas) para entender y poder modelar unívocamente los fenómenos dinámicos que rigen las galaxias.

JUAN CARLOS VEGA BELTRÁN

Nació en Santa Cruz de Tenerife, el 15 de marzo de 1967. Estudió Ciencias Físicas (especialidad Astrofísica) en la Universidad de La Laguna. Realizó su tesis doctoral en el Observatorio Astronómico de Padua (Italia) entre 1995 y 1999 con una beca del Telescopio Nacional Galileo. Actualmente disfruta de una beca post-doc en el IAC.

TRIBUNAL

Francisco Sánchez (IAC)
Michael Merrifield (Univ. de Nottingham, Reino Unido)
Evencio Mediavilla (Univ. de La Laguna/IAC)
Eduardo Battaner (Univ. de Granada)
Casiana Muñoz Tuñón (IAC)

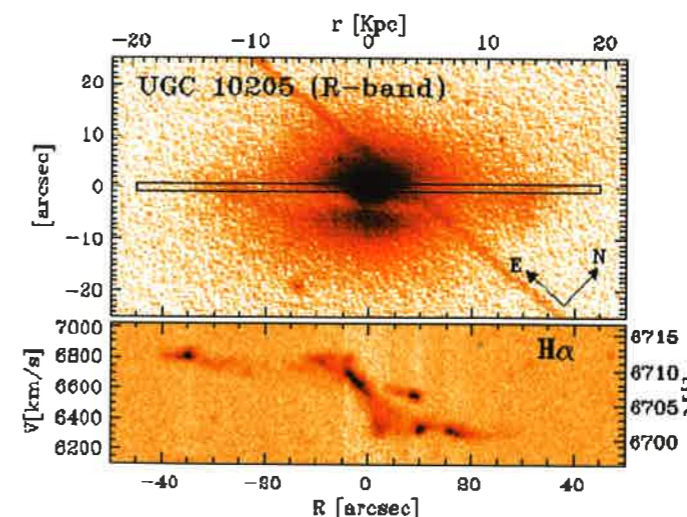


Imagen en banda R (ventana superior) y espectro en H α (ventana inferior) de la galaxia espiral UGC 10205. La ventana inferior muestra directamente la curva de rotación en km/s, donde se aprecia la forma de ocho típica de las galaxias con una estructura de barra vista de canto.

FERNANDO DE PABLOS CAÑO presentó su tesis doctoral titulada "Razones de formación estelar y funciones de masas en los brazos y discos de galaxias espirales", el pasado 11 de junio, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la calificación de Sobresaliente "cum laude". Esta tesis ha sido dirigida por el Dr. Jordi Cepa Nogué, de la Universidad de La Laguna e investigador del IAC.

"Razones de formación estelar y funciones de masas en los brazos y discos de galaxias espirales"

La parte principal de este trabajo pretende llevar a cabo un estudio en una muestra de galaxias espirales de las tasas y eficiencias relativas (brazo/interbrazo) de formación estelar (para todo el espectro de masas estelares), así como de las tasas y eficiencias relativas de formación estelar de estrellas masivas con el fin de establecer en qué medida las ondas de densidad provocan un disparo de la formación estelar. La dependencia radial de estas magnitudes nos va a permitir determinar además la posición del radio de corrotación y de otras resonancias. Íntimamente relacionado con lo anteriormente citado, a partir de una comparación de esas magnitudes hemos realizado un estudio cualitativo que nos permite establecer si existen diferencias entre la función inicial de masas del brazo y la del interbrazo (bimodalidad de la formación estelar). Para ello se han

tomado imágenes en H α y H β y en sus correspondientes continuos, así como imágenes en las bandas B e I de Johnson para las galaxias de la muestra. A partir de este estudio encontramos que las ondas de densidad afectan a la formación estelar, en lo que se refiere al disparo de la formación estelar y/o en lo que se refiere a cambios en la función inicial de masas. En lo que atañe a la dependencia de ese disparo de la formación estelar con la amplitud de la onda no encontramos una relación clara, observando que el disparo de la formación estelar medido puede ser importante incluso cuando la amplitud de la onda es pequeña. Finalmente, en el último capítulo de la memoria previo a las conclusiones pretendemos dar una estimación cuantitativa de esa bimodalidad brazo/interbrazo de la formación estelar para las galaxias de la muestra.



Galaxia espiral NGC 5194, también denominada M 51. La imagen es una composición de otras tres de distintos colores para dar una impresión cromática más verosímil. Las imágenes se han obtenido con el telescopio de 2,2 m del MPIA, en el Centro Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto (Almería).

TRIBUNAL

Francisco Sánchez (IAC)
Evencio Mediavilla (Univ. La Laguna/IAC)
José Ignacio González (Univ. de Cantabria)
José Acosta (IAC)
José M. Vilchez (IAA)

FERNANDO DE PABLOS CAÑO
Nació en Madrid, el 4 de diciembre de 1971. Se licenció en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid en junio de 1994. Fue Astrofísico Residente del IAC entre 1994 y 1998. Actualmente tiene una beca del Banco Bilbao Vizcaya para formarse como Analista Financiero.

CARLOS WESTENDORP PLAZA presentó su tesis doctoral titulada "Tomografía óptica de una mancha solar", el pasado 2 de julio, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la calificación de Sobresaliente "cum laude". Esta tesis ha sido dirigida por los doctores José Carlos del Toro Iñiesta, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, y Basilio Ruiz Cobo, de la Universidad de La Laguna e investigador del IAC.

"Tomografía óptica de una mancha solar"

En esta tesis se analiza la estructura de una mancha solar típica, redonda, aislada y situada cerca del centro del disco solar, para 25 capas (de ahí el nombre de "tomografía") en profundidad óptica. Los datos fueron obtenidos con el *Advanced Stokes Polarimeter*, uno de los mejores instrumentos espectropolarimétricos disponibles, y la estratificación de los diferentes parámetros a lo largo de la atmósfera solar se ha recuperado usando el método de Inversión de Stokes basado en las Funciones Respuesta (SIR) desarrollado en el IAC. De esta manera hemos obtenido la estratificación de la temperatura, intensidad del campo magnético, inclinación del campo magnético, acimut del campo magnético, velocidad en línea de visión, velocidades de micro y macro turbulencia, y un parámetro que comprende los efectos de luz difusa y/o el factor de llenado.

El código de inversión nos permite inferir cómo los diferentes parámetros varían con la profundidad óptica. Siendo ésta la primera vez que este código ha sido usado sobre un mapa 2D de una región magnética, hemos comenzado probándolo con perfiles obtenidos con atmósferas conocidas. Estos mismos perfiles también han sido invertidos con la técnica denominada *Milne-Eddington fitting* (ME). Este último método, que recupera un único valor para cada uno de los parámetros tratados, ha sido empleado en varias ocasiones; en concreto con los mismos datos analizados en esta tesis. Comparando ambas técnicas, se ha modificado la solidez de las mismas y se ha desarrollado un esquema para invertir los datos reales de la mancha. En este sentido, la técnica SIR ha demostrado ser capaz de recuperar información sobre variaciones con la profundidad óptica que resultan ser significativamente de mayor orden que lineal, con datos con una señal a ruido típica del ASP. Incluso hemos llegado a medir discontinuidades abruptas, como hemos comprobado que pasa en toda la mancha o "canopy" magnética de la mancha.

Ajustando los perfiles de Stokes completos con una calidad sin precedentes y tras un análisis en profundidad de los errores, se han obtenido muchos aspectos de la estratificación de los diferentes parámetros con la profundidad. También se ha demostrado que con líneas en el visible se pueden medir variaciones en capas tan bajas como las de profundidad óptica unidad. Hemos encontrado que esto es posible gracias a los gradientes tanto de campo magnético como de la velocidad, la existencia de los cuales

es evidenciada por las grandes asimetrías que presentan las líneas.

Se ha obtenido una imagen excepcionalmente coherente del vector campo magnético teniendo en cuenta que ha sido construida con más de 4.000 inversiones independientes. La variación con la profundidad del campo magnético sigue el comportamiento esperado, desvelando la existencia de la "canopy" superpenumbral dentro de la cual se muestran muchos casos en los cuales hay grandes saltos a lo largo de la línea de visión. Ha sido confirmado el alabeo del campo ya detectado por otros autores (y denominado "espinas"), sugiriendo una clara separación entre la penumbra interior y la exterior. Esta separación, junto con la detección generalizada de transiciones bruscas a lo largo de la línea de visión y la gran dispersión encontrada en las temperaturas, sugieren la existencia de estructura no resuelta. Opinamos que es en esta zona intermedia de la penumbra donde emerge una nueva familia de tubos de campo magnético de fondo.

En las capas más profundas y en el límite penumbral externo se encuentran zonas con un capo muy horizontal que incluso invierte su polaridad. Como en estas zonas se encuentran localizadas justo donde hallamos los flujos descendientes mayores, se propone una nueva explicación para el efecto Evershed. Estos resultados vienen confirmados por la inversión de otra mancha diferente, más alejada del centro del disco. La información sobre el campo magnético, la velocidad en línea de visión y la temperatura favorecen la teoría del flujo sífonico como el mecanismo responsable del efecto Evershed. Este flujo parece estar concentrado en canales elevados no más anchos que una escala de alturas y localizados mayoritariamente en el espacio entre las espinas magnéticas, es decir, sitios donde el campo magnético está más inclinado, es más débil en la penumbra interna pero más intenso en la externa y más allá del límite visible de la mancha. La distinta situación observada en el lado más cercano al centro del disco, junto con la variación con profundidad de este efecto nos lleva a la conclusión de que estamos viendo capas geoméricamente más profundas en el lado cercano al borde solar. Después de una estimación cualitativa del balance de flujo de masa encontramos que el problema del déficit de masa ya no existe desde un punto de vista observacional para el efecto Evershed.

CARLOS WESTENDORP PLAZA

Nació en Sao Paulo (Brasil), el 2 de marzo de 1967. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid en 1992, en el verano de 1990 disfrutó de una beca de verano del IAC. En 1993 trabajó, con una beca externa del IAC, en el Instituto Kiepenheuer de Física Solar (KIS), en Friburgo, Alemania, en temas de Física Solar. Entre 1994 y 1998 obtuvo una beca FPI para trabajar en el IAC. Actualmente trabaja para la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) del IAC.

TRIBUNAL

Francisco Sánchez (IAC)
Benjamín Montesinos (LAEFF, Madrid)
Jose Luis Ballester (Univ. de Baleares)
Manuel Collados (Univ. La Laguna/IAC)
Valentín Martínez (IAC)

DAVID ISRAEL
MÉNDEZ ALCARAZ

Nació en Sevilla,
el 2 de agosto de 1972.
Estudió el primer ciclo de
Ciencias Físicas en la
Universidad de Valencia y el
segundo en la Universidad
de La Laguna, por la que se
licenció en 1995 después de
permanecer un año (1994-
95) en el *Imperial College* de
Londres (Reino Unido) con
una beca de intercambio
ERASMUS.
Entre 1995 y 1999 fue
Astrofísico Residente
en el IAC.

TRIBUNAL

Ángeles Díaz
(Univ. Autónoma de Madrid)
Antonio Aparicio
(Univ. La Laguna/IAC)
Jordi Cepa
(Univ. La Laguna/IAC)
José M. Vilchez
(IAA)
Jaime Zamorano
(Univ. Complutense)

DAVID ISRAEL MÉNDEZ ALCARAZ presentó su tesis doctoral titulada «Gas ionizado y formación estelar en galaxias Wolf-Rayet», el pasado 21 de septiembre, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la calificación de Sobresaliente «cum laude». Esta tesis ha sido dirigida por el doctor César Esteban López, de la Universidad de La Laguna e investigador del IAC.

“Gas ionizado y formación estelar en galaxias Wolf-Rayet”

En esta tesis se lleva a cabo la exposición de los resultados más interesantes obtenidos durante cuatro años de investigación sobre los procesos de formación estelar y la cinemática del gas ionizado en un grupo de galaxias Wolf-Rayet. El estudio se ha basado en la obtención de imágenes en la línea de emisión de H α y en el continuo adyacente, así como en los filtros de banda ancha U, B y V de 14 galaxias Wolf-Rayet. También se ha obtenido espectroscopía de resolución intermedia y alta en el rango óptico para zonas particulares de las galaxias que representan una morfología más interesante en las imágenes ópticas. Asimismo, se han obtenido imágenes en el continuo de radio (a 4,8 y a 8,64 GHz) de la galaxia He 2-10. Por otra parte, se ha llevado a cabo también un análisis de los datos en rayos X de He 2-10 presentes en el archivo de ROSAT.

La formación estelar reciente en las galaxias de la muestra se distribuye en forma de diferentes brotes separados espacialmente y, en algunos casos, no estrictamente coetáneos. En este sentido, el caso más claro e interesante es el de la galaxia Mrk 1094 y su gradiente de edad radial en la barra central de brotes de formación estelar.

Por otra parte, muchas de las galaxias que en un principio habían sido catalogadas

como objetos aislados presentan compañeros de bajo brillo superficial. Uno de nuestros resultados más interesantes es el hecho de que los procesos de formación estelar en galaxias Wolf-Rayet de relativamente baja luminosidad pueden tener su origen en la interacción con compañeros de muy baja masa y con brillos superficiales muy bajos, o con nubes compañeras de HI.

La morfología en H α de la mayoría de los objetos de la muestra indica la presencia en los mismos de estructuras en forma de burbuja y de filamentos de bajo brillo superficial. Este tipo de estructuras se pueden asociar a la acción conjunta de vientos estelares de estrellas masivas y explosiones de supernova, como por ejemplo en el caso del flujo bipolar complejo en la dirección noreste-suroeste de la galaxia He 2-10. Un estudio detallado de los perfiles de emisión de las líneas ópticas de algunos objetos de la muestra indica la presencia de claras asimetrías en dichos perfiles. Estos rasgos están relacionados probablemente con procesos de “expansión explosiva” de superburbujas en un medio grueso. Por otra parte, estimaciones de la velocidad de escape de estos objetos indican que parte del material involucrado en estos procesos de “expansión explosiva” de superburbujas podría tener suficiente energía como para escapar de las galaxias.



Representación logarítmica en escala de grises de la imagen V profunda (no calibrada) del campo de Zw 0855+06. El norte se corresponde con la parte izquierda y el este con la parte inferior.

HÉCTOR SOCAS NAVARRO

Nació en Icod (Tenerife),
el 8 de octubre de 1972.
Estudió Astrofísica en la
Universidad de La Laguna
entre 1990 y 1995.
Fue Astrofísico Residente
en el IAC desde 1995 y
actualmente ocupa una
plaza de “científico asociado”
en el *High Altitude
Observatory*, del *National
Center for Atmospheric
Research*, en Boulder,
Colorado (EEUU).

TRIBUNAL

Fernando Moreno Inertis
(Univ. de La Laguna/IAC)
Jorge Sánchez Almeida
(IAC)
Rob Rutten
(Univ. de Utrecht,
Países Bajos)
Frederic Paletou
(Obs. de la Côte d'Azur,
Francia)
José Breton
(Univ. de La Laguna)

HÉCTOR SOCAS NAVARRO presentó su tesis doctoral titulada «Inversión NLTE de líneas espectrales y perfiles de Stokes», el pasado 30 de septiembre, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la calificación de Sobresaliente «cum laude». Esta tesis ha sido dirigida por los investigadores del IAC Javier Trujillo Bueno, Colaborador del CSIC y Basilio Ruiz Cobo, de la Universidad de La Laguna.

“Inversión NLTE de líneas espectrales y perfiles de Stokes”

En esta tesis presentamos un método para la inversión de los perfiles de Stokes de líneas espectrales para las que la aproximación de Equilibrio Termodinámico Local (ETL) no es adecuada. Este método es aplicado a observaciones espectropolarimétricas que realizamos con vistas al estudio de la dinámica y el magnetismo de la cromosfera sobre la umbra de las manchas solares. Bajo las suposiciones de atmósfera unidimensional (1D) plano-paralela, redistribución completa y poblaciones calculadas despreciando efectos de polarización atómica, el código de inversión obtiene la estratificación de la temperatura, densidad, velocidad, microturbulencia y vector campo magnético que dé un mejor ajuste a los perfiles observados.

La parte de síntesis del código hace uso de la técnica del “preconditioning” combinada con un operador Lambda local aproximado para calcular las poblaciones atómicas en la atmósfera. La razón de elegir este método es que, como demostramos en este trabajo por medio de derivaciones analíticas y cálculos numéricos, ésta es la estrategia más adecuada en términos de estabilidad, robustez y requerimientos computacionales.

El algoritmo de inversión está basado en el método de Levenberg-Marquardt y la técnica de “descomposición en valores singulares”, y es similar al introducido por Ruiz Cobo y del Toro Iñiesta (1992) para tratar el problema de la inversión suponiendo ETL. Este algoritmo requiere el cálculo de las funciones respuesta (FRs), que miden la reacción a primer orden de los perfiles emergentes a pequeñas perturbaciones en las condiciones atmosféricas. El cálculo de FRs sin suponer ETL (NETL) es, sin embargo, un problema mucho más complejo y requiere gran cantidad de tiempo de CPU. Para superar esta dificultad introducimos la aproximación de “coeficientes de alejamiento fijos” en las FRs. Esta aproximación reduce enormemente el coste computacional del procedimiento de inversión.

El código ha sido probado extensivamente con observaciones simuladas donde perfiles sintéticos, emergentes de modelos de atmósfera bien conocidos, son presentados al código para su inversión. De esta forma estudiamos la fiabilidad de las inversiones y las posibles limitaciones del código.

Esta nueva herramienta de diagnóstico es aplicada a observaciones reales. Para tal fin, observamos series temporales de perfiles de Stokes I y V emergentes de la umbra de una mancha solar. Las líneas espectrales observadas son las líneas cromosféricas del CaII en 8498 y 8542 Å, y la línea fotosférica del FeI en 8497 Å. El análisis de estos datos revela

un comportamiento fascinante, hasta ahora desconocido, de los perfiles de Stokes V en las líneas cromosféricas. Estos adoptan periódicamente una forma “anómala”, fuertemente asimétrica, volviendo más tarde a su estado “normal” antisimétrico. Tras explorar varios posibles escenarios, concluimos que los perfiles anómalos están causados por la aparición de una componente atmosférica no resuelta que denotamos por “activa”, frente a la componente “tranquila” que produce los perfiles normales. Nuestro estudio también revela que los destellos umbrales (a los que nos referiremos como UFs por su designación en inglés, “umbral flashes”) que se ven en algunas manchas podría estar, en realidad, funcionando en todas ellas. Sólo serían detectables en Stokes I (como emisiones en el centro de las líneas) cuando el factor de llenado fuese lo suficientemente grande. En otro caso sólo serían detectables como perfiles de Stokes V anómalos, como los observados e interpretados en el marco de esta tesis.

La aplicación del código de inversión a la serie temporal descrita en el párrafo anterior nos permite inferir un modelo de atmósfera dependiente del tiempo tanto para la componente tranquila como para la activa. Basándonos en este modelo, que ajusta nuestras observaciones a lo largo de todo un ciclo de oscilación, proponemos una nueva visión del origen de la oscilación umbral cromosférica (que está siendo debatido desde los años setenta). En este marco, eyecciones periódicas de masa provenientes de la fotosfera aumentarían la opacidad cromosférica. Con este escenario tan simple se explican todas las propiedades observacionales de la oscilación umbral cromosférica (desplazamientos en los mínimos de las líneas, cambios en la intensidad del centro de las líneas, aparición de perfiles de V anómalos, UFs, etc). El modelo que proponemos no necesita cambios dramáticos en la termodinámica cromosférica, contrariamente a lo que se había venido suponiendo hasta ahora.

El análisis del balance de masa en nuestro modelo revela que, aunque existen flujos netos de masa, que están dirigidos hacia abajo durante la fase tranquila de la oscilación y hacia arriba en la fase activa, al integrar sobre todo el ciclo de oscilación se obtiene que la masa total se conserva con muy buena aproximación. Dado que esta condición no fue impuesta en ningún momento durante su derivación, este argumento respalda considerablemente nuestro modelo.

ALFRED ROSENBERG GONZÁLEZ

Nació en La Orotava (Tenerife), el 25 de febrero de 1970. Se licenció en Ciencias Físicas por la Universidad de La Laguna en 1994. Poco después consiguió una beca Erasmus para trabajar en el Instituto Max-Planck de Bonn (Alemania) durante tres meses. En octubre de 1994 obtuvo la beca internacional del IAC en Italia, y en abril de 1995 se trasladó a Padua, donde estuvo hasta marzo de 1999 trabajando bajo la supervisión de Giampaolo Piotto. Actualmente es Astrónomo de Soporte del Observatorio del Teide.

TRIBUNAL

- Carlos Martínez (IAC)
- Santiago Arribas (CSIC-IAC)
- Peter B. Stetson (CNR, Canadá)
- Eduard Salvador (Univ. de Barcelona)
- Antonio Delgado (CSIC-IAA)

ALFRED ROSENBERG GONZÁLEZ presentó su tesis doctoral titulada «Edades relativas de los cúmulos globulares galácticos: claves sobre la formación y evolución de la Vía Láctea», el 13 de octubre de 1999, en la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la calificación de Sobresaliente «cum laude». Esta tesis fue dirigida por los doctores Giampaolo Piotto, de la Universidad de Padua (Italia), y Antonio Aparicio, investigador del IAC.

“Edades relativas de los cúmulos globulares galácticos: claves sobre la formación y evolución de la Vía Láctea”

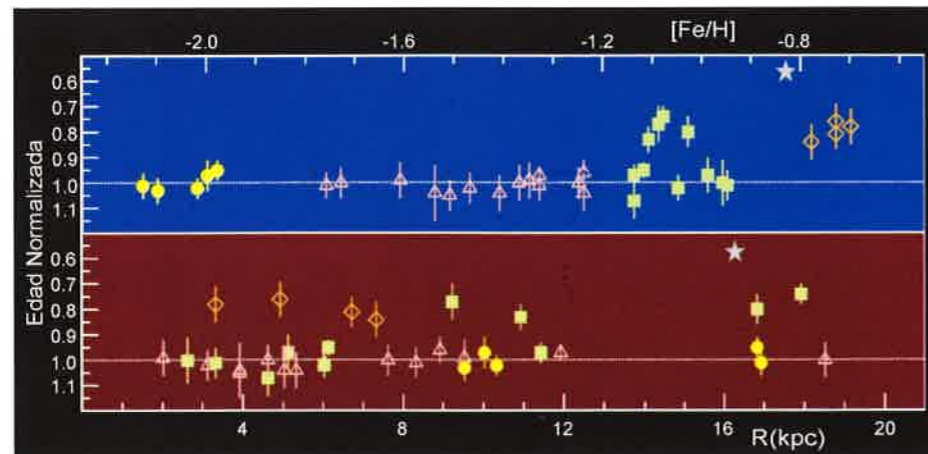
El objetivo de la tesis es el estudio de la historia de formación de nuestra galaxia. Para ello, hemos analizado los sistemas estelares más viejos, los cúmulos globulares, obteniendo como resultado principal el que esa formación se produjo mediante un colapso rápido del halo.

La tesis se presenta en tres bloques principales. En el primero se presenta el catálogo de diagramas color magnitud que constituye la base observacional de la tesis. El catálogo está compuesto por cincuenta y dos cúmulos globulares que hemos observado en ambos hemisferios, y representa la base de datos más amplia y homogénea existente en la actualidad. Los cúmulos estudiados fueron seleccionados bajo un criterio de proximidad, ya que se pretendía muestrear los diagramas desde las estrellas más brillantes de la rama de gigantes, hasta algunas magnitudes bajo el *turn-off*.

En el segundo bloque se presenta el principal resultado de esta tesis: un estudio de las edades relativas de treinta y cinco cúmulos de nuestra muestra, mediante el cual hemos estudiado el proceso de formación de la Vía Láctea. De los resultados obtenidos llegamos a la conclusión de que el halo galáctico (hasta aproximadamente 20 kpc)

se formó en un proceso rápido, del orden de 10⁹ años o menos. Además existen algunos (pocos) cúmulos globulares que resultan ser más jóvenes que la media. Se apunta la posibilidad de que estos cúmulos puedan proceder de galaxias enanas destruidas por el pozo de potencial de la Vía Láctea e incorporadas a la misma.

En el tercer bloque se analizan dos importantes excepciones a los resultados obtenidos en el segundo bloque. En particular, se presenta un estudio muy detallado de dos cúmulos: Palomar 1 y Palomar 12. Para el primero se ha realizado tanto fotometría como espectroscopia, habiéndose hecho así un estudio total del mismo, y siendo el resultado más relevante el hecho de que es el cúmulo globular más joven descubierto hasta el momento (¡aproximadamente un 40% de la edad de los cúmulos más viejos!). El segundo cúmulo, Palomar 12, ha sido observado fotométricamente por tratarse de un cúmulo joven ya conocido, y además, porque nos sirve para comprobar los métodos utilizados y calibrar cuantitativamente los resultados obtenidos en el segundo bloque. Determinamos en nuestro estudio, para este cúmulo, una edad de un 68±10% de la de los cúmulos 47 Tucanae y M 5.



Distribución en metalicidad (panel superior) y distancia al centro de la Vía Láctea (panel inferior) de las edades normalizadas (a la edad media) de los cúmulos globulares galácticos analizados en la tesis. (Rosenberg et al., AJ 118, 2306).

DAVID MARTÍNEZ DELGADO presentó su tesis doctoral titulada «Poblaciones estelares en las galaxias enanas del Grupo Local NGC 185 y Phoenix», el 4 de noviembre de 1999, en el Aula Magna de la Universidad de La Laguna, obteniendo la calificación de Sobresaliente «cum laude». Esta tesis ha sido dirigida por el Dr. Antonio Aparicio, investigador del IAC.

“Poblaciones estelares en las galaxias enanas del Grupo Local NGC 185 y Phoenix”

La población estelar de las galaxias enanas del Grupo Local NGC 185 y Phoenix es investigada a partir de fotometría en las bandas B,V,I y el uso de diagramas color-magnitud sintéticos. El principal resultado de esta tesis es que ambas galaxias presentan periodos largos de actividad de formación estelar y gradientes en sus poblaciones estelares, que proporcionan nuevos indicios acerca de la formación y evolución de las galaxias enanas en general.

La primera parte de la tesis está dedicada al estudio de la población estelar de NGC 185, una galaxia elíptica enana satélite de Andrómeda. Nuestro análisis indica que la mayoría de las estrellas de NGC 185 se formaron en la etapa más temprana de su evolución. La formación estelar continuó posteriormente a más bajo nivel hasta el pasado reciente, siendo la edad de las trazas más jóvenes de formación estelar de unos 100 millones de años. Las estrellas azules descubiertas por Baade (1951) son cuidadosamente investigadas, llegando a la conclusión de que la mayoría son cúmulos de estrellas jóvenes similares a los de nuestra Galaxia. Por lo tanto, NGC 185 está formada por una mezcla de estrellas viejas, de edad intermedia y jóvenes y no ajusta el concepto clásico de sistema de población II pura atribuido a estas galaxias.

En la segunda parte de la tesis estudiamos la población estelar de Phoenix, una galaxia de tipo intermedio entre irregular enana y elíptica enana en el Grupo Local. Nuestro análisis de su estructura basado en una placa fotográfica digitalizada sugiere la existencia de dos componentes: una interna, que contiene la mayoría de las estrellas jóvenes de la galaxia; y una externa, que está predominantemente poblada por estrellas viejas. La distribución espa-

cial de la población joven localizada en la componente central de Phoenix es claramente asimétrica, sugiriendo la existencia de una propagación de la formación estelar a través de la región central de Phoenix. La nube de HI descubierta a 6 minutos de arco al Suroeste de la imagen óptica de la galaxia podría estar involucrada en este proceso y podría representar la evidencia de que Phoenix expulsó todo el gas en su último episodio de formación estelar hace 100 millones de años.

Por otra parte, encontramos la presencia de una significativa población estelar de edad intermedia en la región central de Phoenix, que podría ser menos abundante o incluso estar ausente en las regiones más externas. Esta variación es consistente con el incremento observado en el número de estrellas de la rama horizontal hacia las regiones más externas de la galaxia. Este resultado, junto con el de nuestro estudio morfológico, sugiere la existencia de una población vieja y pobre en metales con una distribución esferoidal rodeando a la componente central más joven de Phoenix.



Imagen de la galaxia Phoenix obtenida con el telescopio de 2.5 m de Las Campanas (Chile).

DAVID MARTÍNEZ DELGADO

Nació en Córdoba, el 21 de enero de 1970. Se licenció en Ciencias Físicas (especialidad de Astrofísica) en la Universidad Complutense de Madrid, en 1993. Fue Astrofísico Residente del IAC entre 1995 y 1999. Desde octubre de 1999 es Astrónomo de Soporte del Observatorio del Teide.

TRIBUNAL

- Francisco Sánchez (IAC)
- Eduardo Battaner (Univ. de Granada)
- Emilio J. Alfaro (IAA, CSIC)
- Javier Gorgas (Univ. Complutense)
- Marc Balcels (IAC)

EVRY SCHATZMAN y la historia de la evolución estelar

BEGOÑA LÓPEZ BETANCOR (IAC)

La obra de H.G. Wells (*Men like Gods*) impresionó al joven Evry Schatzman, quien a los 19 años quedó seducido por aquellas ideas sobre una sociedad libre que colocaba el objetivo fundamental de las cosas en alcanzar un conocimiento cada vez más profundo del mundo. Era septiembre de 1939 y su brillante trayectoria académica estaba a punto de verse truncada por el estallido de la II Guerra Mundial. Cumplió no sin dificultades con la formación académica que exigía el sistema educativo francés de la época, pero el contacto con la investigación científica experimental ya había hecho de él un científico práctico para quien la teoría debía encajar los resultados observados. Su fuerte fue siempre la Física y podemos decir que llegó a la Astrofísica por 'evolución'. Sus primeros trabajos en este campo se centraron en la estructura interna de las enanas blancas; más tarde, pasaría a estudiar sus atmósferas, la física del plasma y muchos otros aspectos de la Astrofísica moderna. Schatzman, del Observatorio de París-Meudon (Francia), es uno de los mayores especialistas en evolución estelar que ha dado el siglo. Desde su perspectiva como veterano conocedor de la Astrofísica, una ciencia del siglo XX, respondió a nuestras preguntas en mayo, durante su estancia en el IAC.



Evry Schatzman

¿Cómo ve los avances en los estudios de la evolución estelar a lo largo de los últimos años?

"El fundamento de la evolución estelar está en los procesos físicos o de transporte, con los que debemos contar a la hora de describir el interior de una estrella. El transporte de elementos químicos, la pérdida de momento angular, la pérdida de masa, etc, tienen una gran importancia en la evolución estelar.

Es cierto que el conocimiento físico de los interiores estelares era hace unas décadas mucho más limitado de lo que es ahora; en los últimos cincuenta años se ha avanzado básicamente en dos direcciones que han impulsado considerablemente su conocimiento. Una es el avance en la computación numérica, en la que no se empezó a trabajar hasta principios de los años 50; lo único que había antes eran enormes computadoras terriblemente lentas. Lo que se puede hacer hoy en este campo no tiene nada que ver con lo que se podía hacer a principios de la década de los 50. La otra dirección en la que se

ha avanzado es consecuencia de la anterior: los avances en computación permitieron comparar los datos de las observaciones con los postulados teóricos apoyados por las simulaciones. Surgieron entonces muchas cosas que la teoría no podía explicar o describir, con lo que fue también necesario mejorar la descripción teórica de lo observado, adaptar la teoría a las observaciones, algo que aún está por concluir.

Tenemos en nuestro entorno galáctico estrellas de todas las edades posibles, de modo que si formulamos una teoría sobre la evolución estelar siempre podemos comprobarla. Desde hace unos cuarenta años tenemos un sistema muy simple para calcular la edad de las estrellas; en los cúmulos estelares se pueden clasificar las estrellas según su tipo espectral, lo que nos ayuda a determinar la edad del cúmulo partiendo del estudio de sus estrellas: las estrellas más brillantes evolucionan más rápido que las estrellas débiles, las estrellas más brillantes de la Secuencia Principal han desaparecido en los cúmulos viejos, así que cuando determinamos

"TENEMOS EN NUESTRO ENTORNO GALÁCTICO ESTRELLAS DE TODAS LAS EDADES POSIBLES, DE MODO QUE SI FORMULAMOS UNA TEORÍA SOBRE LA EVOLUCIÓN ESTELAR SIEMPRE PODEMOS COMPROBARLA."

su magnitud (es decir, la distribución de las estrellas en función de su tipo espectral, una especie de línea que representa la evolución de las estrellas), se puede obtener un valor para la edad con cierta incertidumbre, que ha ido desapareciendo a medida que los métodos han ido perfeccionándose. El resultado es que tenemos cúmulos con edades desde 10⁹ años hasta los más jóvenes, de 15 millones de años, que son aún poco conocidos.

La duración de la primera etapa en la vida de una estrella varía dependiendo de su masa. Si tenemos, por ejemplo, un cúmulo de estrellas con una edad de 100 millones de años, las estrellas más jóvenes del cúmulo estarán aún condensándose a partir de la nube de gas; disponemos así de datos observacionales de cómo la materia se condensa para dar lugar a una estrella. En los diez o veinte últimos años ha habido grandes avances en estos estudios. Para una estrella de masa igual o menor a la del Sol, en sus primeras fases la energía que se produce en la contracción del material va en aumento hasta que las reacciones termonucleares son lo suficientemente importantes

como para producir la energía de la estrella. Los astrónomos tratan de conocer con precisión lo que se produce durante esta fase de contracción del gas: cómo se transmite la radiación, una descripción hidrodinámica de cómo la luz atraviesa la materia, etc."

En 1989 estuvo usted en el IAC en una reunión de la IAU. Diez años después, ¿cómo ve usted la evolución del IAC y de la Astrofísica en España desde entonces?

"Pues lo puedo contar por mi propia experiencia. He tenido estudiantes españoles, de Barcelona, que vinieron a trabajar conmigo a principios de los 60, a hacer el doctorado, y han seguido en contacto conmigo y tienen hoy en día puestos de responsabilidad en España, Ramón Canal es uno de ellos. He mantenido contacto con la Universidad de Barcelona, con estudiantes de doctorado que luego han seguido trabajando allí. He organizado una serie de escuelas de verano de Astrofísica y colaboro con astrónomos de Barcelona. Cuando estuve aquí en el 89 recuerdo que el Instituto era más pequeño. Por lo que se refiere al trabajo que se hace en el

"ME PARECE ENORMEMENTE INTERESANTE TRABAJO QUE SE HACE EN EL IAC; HAY POCOS SITIOS DONDE LOS DATOS LLEGUEN DIRECTAMENTE DE LA MONTAÑA PARA SER ANALIZADOS ACTO SEGUIDO. LA ASTROFÍSICA EN ESPAÑA SE HA DESARROLLADO MUY RÁPIDAMENTE Y PARECE QUE EL MOTOR IMPULSOR SON USTEDES, EN EL IAC."

PERFIL

Uno de los astrónomos europeos más veteranos (Neuilly-sur-Seine 1920), EVRY SCHATZMAN puede considerarse como el padre de la Astrofísica en Francia.

Sus primeros años los pasó en el Observatorio de Haute Provence, pero sus trabajos pronto se conocieron en el exterior: en 1947 trabajó con B. Strömberg, en el Observatorio de Copenhague (Dinamarca), sobre magnetohidrodinámica. Al año siguiente fue invitado a Princeton, (1948-49), estancia que le sirvió de impulso para el desarrollo de su carrera en Europa.

Fue el primer profesor de Astrofísica de Francia (1954), pues la especialidad estaba aún en sus inicios, y, por aquella época (1957), escribió el primer manual de Astrofísica que se publicaba en Francia (Astrophysique Générale, 1957). Durante 27 años fue profesor de Astrofísica en la Universidad de Bruselas.

Especialista en Física del plasma, organizó los primeros cursos sobre el tema que se celebraban en su país y se relacionó con los pioneros en la materia a nivel mundial (R. Lüst, A. Schüssler, E. Parker).

En 1957 consiguió que la Astrofísica fuese una asignatura optativa para la licenciatura en Físicas y en 1961 creó un DEA (curso de especialización y de doctorado) en Astrofísica teórica. Entre sus contribuciones a la Astrofísica actual se cuenta la creación del Laboratorio de Astrofísica de Meudon (LAM), fundado en 1972.

Astrofísico teórico, ha estudiado desde el interior de las estrellas, sus atmósferas y los procesos físicos que explican su funcionamiento hasta la física del plasma, magnetohidrodinámica o el problema de los neutrinos solares.

Ha colaborado con muchas universidades como profesor visitante o en escuelas de verano o de invierno y su trayectoria docente en su país es muy dilatada. Más de 250 alumnos han seguido sus cursos y ha dirigido las tesis de muchos de los astrónomos que hoy ocupan puestos de responsabilidad en Astrofísica en Francia (M. Henon, J.P. Zahn, A. Baglin, U. Frisch, y muchos más).

Schatzman ha ocupado los más altos puestos de la investigación en Astrofísica en su país y cuenta con numerosos reconocimientos a su labor también a nivel internacional. En 1966, la Académie des Sciences le entregó un premio en memoria de los científicos franceses víctimas del nazismo durante la II Guerra Mundial; en 1975, el Instituto de Física británico y la Sociedad Francesa de Físicas le otorgaron el premio Holweck.

Aunque jubilado en 1989, continúa en activo como Director Emérito de Investigación (Directeur Emerite de Recherche) del CNRS y como miembro de la Académie des Sciences francesa.

IAC, me parece enormemente interesante, hay pocos sitios donde los datos lleguen directamente de la montaña para ser analizados acto seguido. La Astrofísica en España se ha desarrollado muy rápidamente y parece que el motor impulsor son ustedes, en el IAC."

John Maddox, el físico y director durante 21 años de la revista Nature, aborda en su libro «Lo que queda por descubrir» los problemas aún no resueltos por la ciencia y sostiene que lo que ahora sabemos es sólo una pequeña fracción del conocimiento que podemos alcanzar. En cambio, otros autores han planteado todo lo contrario. ¿Cuál es su opinión al respecto? ¿Cree que podríamos asistir al fin de la ciencia?

"Se lo diré con otras palabras. En el libro de E.G. Wells *Men like Gods*, publicado en torno a 1929, el protagonista es accidentalmente transportado hacia el futuro por una máquina del tiempo. Se encuentra con una generación completamente nueva, con una civilización nueva, y se da cuenta de que no es el único que fue transportado, sino que con él están unas cuantas personas más de su misma procedencia, Inglaterra. Lo que supe después de leer el libro fue que Wells aprovecha la historia para criticar los esquemas sociales y políticos de la Inglaterra de su tiempo, en los años 20. En la conclusión del libro, el joven, que finalmente vuelve con su familia, está de pie frente al mar con uno de los científicos que habían tenido la misma experiencia y éste le dice: 'lo que conocemos del mundo es como un grano de arena en la tierra; pero lo que no conocemos es tan grande como el mar que tenemos delante'. Para mí es fascinante la idea de que lo que queda por conocer es infinito, ilimitado. Tras unos 50 años de experiencia puedo decir que lo que hemos llegado a conocer es enormemente pequeño comparado con lo que aún nos queda por conocer. Y hay una cantidad tan grande de cosas nuevas que surgen, que la ciencia hoy en día es completamente distinta de como era hace varias décadas. Cuando yo comencé con la Astronomía fue en el Observatorio de Haute Provence, en el sur de Francia. En aquella época no había más que un telescopio y todo era muy sencillo: lo único que podíamos hacer era obtener imágenes o espectros pequeñísimos que podíamos sacar con un espectrógrafo pequeño. Si comparamos aquello con los ins-

trumentos que tenemos hoy en día no podemos figurarnos cómo podíamos hacer ciencia hace cincuenta años. Con los instrumentos actuales se obtienen datos que entonces no podíamos ni imaginar. Lo mismo sucede también en otras ciencias, no sólo en Astrofísica, así que a cada poco surge una ciencia nueva. Los requisitos para hacer ciencia han cambiado también: hoy veo a los jóvenes presentar tesis doctorales (independientemente de los distintos niveles de calidad que hay) que son el resultado de varios años de trabajo duro para ser aceptados, pero sus conocimientos de Astrofísica e, incluso de Física, no tienen nada que ver con los que teníamos nosotros hace cincuenta años.

No obstante, en general me preocupa el futuro de la ciencia. Los sistemas educativos no proporcionan a la mayoría de los ciudadanos la formación científica necesaria ni una perspectiva sobre la finalidad de la ciencia, es decir, el conocimiento de las leyes que gobiernan la naturaleza. La gente suele confundir ciencia con tecnología. Incluso tengo la sensación de que la sociedad en realidad no acepta la ciencia y de que la formación científica elemental no es lo bastante buena y no ha sido adaptada para servir al futuro de la humanidad."

¿En qué campos de la Astrofísica cree usted que se producirán los mayores avances en el futuro?

"Cuando observamos aplicamos las leyes conocidas de la Física para explicar lo observado. Pero, en una buena parte de los casos, las leyes físicas no explican lo que vemos. En ese momento hay que plantearse si las leyes físicas son adecuadas. Es precisamente entonces, al cuestionar la validez de las leyes que aplicamos, cuando comienza el avance en Astrofísica. Y lo mismo se aplica a otros campos de la ciencia. Un ejemplo que conozco, también muy relacionado con la Física, es la posibilidad de la hiperconductividad de los sólidos. Se han realizado experimentos de mezclas de metales que presentan una conductividad extremadamente alta a temperaturas más altas. Hay por tanto un proceso físico aún por descubrir que plantea una cuestión abierta a la ciencia. La teoría siempre va a la zaga de la experimentación, puesto que debe bajar varios procesos posibles de los cuales sólo uno explica finalmente los resultados observados."

GARIK ISRAELIAN:

"No me interesa ser el mejor experto en un tema"

BELÉN GONZÁLEZ MORALES

Nunca pensó dedicarse a la Astrofísica. Es más, cuando Garik Israelian terminó el colegio, con dieciséis años, no quería ser nada. Lo único que le atraía eran los libros y películas de ciencia ficción y aventuras. Su pasión eran las letras, sobre todo la Historia, y odiaba la Física con toda su alma. Pero las cosas cambiaron. Hoy se puede decir que ha llegado a la "meca de la ciencia", puesto que el día 9 de septiembre salió publicado uno de sus artículos en la revista *Nature* (ver en este mismo número de *IAC Noticias*). Ha participado en una gran cantidad de proyectos de instituciones extranjeras, colaborado en numerosos artículos y ha viajado por todo el globo para realizar cursos de postdoctorado. Garik Israelian (Yerevan, Armenia, 1963), investigador del IAC (actualmente profesor visitante de la Universidad de La Laguna), jamás pudo imaginarse que el destino lo acercaría a lo que en un tiempo fue la peor de sus pesadillas.

¿Cómo se produjo la metamorfosis?

"Yo era un estudiante nefasto, tan malo que con dieciséis años terminé el colegio sin opciones de estudiar una carrera, porque tenía unas calificaciones pésimas. Así que me puse a trabajar durante un año entero para una compañía de teatro. No como actor, qué va. Me encargaba de montar los escenarios, de arreglarlos, etc."

¿Y eso que tiene que ver con la Astrofísica?

"Cuando llegaba de trabajar, me sentaba en casa a leer libros de Matemáticas y Física. Estudiaba por mi cuenta. Pero pronto me animé y me presenté a las pruebas de acceso a la universidad. Saqué unas notas muy buenas."

¿Siguió por el buen camino?

"Sí. Fui a la Universidad de Armenia. Finalmente opté por la carrera de Físicas, que exige cinco años de estudios."

¿Allí se consolidó su faceta responsable o fue un estudiante que aprovechó al máximo esos años?

"Digamos que saqué tiempo para todo. Estaba metido en muchísimas actividades. Era miembro del club de montaña, siempre he sido un apasionado de la naturaleza, y hacíamos muchas excursiones por los montes de Rusia, Armenia y Georgia. También tocaba en un grupo musical de rock y jazz. Éramos muy buenos, dimos conciertos en San Petersburgo e, incluso, ganamos algún que otro premio."

¿Por qué no se dedicó a ello?

"También pesaba el aspecto académico. En la universidad obtuve muy buenas no-

tas (diploma con mención especial) y me propusieron hacer la tesis con el mejor astrónomo del país."

Desde luego que era el mejor astrónomo de Armenia. Creador del primer departamento de Astrofísica de toda la Unión Soviética, fundador y presidente de la Academia Nacional de Ciencia, reconocido científico de fama mundial (fue Presidente de la IAU y del *International Council of Scientific Unions*), director del *Byurakan Astrophysical Observatory* (BAO)... Viktor Ambartsumian (18/9/1908 - 12/8/1996) era el modelo a seguir por muchos estudiantes de Astronomía de todo el mundo. "Creo que fui un privilegiado", reconoce Garik Israelian.

¿Qué fue lo que aprendió de él?

"Quizá lo que más me impactó de él fue su método de trabajo. Antes de ponerse a trabajar, se paraba largo tiempo a estudiar el problema. No podía comenzar a hacer nada hasta que comprendía cada una de las partes del todo. Eso me ha ayudado mucho posteriormente. Algo también curioso en él era su manía de usar papeles para aclararse las ideas. Nunca usaba un ordenador, por lo que siempre tenía la mesa repleta de anotaciones."

¿Y en el terreno personal, qué le impresionó de él?

"Era una persona honorable. Honrada, respetuosa..."

¿Cómo calificaría el periodo de doctorando?

"Pues hubo de todo. En el terreno positivo, tuve mucha suerte de trabajar en un

* Las entrevistas con personal del IAC recogidas en este número fueron realizadas por las estudiantes de la Facultad de Comunicación de la Universidad de Navarra Belén González Morales y Nohelia Udías Fernández, durante su estancia en el IAC como becarias de verano en 1999.



Garik Israelian

"EN GENERAL ME PREOCUPA EL FUTURO DE LA CIENCIA. LOS SISTEMAS EDUCATIVOS NO PROPORCIONAN A LA MAYORÍA DE LOS CIUDADANOS LA FORMACIÓN CIENTÍFICA NECESARIA NI UNA PERSPECTIVA SOBRE LA FINALIDAD DE LA CIENCIA, ES DECIR, EL CONOCIMIENTO DE LAS LEYES QUE GOBIERNAN LA NATURALEZA. LA GENTE SUELE CONFUNDIR CIENCIA CON TECNOLOGÍA. INCLUSO TENGO LA SENSACIÓN DE QUE LA SOCIEDAD EN REALIDAD NO ACEPTA LA CIENCIA Y DE QUE LA FORMACIÓN CIENTÍFICA ELEMENTAL NO ES LO BASTANTE BUENA Y NO HA SIDO ADAPTADA PARA SERVIR AL FUTURO DE LA HUMANIDAD.

observatorio como el BAO y hacer un trabajo tan atractivo como "Estudio de estrellas brillantes y procesos radiativos". Todo fue muy bien durante los primeros cuatro años. Pero en 1991, con la caída de la URSS, las cosas cambiaron mucho."

¿Cómo afectó la situación política a su investigación?

"Fueron unos momentos muy duros para Armenia. Por ejemplo, nosotros no teníamos electricidad, los telescopios no funcionaban y los ordenadores tampoco, no recibíamos revistas..."

¿Cómo afrontó ese periodo?

"Afortunadamente pude acabar todo antes de que empezaran realmente los problemas económicos. Momentos después de terminar mi investigación, se produjo una grave crisis económica. Tuve mucha suerte, porque yo había salido ya del país."

Su destino fue Holanda. "Al acabar la tesis, solicité varias becas. Me quedé con la que me ofrecía el Observatorio Europeo del Hemisferio Sur, en Utrecht. ¿La experiencia en Holanda? Horrificosa. Fue un cambio de mentalidad muy grande. La gente del norte de Europa es muy diferente a nosotros. Incluso el clima habla en contra de la zona. Llovía durante todo el día, no podías hacer planes, tenías que estar todo el tiempo en casa". El gesto es de desesperación absoluta, pero las circunstancias dejaron un pésimo recuerdo de ese año. Lo mismo le ocurre a su mujer, Emma. Su estancia en Holanda se puede resumir en "un año de reclusión absoluta". "No conocía el idioma del país y tampoco habla inglés. Así que se quedaba en casa todo el día sola - porque yo trabajaba hasta las doce o la una de la madrugada - leyendo y haciendo otras cosas. Fue horrible para los dos".

¿Por qué abandonó Holanda?

"Acababa mi beca sobre "Espectroscopía y atmósfera de estrellas" y además había problemas en el observatorio. Así que decidí solicitar una nueva beca y me incliné por Bruselas."

¿Le fue mejor en Bélgica?

"Sí, todo fue mejor. En Holanda sólo hicimos dos o tres amigos. En Bélgica, sin embargo, encontramos a unos armenios y todo cambió mucho. El ambiente de trabajo era mejor. En ese periodo de dos años seguí investigando en estrellas calientes y con hipergigantes amarillas."

Después de Bélgica, accedió a un puesto de científico visitante en la Universidad de Sidney, Australia. Únicamente eran seis meses de trabajo, un periodo corto si se compara con los anteriores. Pero fue el "más satisfactorio" de todos.

"ANTES NO SABÍAMOS CÓMO SE FORMABA UN AGUJERO NEGRO Y HALLAMOS EL PROCESO: EXPLOSIÓN EN FORMA DE SUPERNOVA, QUE DA PASO A LA FORMACIÓN DEL AGUJERO NEGRO. COMO HEMOS DESCUBIERTO AGUJEROS NEGROS EN NUESTRA GALAXIA, HEMOS CONOCIDO MUCHO DE LAS ANTIGUAS ESTRELLAS DE LA VÍA LÁCTEA. GRACIAS AL AGUJERO NEGRO PODEMOS SABER CUÁL ERA LA MASA DE LA ESTRELLA ANTES DE QUE ÉSTA EXPLOTASE."

"Mi familia estaba encantada y en el trabajo me iba muy bien. Todavía tengo contacto y colaboro con muchos colegas de esta universidad". Sin lugar a dudas, el viaje a Australia supuso un cambio muy significativo para la familia Israelian. El pequeño Vahe todavía recuerda con cariño esos años, según cuenta su padre.

¿Qué encontró en esta ciudad que no tuvieran las demás?

"Sidney es una ciudad cosmopolita y abierta a todo tipo de nacionalidades. Allí conviven muchas comunidades pequeñas, entre ellas hay unos veinte mil armenios, por lo que uno se siente como en casa."

Entonces, ¿lo importante fue encontrarse con gente de su mismo lugar de origen?

"Cuando estás con gente de tu misma cultura es mucho más fácil entenderte. Los armenios somos muy acogedores y eso no se cumple tanto con las personas de otros países. De cualquier manera, encontrarte con gente de tu mismo lugar de origen ayuda, pero no es lo fundamental. Por ejemplo, los armenios que viven en Sidney son los hijos de emigrantes, por lo que siguen costumbres australianas también."

¿No se planteó optar por otra beca cuando le comunicaron que su duración era tan escasa?

"En Astronomía no tienes grandes opciones. Si te dicen que vayas a un sitio donde puedes seguir formándote, aunque sea por poco tiempo, tienes que ir. Si no viajas, no muestras interés por tu trabajo, porque esta profesión exige colaborar con muchos institutos y universidades. Cuanta más experiencia en el exterior tengas, mejor."

¿Y su familia? ¿No es difícil para ellos tener que mudarse constantemente?

"Sí, claro. Mi mujer se ha sacrificado mucho, pero cree que vale la pena. El problema es mi hijo. El niño no puede cambiar de colegio con tanta frecuencia. Ha aprendido francés en el Kindergarten de Bruselas, algo de inglés en Australia y español en Tenerife. Creo que sólo podremos cambiar una vez más de idioma, porque cualquier día se vuelve loco."

Pero usted está a expensas de las becas. ¿Qué hará si no le conceden ninguna en un país de habla hispana?

"No me quedará más opción que trasladarme, pero lo que está claro es que será la última vez que lo haga. Pero bueno, se puede ser optimista con lo del español, puesto que por ejemplo en Chile disponen de buenos medios para hacer astronomía. Intentaré pedir una beca para investigar allí."

Garik es consciente de que el tiempo vuela para él. Apenas le quedan dos meses para que finalice su estancia en el IAC. Llegó a la isla de Tenerife para realizar un postdoctorado de tres años, pero en ella ha encontrado mucho más de lo que esperaba: "los lugareños son muy abiertos y cumplidos y la isla posee unos fantásticos parajes naturales". Además de un lugar óptimo para instalarse con su familia, Garik ha visto cumplido muchos de sus sueños en el terreno profesional.

¿Cuáles han sido los proyectos más importantes en los que ha participado?

"Abundancia de elementos ligeros" y 'Estructura y modelización de atmósferas estelares', con Rafael Rebolo y Ramón García López. Además, he trabajado en dos proyectos más: 'Agujeros negros', con Jorge Casares; y 'Evolución y estructura de estrellas masivas', con Artemio Herrero."

¿Y qué balance hace de ellos?

"He publicado trece artículos en dos años y medio. De ellos, creo que hay tres que permanecerán en el terreno de la Astronomía. El primero de ellos hace referencia al descubrimiento del primer arco de estrellas calientes. Este hallazgo fue relevante porque dio a conocer que las estrellas tienen un arco magnético, lo cual implica que puede haber un cambio en la teoría de la evolución de las estrellas masivas."

El segundo de ellos trata sobre la evidencia de que los agujeros negros proceden de la explosión de las supernovas. A medida que las estrellas envejecen, reciben diferentes nombres, según la fase en la que se encuentren. Un agujero negro es una especie de sumidero, un cuerpo del espacio que tiene una densidad tan alta que nada de lo que tiene en su interior puede escapar. Antes no sabíamos cómo se formaba un agujero negro y hallamos el proceso: explosión en forma de supernova, que da paso a la formación del agujero negro. Como hemos descubierto agujeros negros en nuestra galaxia, hemos conocido mucho de las antiguas estrellas de la Vía Láctea. Gracias al agujero negro podemos saber cuál era la masa de la estrella antes de que ésta explotase.

El tercero es la primera evidencia de que cuando una estrella masiva está en movimiento, cambia su evolución y temperatura rápidamente, pasando a estar a 3.000 grados kelvin."

Parece un conjunto de temas muy variados...

"Es que a mí no me interesa ser el mejor experto en un tema, más bien me muevo por mis intereses."

Pero él sabe que eso es verdad hasta cierto punto. No todos los días la revista *Nature* toca a tu puerta. Sin embargo el proceso para la publicación del artículo ha sido lento y engorroso. "Todo comenzó bien. Descubrimos los agujeros negros en nuestra galaxia, adelantamos el cálculo de las masas de las estrellas y, cuando estuvimos seguros de todo ello, mandamos un artículo a la revista". El proceso que tiene la revista para la publicación de artículos es complejo, puesto que el original pasa por dos expertos que determinan su grado de interés. "En nuestro caso, una de las críticas fue muy positiva y la otra más negativa. Esta última argumentaba que apenas teníamos pruebas sobre lo que sosteníamos y que no era muy fiable. Escribimos una respuesta muy fuerte y después de tres meses, el editor nos hizo saber que lo enviaría a una tercera persona. La respuesta fue positiva y fue publicado en septiembre."

¿Siente que ha tocado el cielo en Astronomía?

"Bueno, un poco sí, estoy muy contento. Lo que pasa es que ahora se nos avecina mucho trabajo. Como lo hemos dado a conocer, la gente quiere que demos muchas conferencias y charlas."

¿No le da pena que la publicación coincida con el final de la beca en el IAC?

"Sí, pero lo importante no es el descubrimiento en sí mismo. Hay muchos competidores que están estudiando el tema y nos pueden sacar ventaja si nos descuidamos."

¿Qué ventajas pueden tener ellos respecto al IAC?

"Para progresar en este tipo de descubrimientos son necesarios telescopios de última generación y disponer de grandes telescopios supone una gran ventaja."

¿Quiere decir con eso que sus investigaciones en los últimos años dependen de que le acepten una beca allí?

"Sí, pero eso es normal en un científico. Tienes que estar en la cuerda floja mucho tiempo, para ver si accedes a una beca."

¿Qué posibilidades hay de que sea seleccionado?

"No lo sé, porque hay gente muy buena por ahí. El mundo de la Astrofísica se ha excedido un poco en cuanto a competitividad. Yo odio la competición y no creo que sea tan bueno que haya gente obsesionada con el trabajo. La vida es mucho más que Astrofísica y hay que saber disfrutar de las cosas que tienes a tu alrededor."

"EN ASTRONOMÍA NO TIENES GRANDES OPCIONES. SI TE DICEN QUE VAYAS A UN SITIO DONDE PUEDES SEGUIR FORMÁNDOTE, AUNQUE SEA POR POCO TIEMPO, TIENES QUE IR. SI NO VIAJAS, NO MUESTRAS INTERÉS POR TU TRABAJO, PORQUE ESTA PROFESIÓN EXIGE COLABORAR CON MUCHOS INSTITUTOS Y UNIVERSIDADES."

RADIOGRAFÍA:

Un músico: Muchos. Genesis, Queen, Pink Floyd. *Música jazz, pop, rock, clásica:* casi todo. *Un pintor:* Picasso. (También tiene muchos dibujos de su hijo colgados de la pared en su despacho) *Un escritor:* Stanislav Lem, Michail Bulgakov, Clifford Saimak. *Cine:* sí, películas de ciencia ficción y comedias. *Un personaje histórico:* no sé qué decir. *Un sueño:* no lo diré. *Una necesidad para el mundo:* la paz para todas las naciones.

RAFAEL ARNAY:

“Facilitamos el trabajo a los investigadores huyendo de la burocracia”

NOHELIA UDÍAS FERNÁNDEZ



Rafael Arnay de la Rosa

Rafael Arnay de la Rosa fue uno de los pioneros en el Instituto de Astrofísica de Canarias. Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid), llegó al Instituto en 1976 para participar en la construcción de la infraestructura del Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. En estos momentos, y desde hace ya 16 años, es el responsable de la Administración de todas las áreas que integran el IAC, así como de los dos observatorios que dirige la institución.

¿Qué hace un ingeniero industrial administrando un instituto de investigación astrofísica?

Visto desde fuera, resulta un poco difícil de comprender. Pero la evolución de los acontecimientos, sobre todo por la ampliación y desarrollo de todas las áreas, hizo que fuese necesario un gestor de la actividad del Instituto. Dado que yo conocía el funcionamiento del IAC a causa de mi trabajo en el Observatorio del Roque de los Muchachos, pareció lo más adecuado que asumiese el cargo. La Dirección del centro me lo propuso en 1983. Desde entonces me encargo de la administración.

¿Cuál ha sido la evolución del IAC desde aquellos primeros años?

Han cambiado muchas cosas, tanto en el propio Instituto como de cara al exterior. Cuando yo empecé, había 33 personas en plantilla, no existía el Observatorio del Roque de los Muchachos, y contaban sólo con 3 telescopios en el Observatorio del Teide. El desarrollo de las instalaciones ha provocado un consecuente incremento del personal, que roza ya las 300 personas.

De cara al exterior, el IAC se ha convertido en un consorcio público, integrado por el Estado español, la Comunidad Autónoma de Canarias, la Universidad de La Laguna y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Todo ello ha generado una serie de cambios importantes, relacionados con el funcionamiento y la gestión de las actividades. Además, durante estos años, el Instituto también ha ido adquiriendo prestigio y reconocimiento entre la comunidad científica internacional. Ha pasado del anonimato a adquirir el rango de Observatorio Norte Europeo.

Ese crecimiento, ¿afecta al área que usted coordina?

La Administración se supedita al crecimiento de las demás secciones. En la

medida en que éstas generan más actividad, nosotros debemos multiplicar nuestros esfuerzos para garantizar que todo funcione correctamente. Ésa es nuestra labor: trabajar al servicio del resto de las áreas.

¿Cuáles son las secciones en las que se divide el Instituto?

En el IAC hay cuatro ramas, tres de ellas son productivas (Instrumentación, Investigación y Enseñanza) y una es de soporte, la Administración. Desde aquí controlamos la gestión administrativa –caja, presupuestos...- y la gestión operacional –creación de infraestructuras y su mantenimiento- de todas las partes del Instituto, así como de los dos observatorios. También depende de nosotros la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo.

¿Cuál es la función de esa oficina?

Responde a una propuesta de la Comunidad Astrofísica Internacional. Intenta proteger la investigación astrofísica con respecto a cuatro tipos de perturbaciones: lumínica, incidencia radioeléctrica, medioambiental e interferencias con motivo de las rutas aéreas. La Oficina se encarga de verificar que las condiciones de observación son las más adecuadas. Para ello negocia con los sectores y organismos implicados, e intenta solucionar cualquier inconveniente.

Toda esa actividad, debe de generar cantidades ingentes de documentación y de dificultades, ¿no es cierto?

Los problemas no los ocasiona la información, que es ciertamente muy numerosa, sino la dispersión de temas sobre los que versa. Desde aquí gestionamos tanto los viajes como los presupuestos generales, pasando por cosas aparentemente más triviales, pero tan necesarias como las facturas de mantenimiento de una fotocopiadora. Esto exige mucho trabajo y, a veces, muy poca reflexión, lo que no es bueno ni reporta satisfacciones.

¿Cuentan con una plantilla muy numerosa para llevar a cabo la gestión? Somos 28 personas.

¿Es suficiente?

A veces, estamos completamente colapsados de trabajo, pero intentamos mantener la política del centro: 0,5 administrativos por cada 2 técnicos y 1 investigador. No queremos que este área genere su propia documentación y multiplique el trabajo, sino que actúe como soporte del resto de las secciones. En estos momentos, tenemos el número adecuado en plantilla. Con buena gente se pueden hacer muchas cosas y de forma eficaz.

¿Qué tipo de personal trabaja en la Administración? ¿Qué requisitos tienen que cumplir?

Participo directamente en la selección del personal, porque esta Área no es sólo un pasillo dentro del Instituto sino y, sobre todo, es un conjunto de personas, de cuyo trabajo depende que todo funcione. Por eso, además de conocimientos sobre Contabilidad y Administración de Empresas, procuro buscar gente con un perfil adecuado al IAC.

¿Cuál es ese perfil?

Personas competentes, capaces de trabajar en equipo para facilitar el trabajo a los investigadores y reducir al mínimo la burocracia.

Pero, ¿reducir la burocracia será difícil, sobre todo en un centro que depende de fondos públicos?

Por supuesto, existen unos procedimientos muy concretos que hay que cumplir. El IAC genera información interna y externa, porque hay que informar a los Ministerios de los que dependemos. Pero lo que intenta el Área de Administración es que los investigadores tengan que pasar por el menor número posible de trámites. Nosotros hacemos todas las gestiones y requerimos del científico, muchas veces, tan solo una firma. De ese modo, los astrofísicos pueden dedicar todo su tiempo al trabajo y no lo pierden con trámites burocráticos. Además, contamos con la ventaja de ser una figura no homologada en la Administración pública: un Consorcio Público de Gestión. Eso nos concede un amplio margen de libertad en muchos procedimientos.

Esos mecanismos, ¿se complican a causa de los acuerdos internacionales?

Curiosamente no, puesto que todos los procesos están muy estudiados y simplificados. Los acuerdos que se llevan a cabo en los observatorios son propuestos, en un primer nivel, por los respectivos Estados. En segunda instancia, intervienen las instituciones científicas y, por último, los acuerdos son diseñados por las instituciones usuarias de los telescopios. Es en ese tercer nivel, donde interviene el IAC y, consecuentemente, la sección que dirijo. Intentamos que los procedimientos sean lo más sencillos posibles. Si cabe, la única complejidad es

la duplicación de informaciones. Trabajamos con documentos en inglés y en español. El primero, porque es el idioma que pueden entender todos los países, y el segundo, porque es el lenguaje oficial del Instituto. No utilizamos ningún otro idioma porque consideramos que no es necesario.

Presupuestos

El Área de Administración gestiona los presupuestos del IAC. ¿Cuál es el origen de los ingresos del Instituto?

Existen cuatro entidades que financian la institución y que aportan el llamado Presupuesto Oficial. Estos organismos son la Administración del Estado, la Comunidad Autónoma de Canarias, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Universidad de La Laguna. Ese presupuesto se divide en dos partidas principales: la de gastos corrientes, destinados a cubrir los sueldos del personal, los gastos corrientes de funcionamiento, etc.; y la partida de gastos de capital, que se asigna a la investigación, tanto astrofísica como tecnológica y a la creación de infraestructuras.

Desde el año 1990 recibimos también apoyo económico por parte de las agencias de financiación españolas, por un lado, y de los fondos europeos, por otro. Esta financiación extrapresupuestaria se destina íntegramente a la investigación.

¿Existe rivalidad entre las distintas Áreas del Instituto debido al reparto del presupuesto?

La asignación de los recursos económicos es equitativa en cuanto a lo que a los presupuestos oficiales se refiere. Investigación e Instrumentación son siempre las más beneficiadas, mientras que la Administración es la 'cenicienta'. Pero esta distribución responde a la filosofía del centro que antes comentaba, y que trata de conseguir una proporción de 0,5 administrativos.

La disparidad de medios económicos entre unas áreas y otras radica en la financiación extrapresupuestaria. La mayor parte de becas y ayudas están orientadas hacia el desarrollo tecnológico. Por ese motivo, el Área de Instrumentación es la más favorecida.

¿Esas diferencias generan problemas?

No más graves de lo habitual. Desde el momento en que trabajas con personas y con dinero, hay tensiones, porque los recursos son limitados. Es un trabajo ingrato, pero necesario.

¿Cómo definiría su sección?

Somos un grupo de gente al servicio del resto de las secciones, un área de soporte. Somos un equipo con conciencia de equipo. Todas las áreas que componen el Instituto están integradas como un todo dentro del IAC, pero cada una tiene su propio orgullo. El nuestro consiste en trabajar para hacer más cómoda la labor de los otros.

"A VECES, ESTAMOS COMPLETAMENTE COLAPSADOS DE TRABAJO, PERO INTENTAMOS MANTENER LA POLÍTICA DEL CENTRO: 0,5 ADMINISTRATIVOS POR CADA 2 TÉCNICOS Y 1 INVESTIGADOR. NO QUEREMOS QUE ESTE ÁREA GENERE SU PROPIA DOCUMENTACIÓN Y MULTIPLIQUE EL TRABAJO, SINO QUE ACTÚE COMO SOPORTE DEL RESTO DE LAS SECCIONES."

"SOMOS UN EQUIPO CON CONCIENCIA DE EQUIPO. TODAS LAS ÁREAS QUE COMPONEN EL INSTITUTO ESTÁN INTEGRADAS COMO UN TODO DENTRO DEL IAC, PERO CADA UNA TIENE SU PROPIO ORGULLO. EL NUESTRO CONSISTE EN TRABAJAR PARA HACER MÁS CÓMODA LA LABOR DE LOS OTROS."

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN

ANTONIO MAMPASO dio la charla "Exoplanetas", el 24 de enero (omitida en el número anterior), en el Centro de Estudios Hispánicos del Puerto de la Cruz (Tenerife). También dio las charlas "Ciencia y paraciencia", el 29 de junio (omitida en el número anterior), y "Universos y pseudo-universos", el 6 de julio, en el Ateneo de La Laguna (Tenerife). Esta última charla también la dio, el 22 de octubre, en la Agrupación Astronómica de Cartagena (Murcia). El 26 de noviembre dio la charla "¿Cabe el Universo en nuestro cerebro de mono?", en el Instituto de Estudios Hispánicos del Puerto de la Cruz (Tenerife).

JUAN ANTONIO BELMONTE dio la charla "La Astronomía en la Historia", el día 22 de marzo (omitida en el número anterior), en el Parque de las Ciencias de Granada. El 2 de julio, dio la charla "Astronomía y Cultura en Canarias" dentro del curso de Astronomía y Cultura en Arrecife, de Lanzarote. El 28 de septiembre dio la charla "Arqueoastronomía: Las leyes del Cielo" en el Planetario de Pamplona. El 29 de septiembre dio la charla "Las leyes del Cielo" en la Sala de Cultura de la Kutxa, en San Sebastián. El 25 y 26 de octubre, en el Casino de Murcia, dio las charlas "Las leyes del cielo" y "De la Tierra plana a los agujeros negros". El 25 de noviembre dio la charla "Astronomía y Cultura en el norte de África y Canarias", en el Museo de la Ciencia y el Hombre de Santa Cruz de Tenerife.

ÁNGEL GÓMEZ ROLDÁN dio las siguientes charlas: "Nuevos descubrimientos en el Sistema Solar", el 30 de abril, en el I.E.S. La Higuera, de La Laguna, Tenerife (omitida en el número anterior), y "SHELIOS 99: expedición al último eclipse total de Sol del milenio", en la sede de la Agrupación Astronómica de Madrid, el 20 de julio.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO dio la charla "El Sol, una estrella de película" como presentación de la expedición Shelios '99, el 6 de julio, en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, en La Laguna (Tenerife). Durante el transcurso de la expedición Shelios '99 dio la misma charla en Barcelona en Sant Andreu de Llaveners, en el Museu Maritim y en Olesa de Montserrat, en Figueras (Gerona). Una vez que la expedición salió de España la charla cambió a la versión inglesa "The Sun, a movie star" y la dio en el Gymnasium Max Born de Munich (Alemania) y en el Palatul National al Copiilor en Bucarest (Hungría). Una vez de vuelta a casa, el 9 de septiembre, dio una charla resumen-información sobre la Expedición en el Aula del IAC titulada "El último eclipse total de Sol del milenio". También durante la "IV Semana de Astronomía", organizada por la Agrupación Astronómica de Gran Canaria, el 2 de noviembre, dio la charla "El Sol, una estrella de película", en la Casa Museo Colón de las Palmas de Gran Canaria.

FRANCISCO SÁNCHEZ dio las siguientes charlas: "Presente y futuro de la Astronomía en La Palma", en el Teatro Chico de Santa Cruz de La Palma, el 3 de agosto; "Papel de la ciencia, la tecnología y la innovación en Canarias", en el Encuentro de Empresarios Canarios celebrado en Las Palmas de Gran Canaria, el 9 de noviembre; "Exotismo de la Naturaleza del cielo y la Tierra", en el ciclo de conferencias "Entre siglos", celebrado en el Cabildo de Tenerife, el 1 de diciembre; "El cielo de Canarias, un recurso natural a proteger", en la Fundación César Manrique (Lanzarote), el 9 de diciembre. Además, participó en la mesa redonda sobre Grandes Instalaciones durante la Bienal de Física, el 21 de septiembre; en la apertura del Seminario Galileo y la gestación de la ciencia moderna", celebrado en la Orotava, el 25 de octubre; y pronunció el discurso inaugural de la Exposición "20 años de Astronomía en La Palma", el 16 de noviembre.

CARMEN DEL PUERTO dio la charla "Ciencia y Periodismo: el encuentro entre la tortuga y la liebre", en la Mesa Redonda "Periodismo científico y divulgación. La física en los mass media", organizada en el marco de la XXVII-Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física, celebrada en el Palacio de Congresos de Valencia, del 20 al 24 de septiembre.

ANTONIA M. VARELA, impartió el curso "Astronomía en Canarias", dentro del programa especial para mayores de 55 años organizado por el Vicerrectorado de Extensión Universitaria de la Universidad de La Laguna, entre octubre de 1999 y enero de 2000.

JESÚS BURGOS, como Punto Nacional de Contacto Programa Comunitario "Improving Human Research Potential", impartió la conferencia "Programa Europeo Mejora del Potencial Humano. V Programa Marco de I+D. Acciones", en la Universidad de Valladolid, el día 5 de octubre.

DAVID MARTÍNEZ DELGADO dio la charla titulada "Leónidas 99", el 17 de noviembre, en el Colegio Nuestra Señora del Buen Consejo, de La Laguna (Tenerife).

CICLO DE CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN LA PALMA

Con motivo de la Exposición "20 años de Astronomía en La Palma", el IAC organizó, en colaboración con el Excmo. Ayuntamiento de Santa Cruz de La Palma, un ciclo de seis conferencias de divulgación celebrado en el Teatro Chico de Santa Cruz de La Palma (ver relación en la pág. 41).

VISITAS ORGANIZADAS A LAS INSTALACIONES DEL IAC

Entre los meses de julio y noviembre, entre alumnos de diferentes centros de enseñanza (medianas y superiores), así como participantes en congresos, equipos de filmación y particulares, visitaron el Instituto de Astrofísica 40 personas, el Observatorio del Teide recibió 2.200 visitantes y el Observatorio del Roque de los Muchachos, 7.782, de los cuales 6.601 visitaron este Observatorio durante las Jornadas de Puertas Abiertas celebradas en verano.

EDICIONES

Con motivo de la Exposición "20 años de Astronomía en La Palma" se editaron varios folletos, entre ellos uno específico sobre este aniversario (ver pág. 40) y otro titulado "Proteger el cielo de Canarias", de la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo. Con motivo de las Leónidas 99, se editó una Unidad Didáctica sobre esta lluvia de estrellas elaborada para distribuir entre centros de Enseñanza Secundaria (ver pág. 46). Asimismo, el Gabinete de Dirección del IAC ha editado un nuevo folleto sobre el Gran Telescopio Canarias.

El IAC ha colaborado con material gráfico en la edición del libro *Iniciación a la Astronomía*, de la Editorial Afortunadas, dirigido a alumnos de 2º ciclo de Educación Secundaria Obligatoria.

OTRAS NOTICIAS

Premio para jóvenes científicos de la UE

La Comisión Europea convoca anualmente un premio para jóvenes científicos (*EU Contest for Young Scientists*), como parte de su Programa de Potencial Humano (*Improving Human Potential Programme*). La finalidad es fomentar la cooperación y el intercambio entre jóvenes científicos, mostrando al mismo tiempo los mejores trabajos científicos realizados por jóvenes estudiantes europeos. Para poder acceder a este concurso, los participantes deben ser ganadores del concurso para jóvenes científicos a nivel nacional, con lo que representan a su país en el concurso europeo. Los premios consisten en la entrega de una cantidad en metálico, la posibilidad de representar a la UE en foros internacionales (*The Stockholm International Youth Science Seminary The London International Youth Service Forum*), además de un premio especial: la participación en un proyecto organizado por instituciones como el *European Joint Research Centre*, en Ispra (Italia), el Instituto Polar de Noruega, en Spitzbergen (Noruega), la *Royal Geographical Society*, en las Seychelles o el Observatorio Norte Europeo (ENO), en el IAC.

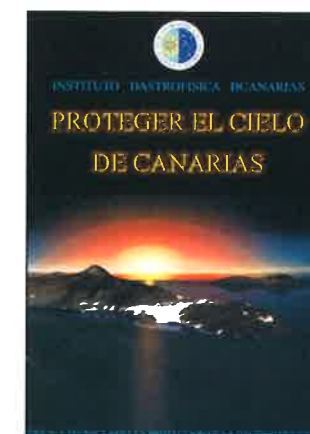
En esta undécima edición de los premios, celebrada en Salónica (Grecia), tres jóvenes científicos islandeses de Reykjavik, de entre 19 y 20 años, dos estudiantes de Física y uno de Ingeniería Electrónica, recibieron el premio especial del jurado para participar en proyectos organizados por el ENO, con lo que disfrutarán de una estancia en el IAC a partir del próximo mes de julio.

Doctor Honoris Causa

John Beckman, Profesor de Investigación del CSIC en el IAC, fue investido Doctor Honoris Causa por la Universidad Mayor de San Simón, de Cochabamba (Bolivia), el pasado 6 de octubre. Con motivo de su nombramiento, pronunció la conferencia titulada "El Universo, pasado, presente y futuro".

In memoriam

El pasado 17 de diciembre, el equipo del telescopio franco-italiano THEMIS anunció, con gran consternación, la trágica muerte de Gerard Calvet y Jean-Claude Semiau, en el accidente de helicóptero que se produjo en el altiplano de Bure, sede del radioobservatorio del IRAM. Los dos ingenieros del INSU desempeñaron un papel clave en la construcción del telescopio THEMIS, dejando tras de sí profundos lazos de amistad con el personal del IAC que trabajó con ellos.



PLACA DE AGRADECIMIENTO DEL CLUB DE LEONES DE LA LAGUNA

El pasado 20 de diciembre, el Club de Leones de La Laguna hizo entrega al Director del IAC, Francisco Sánchez, de una placa de agradecimiento por la colaboración del Instituto de Astrofísica de Canarias en las actividades de este club.



EXPOSICIÓN "20 años de Astronomía en La Palma"

Para conmemorar el vigésimo aniversario de la firma de los Acuerdos Internacionales en Materia de Astrofísica, que tuvo lugar en el Cabildo Insular de La Palma, el 26 de mayo de 1979, el IAC organizó una exposición en el antiguo Convento Franciscano de la Inmaculada Concepción, en Santa Cruz de La Palma. La exposición estuvo abierta del 16 de noviembre de 1999 al 16 de enero de 2000 y fue posible gracias a los fondos concedidos por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) al proyecto "Promoción de la Cultura y la Comunicación en Ciencia y Tecnología" del Gabinete de la Dirección del IAC.



Portada del folleto explicativo de la exposición editado por el IAC.



Vista parcial de la Exposición "20 años de Astronomía en La Palma".

La exposición "20 años de Astronomía en La Palma" pretendió mostrar, de forma sencilla, los pasos más importantes que ha seguido la observación del Universo desde la isla de La Palma. Organizada por el Instituto de Astrofísica de Canarias con la financiación de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, fue inaugurada el pasado 16 de noviembre con la asistencia de diversas autoridades de la isla de La Palma y los miembros del Comité Científico Internacional de los Observatorios del IAC. En su discurso inaugural, Francisco Sánchez, Director del IAC, resaltó el hecho de que los responsables del Pabellón de España en la Exposición Universal de Hannover 2000 hayan elegido precisamente la Astrofísica en la Isla de La Palma **"como un modelo de integración entre naturaleza y ciencia, entre desarrollo sostenible y respeto por el mantenimiento de la identidad cultural de un pueblo singular"**.

El deseo del hombre por conocer tanto la Naturaleza como el origen y el porvenir del género humano tiene en La Palma y, en concreto, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, un lugar donde hacerse realidad. Este Observatorio, junto con el Observatorio del Teide (Tenerife) y el resto de las instalaciones del IAC, constituyen el Observatorio Norte Europeo, el mejor sitio de que dispone Europa en el Hemisferio Norte para emplazar

sus telescopios más avanzados. Los muchos países implicados en esta gran empresa científica y los nuevos telescopios a punto de instalarse acreditan este merecido título.

La muestra, abierta gratuitamente a todo el público, ofreció a los visitantes la posibilidad de conocer, con más detalle, tanto las instalaciones telescópicas y la ciencia que se realiza con ellas, como la historia y los muchos beneficios que la existencia del Observatorio reporta a La Palma. Constó de más de 62 paneles gráficos informativos, 7 módulos interactivos, una sala infantil, 2 maquetas de telescopios, fotografías murales, una sala de proyección y varios equipos informáticos con programas de divulgación científica. La exposición se completó con un ciclo de conferencias sobre Astrofísica impartidas por astrónomos del IAC en el Teatro Chico de Santa Cruz de La Palma.

Además, con motivo de este aniversario, se hizo entrega al Excmo. Cabildo Insular de La Palma de un telescopio MEADE 10" LX50, que fue adquirido por el IAC con fondos de la Fundación "Santa María" y que, manejado por los responsables de la Agrupación Astronómica Isla de La Palma (AAP), será destinado a enseñar el cielo a los alumnos de los centros docentes y a particulares, rotando por los municipios.



En la foto, el Director del IAC, Francisco Sánchez, hace entrega a la Consejera de Educación y Cultura del Excmo. Cabildo Insular de La Palma, M. Rosaura Acosta Francisco, de un telescopio cedido a este Cabildo para la divulgación de la Astronomía en la isla.



Relación de charlas:

- "Las fronteras del Universo".
IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA
- "El Sol, una estrella de película".
INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO
- "La aventura de la Ciencia: Eclipses y Leónidas".
MIQUEL SERRA RICART
- "El mensaje de la luz".
LUIS CUESTA CRESPO
- "El destino del Sol".
ROMANO CORRADI
- "INTERNET: la ruta de las estrellas" (pendiente).
CARLOS WESTENDORP PLAZA y M.C. ANGUITA

"20 años de Astronomía en La Palma"

ÍNDICE TEMÁTICO DE LOS PANELES DE LA EXPOSICIÓN

HISTORIA ASTRONOMÍA EN LA ISLA DE LOS BENAOHARITAS
De los ritos sagrados a los grandes telescopios

OBSERVATORIO NORTE EUROPEO
Uno de los mejores paraísos astronómicos del mundo

LA ASTROFÍSICA
El Universo al alcance de tus manos

VENTAJAS PARA LA PALMA EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS Y LA PALMA
El beneficio de la simbiosis

INSTALACIONES TELESCOPIOS
Los espejos del tiempo



En esta página se muestran imágenes de algunos de los 62 paneles que integran esta Exposición.

La Exposición puede visitarse en Internet en la siguiente dirección:
<http://www.iac.es/gabinete/expo20/index.html>

"20 años de Astronomía en La Palma"



En la imagen superior, módulo con la maqueta del Gran Telescopio Canarias. A la izquierda, personal del IAC preparando la sala infantil (simulación de un paisaje lunar), y personal responsable del montaje. Abajo, algunos paneles de la Exposición.



ENTIDADES COLABORADORAS:

- Excmo. Cabildo Insular de La Palma
- Excmo. Ayuntamiento de Santa Cruz de La Palma
- Antiguo Convento Franciscano de la Inmaculada Concepción
- Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife
- Agrupación Astronómica Isla de La Palma (AAP)
- Instituciones Usuarías del Observatorio del Roque de los Muchachos:
 - Grupo de Telescopios Isaac Newton (ING)
 - Telescopio Nacional Italiano "Galileo" (TNG)
 - Experimento de Astrofísica de Rayos Gamma de Alta Energía (HEGRA)
 - Real Academia de Ciencias de Suecia
 - Asociación Científica del Telescopio Óptico Nórdico (NOTSA)
 - Telescopio Abierto Holandés (DOT)
 - Círculo Automático Meridiano de Carsberg (CAMC)

REALIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN:
Gabinete de Dirección del IAC
Apoyo logístico:
Ricardo Rivero (Administrador del ORM)
Diseño:
Gotzon Cañada
Título de la Exposición:
Conny Spelbrink

LEÓNIDAS 1999: la tormenta de fin de siglo

Durante la noche del 17 al 18 de noviembre de 1999, la naturaleza nos ofreció uno de sus mejores espectáculos astronómicos: una tormenta de meteoros producida por el enjambre de las Leónidas. Las observaciones realizadas por astrónomos del IAC desde Tenerife revelan que la actividad superó los 3.500 meteoros por hora, unas cuatro veces el nivel predicho por los modelos teóricos. La lluvia de las Leónidas de 1999 fue una verdadera tormenta como no se producía en España desde 1933. El máximo de la lluvia ocurrió a las 02h 02m TU, confirmando de manera espectacular las predicciones de un modelo numérico publicado en 1999 por los astrónomos David Asher y Robert McNaught. Según este modelo, la lluvia del año 2001 podría ser aún más intensa, aunque el pico de actividad será visible únicamente desde Asia. La gran precisión de este modelo constituye todo un éxito para la Astronomía: es la primera vez que se predice la posición del máximo de una tormenta con un error de sólo 5 minutos.

Las tormentas de Leónidas ocurren cuando la Tierra intercepta uno de los tubos de partículas que el cometa periódico Tempel-Tuttle genera al acercarse al Sol. Las partículas cometarias se desintegran en la atmósfera terrestre por el enorme rozamiento al que se ven sometidas. En este proceso emiten luz, visible desde la superficie como estrellas fugaces o meteoros. Cada 33 años, coincidiendo con el regreso del cometa a las cercanías del Sol, la Tierra atraviesa filamentos de materia creados en retornos anteriores, lo que origina lluvias de meteoros muy intensas. En 1966, por ejemplo, las Leónidas emitidas por el cometa en 1899 produjeron actividades máximas de unos 90.000 meteoros por hora.



Fotografía obtenida por Francisco Bruguera (participante de la campaña de observación organizada por el IAC) desde Peñas de Dios durante la tormenta de las Leónidas. El tiempo de exposición es de 5 minutos, con un objetivo de 28 mm y película de 800 ASA. El campo está situado al Sur de la Osa Mayor. En la foto se aprecian siete Leónidas.

El estudio de las lluvias de meteoros es importante por varios motivos. En primer lugar, nos permite determinar las características físicas de las partículas de polvo liberadas por los cometas. Mientras no se lleven a cabo misiones espaciales como Stardust, no existe otra forma directa de analizar *in situ* el material cometario. Por otro lado, la entrada de los meteoroides en la atmósfera permite obtener información sobre las condiciones físicas que predominan en las capas altas de la atmósfera terrestre. Por último, es importante estudiar la distribución de partículas en las cercanías de la Tierra porque suponen un gran riesgo para los cerca de 600 satélites y plataformas espaciales en órbita. Este peligro es muy real. Se cree que el satélite Olympus, de la ESA, dejó de operar en 1996 como consecuencia del impacto de un meteoróide.

Proyecto educativo

Con motivo de la lluvia de 1999, el IAC desarrolló un proyecto educativo para involucrar a los alumnos de enseñanzas medias de todo el país en la observación de las Leónidas. Este proyecto se articuló en torno a una Unidad Didáctica dirigida a profesores de las asignaturas de Ciencias Naturales y Taller de Astronomía de ESO y Bachillerato.

El principal objetivo era introducir a los jóvenes estudiantes en una investigación científica real a través de la observación. Las tormentas de meteoros ofrecen una oportunidad única para llevar a cabo una experiencia de este tipo porque son fe-

nómenos muy poco comunes y no requieren ningún instrumento de observación. Además, es uno de los pocos campos de la Astronomía (y de la ciencia en general) al que se puede contribuir con observaciones visuales.

El IAC preparó una página web (<http://www.iac.es/educa/leo99/>) donde los profesores y alumnos podían inscribirse y consultar más información sobre esta iniciativa. La Unidad Didáctica se remitió por correo a aproximadamente 600 centros de Enseñanza Secundaria. Para hacer más atractiva esta propuesta, se organizó un concurso que premiaba al centro que enviase la mejor memoria de actividades. La iniciativa ha contado con la colaboración de la empresa Microciencia S.A. (Barcelona), la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía y la Sociedad de Observadores de Meteoros y Cometas de España.

Este proyecto es la primera colaboración entre estudiantes y astrofísicos que se desarrolla en España. En total, han participado 76 centros de Enseñanza Secundaria y unos 1500 alumnos de todo el país. (ver Figura 1)

Resultados científicos

El método de observación propuesto a los alumnos fue el conteo de Leónidas en intervalos de cinco minutos, midiendo cada hora la calidad del cielo a través de la magnitud límite estelar para poder corregir las tasas observadas. Se trata de una versión simplificada de la metodología que se emplea dentro de la Organización Internacional de Meteoros. A pesar de la subjetividad propia de este tipo

de observaciones, los resultados que se alcanzan son estadísticamente significativos por el gran número de observaciones disponibles. De hecho, las curvas de actividad resultantes de los análisis son empleadas con frecuencia en los trabajos que se publican en revistas profesionales.

Las observaciones realizadas en el marco de este proyecto se han introducido en las bases de datos de la Organización Internacional de Meteoros. El seguimiento de las Leónidas de 1999 es el más completo en la Astronomía de meteoros. En total, 434 observadores registraron 277.172 Leónidas durante el periodo de actividad de la lluvia. Aproximadamente, el 66% de las observaciones mundiales proceden del proyecto educativo desarrollado por el IAC. El enorme volumen de datos disponibles ha permitido obtener el primer perfil de actividad de una tormenta de meteoros con resolución temporal de 1.4 minutos. Dicho perfil se muestra en la Figura 2. El máximo ocurrió a las 02h 02m \pm 2m TU del 18 de noviembre de 1999, alcanzando niveles de 3700 \pm 100 meteoros/hora. Estos valores confirman la gran exactitud del modelo propuesto por Asher y McNaught (1999), que predecía un máximo a las 02h 08m TU como consecuencia del encuentro de la Tierra con un filamento de materia generado por el cometa Tempel-Tuttle en 1899. Además del máximo principal, la Tierra atravesó al menos otros siete filamentos (los pequeños baches que sobresalen por encima de la actividad de fondo). El origen de cinco de ellos es desconocido.

A partir de la actividad máxima observada en 1999, la densidad de partículas en

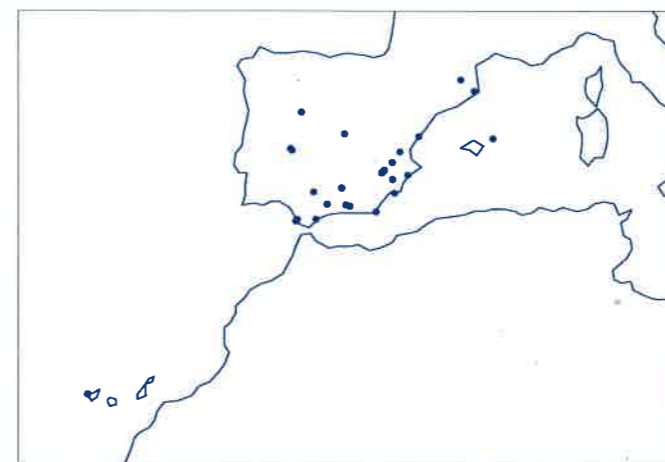


Figura 1. Distribución de los centros que participaron en la observación de las Leónidas 1999.

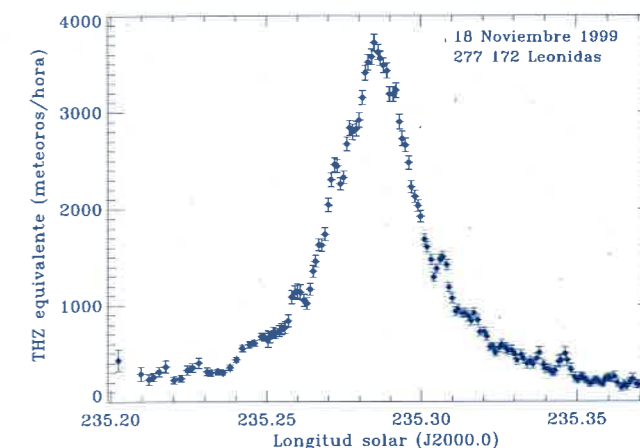


Figura 2. Curva de actividad de las Leónidas en la noche del 17 al 18 de noviembre de 1999. Está basada en 277.172 meteoros registrados por 434 observadores visuales. Es el primer perfil de actividad completo que se obtiene para una tormenta de meteoros. La resolución temporal es de sólo 1.4 minutos.

RESPONSABLES DEL PROYECTO:

Luis Bellot
David Martínez
Miquel Serra-Ricart
Ángel Gómez Roldán

HAN COLABORADO:

Abelardo Díaz
Agustín Casanova
Carlos Flores
Carmen del Puerto
Esteban González
Felipe García
Fina Sánchez
Gabi Pérez
Gotzon Cañada
Itziar Anguita
Javier Cosme
Juan José Dionis
Judith de Araoz
Laia Alsina
Pere Lluís Pallé
Ramon Castro
Tanja Karthaus
Taller de Mecánica
Taller de Electrónica

"LAS TORMENTAS DE METEOROS OFRECEN UNA OPORTUNIDAD ÚNICA PARA LLEVAR A CABO UNA EXPERIENCIA DE ESTE TIPO PORQUE SON FENÓMENOS MUY POCO COMUNES Y NO REQUIEREN NINGÚN INSTRUMENTO DE OBSERVACIÓN. ADEMÁS, ES UNO DE LOS POCOS CAMPOS DE LA ASTRONOMÍA (Y DE LA CIENCIA EN GENERAL) AL QUE SE PUEDE CONTRIBUIR CON OBSERVACIONES VISUALES."



Portada de la Unidad Didáctica elaborada por el IAC para distribuir entre los centros de Enseñanza Secundaria.

el filamento de 1899 resulta ser de 5.400 meteoroides en un cubo de 1.000 km de lado. Esta no es una densidad especialmente alta. De hecho, las Leónidas son capaces de generar tormentas porque su velocidad geocéntrica es muy grande (71 km/s) y hasta los meteoroides más pequeños son visibles. Si las Leónidas tuvieran una velocidad similar a la de los meteoros esporádicos (20 km/s) nunca producirían tormentas porque sólo las partículas más grandes serían visibles y hay pocas en el enjambre.

La anchura a mitad de altura de la curva de actividad es 45 minutos. Durante este tiempo, la Tierra recorrió 80.000 km. Teniendo en cuenta la inclinación de la órbita de las Leónidas, el filamento que produjo la tormenta de 1999 mide unos 23.000 km en la dirección perpendicular al plano orbital. Este valor es muy similar al tamaño de los tubos de materia descubiertos por el satélite IRAS en la cola de los cometas de corto periodo. Dicho

de otro modo: el filamento que generó la tormenta de 1999 media unas dos veces el diámetro de la Tierra. Podemos imaginarnos lo difícil que resulta predecir el paso de la Tierra por un tubo tan pequeño (sobre todo cuando no sabemos exactamente dónde está) y que la actividad depende fuertemente del punto por donde la Tierra lo cruce.

Actualmente estamos analizando las curvas de actividad obtenidas en los distintos lugares de observación. Gracias a la excelente distribución geográfica de los observadores será posible realizar una tomografía de la densidad de partículas dentro del filamento de materia. Los resultados preliminares indican que existen diferencias significativas entre las curvas individuales, sugiriendo la presencia de estructuras a pequeña escala. De ser así, dichas estructuras impondrán fuertes limitaciones a los modelos numéricos de eyección de partículas en los núcleos cometarios.

LAS PREGUNTAS MÁS FRECUENTES

¿Qué son las estrellas fugaces?

Son pequeñas partículas de polvo, del tamaño de un grano de arena, liberadas por los cometas cuando se acercan al Sol. Una vez desligadas de los núcleos cometarios quedan vagando en el espacio hasta que chocan con la Tierra y se convierten en estrellas fugaces.

¿Cuál es el peso de las estrellas fugaces más brillantes?

En general, cuanto más brillante es una estrella fugaz, mayor es su masa. Los meteoros más brillantes que se observan pueden emitir tanto como la Luna llena, y pesan del orden de 100 gramos.

Entonces, ¿es posible que alguna estrella fugaz llegue al suelo?

Prácticamente todas las estrellas fugaces se han desintegrado a 50 km de altura sobre la superficie terrestre. Cuando las partículas son muy grandes, la protección de la atmósfera es insuficiente y pueden llegar al suelo en forma de meteoritos. Sin embargo, se requieren masas iniciales del orden de kilogramos y velocidades muy bajas, por lo que es un fenómeno muy poco común.

¿Por qué las lluvias de estrellas se ven todos los años durante las mismas fechas?

Porque los tubos meteoríticos tienen órbitas definidas que no cambian con el tiempo. Al girar alrededor del Sol, la Tierra atraviesa estos filamentos durante los mismos días del año, lo que produce las lluvias de meteoros. Un tubo meteorítico puede ser encontrado por la Tierra dos veces al año, como sucede con el del cometa Halley. Así, en Mayo vemos las eta Acuáridas y en Octubre las Oriónidas.

¿Por qué la actividad de las Leónidas es mucho mayor cada 33 años?

Porque cada 33.2 años el cometa generador de la lluvia, Tempel-Tuttle, se acerca al Sol. La densidad de partículas en las proximidades del cometa es muy elevada. Cuando la Tierra cruza esta región, las lluvias de Leónidas son mucho más intensas.

¿Fue realmente este año cuando se produjo la máxima actividad de Leónidas?

No. De acuerdo con las predicciones teóricas, la actividad de Leónidas más alta ocurrirá en el año 2001 o el 2002, con tasas estimadas del orden de 25.000-35.000 meteoros por hora. La observación de 1999 nos ha permitido ganar experiencia para años posteriores y, sobre todo, mejorar las inciertas predicciones de los modelos numéricos.

¿Es posible colaborar en el estudio de las lluvias de meteoros?

Sí. De hecho, la mayor parte de lo que sabemos sobre meteoros ha sido posible gracias a la labor desinteresada de muchas personas dedicadas a la observación visual de las lluvias. No se necesita ningún instrumento para ello, sólo experiencia. Al tratarse de un fenómeno que ocurre en todo el cielo, su observación con telescopios profesionales es muy difícil. Las observaciones visuales son subjetivas, pero el elevado número de observadores hace que los resultados sean muy precisos desde el punto de vista estadístico.

CENTROS PARTICIPANTES

- | | |
|---|---|
| Albacete. IES Melchor de Macanaz | Málaga. IES Número 5 |
| Albacete. IES Octavio Cuartero | Málaga. IES Los Colegiales |
| Alicante. IES Pere María Orts i Bosch | Málaga. IES Mediterráneo |
| Asturias. IES de Turón | Málaga. IES Las Lagunas |
| Baleares. IES Sa Blanca Dona | Murcia. IES Blanca |
| Baleares. IES Antonio Maura | Murcia. IES San Isidoro |
| Baleares. IES María Àngels Cardona | Murcia. IES Domingo Valdivieso |
| Barcelona. Escola Arrels | Murcia. IES Aljada |
| Barcelona. Cor de Maria Sebastida | Las Palmas. Colegio Guaydil |
| Barcelona. Colegio Tecla Sala | Las Palmas. Nueva Isleta |
| Barcelona. CEIP El Roure Gros | Las Palmas. CEA Las Palmas Venegas |
| Barcelona. IES Lluís Companys | Las Palmas. IES Faro de Maspalomas |
| Cáceres. Colegio San Antonio de Padua | Las Palmas. IES Teror |
| Cáceres. Colegio San José | Las Palmas. IES José Serpa |
| Cáceres. Facultad de Formación de Profesorado | Pontevedra. IES Xunqueira I |
| Cáceres. IES Universidad Laboral | Pontevedra. Colegio Apóstol Santiago |
| Cádiz. IES Pablo Ruiz Picasso | Santa Cruz de Tenerife. Santo Domingo de Guzmán |
| Cádiz. IES Almunia | Santa Cruz de Tenerife. IES Andrés Bello |
| Cádiz. IES Zaframagón | Santa Cruz de Tenerife. IES César Manrique |
| Cádiz. IES Isla de León | Santa Cruz de Tenerife. IES San Hermenegildo |
| Cantabria. Ricardo Bernardo | Santa Cruz de Tenerife. Colegio Buen Consejo |
| Castellón. IES Francisco Ribalta | Santa Cruz de Tenerife. IES La Guancha |
| Castellón. IES Vicent Castell Domenech | Santa Cruz de Tenerife. IES Tegueste |
| Castellón. Colegio Consolación Villarreal | Santa Cruz de Tenerife. IES La Victoria |
| Ciudad Real. Colegio Nuestra Señora del Prado | Soria. IES Virgen del Espino |
| Córdoba. Inca Garcilaso | Sevilla. IES Triana |
| Córdoba. Antonio Gala | Sevilla. Luis Vélez de Guevara |
| Granada. IES Mariana Pineda | Valencia. IES de Buñol |
| Granada. Centro Juan XXIII-Zaidín | Vizcaya. IES Eскурce |
| Granada. IES Trevenque | Vizcaya. Txorierrí BHI |
| Jaén. IES San Juan Bosco | Vizcaya. IES Julio Caro Baroja |
| Lleida. IES Maria Rúbies | Vizcaya. IES José Miguel Barandiarán |
| Lleida. Col-legi Claver | Vizcaya. Instituto Kantauri-Axular |
| Lleida. IES Manuel de Pedrolo | Vizcaya. Ondárroa BHI |
| Madrid. Colegio Retamar | Zamora. IES Río Duero |
| Madrid. IES Vega del Jarama | |
| Madrid. IES Isaac Peral | |
| Madrid. IES Villa de Valdemoro | |



Fotografía obtenida por alumnos del IES Antonio Maura, de Palma de Mallorca, dentro de la campaña de observación.



EXPEDICIÓN SHELIOS '99

11 de agosto de 1999: eclipse total de Sol

Un grupo de astrónomos del IAC, acompañados por personal técnico de mantenimiento y profesionales de la comunicación, se desplazó el pasado mes de agosto hasta la localidad de Kastamonu, al noroeste de Turquía, para observar el último eclipse total de Sol del milenio, el miércoles 11 de agosto. El eclipse fue total a lo largo de la estrecha banda trazada por la sombra de la Luna, que comenzó en el Atlántico, cruzó Europa Central y el Oriente Próximo y terminó en la India. Shelios '99 siguió a la aventura iniciada por Shelios '98, que llevó a la expedición a bordo de un velero para alcanzar, en medio del océano, la línea de totalidad del eclipse total de Sol del 26 de febrero de 1998, visible también en Centroamérica. La serie continuará en el 2001, cuando el grupo de Shelios organizado al efecto se desplace a Zimbabwe en busca del primer eclipse total de Sol del tercer milenio.

Durante un eclipse total de Sol, momento en que el disco lunar se interpone entre la Tierra y nuestra estrella, queda al descubierto como un halo blanquecino la región más externa de la atmósfera solar, denominada corona. Es precisamente la visión de la corona, silueteada alrededor del negro borde lunar, la que hace de los eclipses totales de Sol un espectáculo fascinante, además de científicamente relevante para los astrofísicos. Muchos descubrimientos astronómicos se han producido gracias a las observaciones hechas en estas circunstancias. Por ejemplo, fueron medidas de la des-



"Foto de familia" en Alemania. El grupo de 28 expedicionarios posa al completo el día 3 de agosto. De pie, Eduard Serra, Borja Molero, Guiomar González, Jesús González Green, Adela Iglesias, Jesús Burgos, Joaquín Alcaine, Miquel Serra, Cristina Alcaine, Teresa González, Vicenç Palau, Curro Castillo (detrás), Cristina Abajas, Inés Rodríguez Hidalgo, Juan Ramón Hernández, Nuria Fernández, Juanjo Martín. Delante: Constanza González, Ángel Gómez, Miguel Díaz (primer plano), Mario Jurado, Iván Aranda, Javier Cosme, Gotzon Cañada, Ricardo Porras, Juanjo Martín, Juan Manuel Cedrés, Mónica Serra. (Foto: Shelios).

viación de la posición aparente de las estrellas más cercanas al Sol las que sirvieron para determinar la atracción que la gran masa del Sol ejerce sobre la luz y validar así la teoría de la Relatividad General de Einstein.

En este último eclipse total de Sol del milenio la línea de totalidad, es decir, el cono de sombra proyectado por la Luna sobre la superficie terrestre, arrancó de un punto situado a unos 700 km al este de la ciudad de Nueva York, en el Atlántico Norte, para continuar hacia el sur de Inglaterra; Normandía; pasó a unos 30 km al norte de París, por el sur de Bélgica y por Luxemburgo; atravesó Munich y siguió por Austria, Hungría, Rumanía (en concreto por Bucarest), Bulgaria, Mar Negro y Turquía; y acabó mas allá de la India. A pesar de que el eclipse no se vio como total desde la Península Ibérica, el disco solar se llegó a ocultar hasta en un 80% en la zona norte. En las islas Canarias, al estar mucho más al sur, sólo se ocultó en torno al 35% del Sol. Dos hechos convirtieron este eclipse en único: fue el último eclipse total de Sol del milenio y, con toda seguridad, el eclipse con mayor número de espectadores en toda la historia de la humanidad, pues atravesó una de las zonas más pobladas del planeta.

Rumbo a Turquía

Los eclipses de Sol tienen múltiples aprovechamientos astronómicos, que han ido variando a lo largo del tiempo, y son numerosas las expediciones astronómicas que se desplazan siempre a estudiar el Sol desde la línea de totalidad. El investigador del IAC Miquel Serra-Ricart, que ya organizó la expedición Shelios '98 (ver IAC Noticias 1998, Págs. 62-63), estuvo

al frente de la expedición Shelios '99, que contó también con el patrocinio de Banesto. El principal objetivo de la Shelios '99 fue llegar a las cercanías de la ciudad de Kastamonu, en Anatolia Central, a unos 175 km al noroeste de la capital turca, Ankara, desde donde el equipo de astrónomos del IAC llevó a cabo observaciones de la corona solar dentro del proyecto de ámbito europeo TECONet 99: a Trans-European Coronal Observing Network. El objetivo era realizar observaciones polarimétricas de la corona en luz blanca y obtener datos que permitirán determinar parámetros de la estructura de la corona, como la densidad electrónica y el grado de polarización, y mejorar nuestra comprensión de una región tan compleja y dinámica. Fenómenos como el viento solar y las expulsiones de masa coronal tienen lugar en esta zona del Sol; profundizar en su conocimiento nos ayudará también a avanzar en el campo de las relaciones Sol-Tierra.

La expedición salió de Tenerife el día 29 de julio, para partir definitivamente hacia Turquía el día 31 desde el Museo Marítimo de Barcelona. Además del patrocinio de Banesto, Shelios'99 contó con la colaboración de BMW Ibérica. El equipo atravesó Centroeuropa en seis autocaravanas con material astronómico y dos globos aerostáticos.

Fue una experiencia única y un atractivo reto, pues se trataba de coordinar las habilidades y esfuerzos de 28 personas en facetas dispares aunque complementarias como la astronomía, la comunicación del evento a través de



A la izquierda, vuelo cautivo ante el Museo Marítimo de Barcelona, antes de partir. A la derecha, la caravana a su paso por Bulgaria, en torno al 7 de agosto. (Fotos: Shelios).



Internet, radio, prensa y televisión, la toma de fotografías, vídeo e imágenes CCD, el manejo de los globos aerostáticos y diversas tareas logísticas esenciales. Sin embargo, el interés y el éxito del viaje radicarán fundamentalmente en su triple carácter: divulgativo, aventurero y científico.

Divulgación

La labor de divulgación científica a lo largo del viaje se concreta en tres áreas: se pronunciaron charlas divulgativas, se realizaron reportajes audiovisuales y, bajo el título de "Ruta del Sol", se organizó un concurso escolar a través de Internet. En varias ciudades del recorrido (Sant Andreu de Llavaneres, Barcelona, Olesa de Montserrat, Figueres, Munich y Bucarest) se pronunciaron conferencias de contenido divulgativo sobre el Sol y sobre la importancia y utilidad de realizar observaciones de su corona durante un eclipse. Los encargados fueron Miquel Serra-Ricart ("Shelios, Expedición Eclipse Total"), Inés Rodríguez Hidalgo ("El Sol, una estrella de película") y Jesús González Green ("La travesía del Atlántico en globo"). En materia audiovisual se tomaron imágenes fotográficas, con cámara CCD y vídeo tanto de la corona solar completa como de mayor resolución espacial de estructuras coronales particulares. Como resultado de la expedición se han editado vídeos y un CD-Rom y, posiblemente, se edite también un libro recogiendo varios aspectos del viaje (convivencia y aventura, divulgación y ciencia). Finalmente y como apartado más importante de la página que la expedición tiene en



Momentos de las charlas impartidas en Barcelona y Bucarest. (Fotos: Shelios)

AÚN ES PRONTO PARA PRESENTAR RESULTADOS DEFINITIVOS, PERO ESTA INICIATIVA ÚNICA DE COORDINACIÓN PERMITIRÁ UNA BUENA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LA DISTRIBUCIÓN SOBRE LA CORONA DE LA DENSIDAD DE ELECTRONES.

Internet (www.shelios.com), se organizó la "Ruta del Sol", un concurso dirigido fundamentalmente a escolares de ESO basado en un mapa interactivo en el que, a través de preguntas actualizadas semanalmente, los participantes podían aprender cosas sobre el Sol, los eclipses y la astronomía.

Resultados científicos

Shelios'99 transportó a Turquía dos experimentos solares en el marco de dos proyectos internacionales: SUN (*Students Understanding Nature*) y TECONet99 (organizado y coordinado por el Grupo de Trabajo N. 7 de JOSO, *Joint Organization for Solar Observations*, dedicado a este eclipse).

El proyecto SUN es una iniciativa de la misión GENESIS de la NASA, de ámbito mundial y a largo plazo, destinado a medir los cambios en la cantidad de energía solar que recibimos por unidad de tiempo en cada unidad de superficie te-



Tres imágenes de la totalidad: el "anillo de diamantes", las protuberancias solares en torno al limbo lunar y la corona interna. (Fotos: Shelios).

restre, llamada *irradiancia solar*. Las medidas son realizadas por dos radiómetros en dos rangos de color o longitud de onda distintos, el visible y el ultravioleta, cada día del año en estaciones de observación situadas preferentemente en colegios e institutos alrededor de todo el mundo. El propósito es estudiar las variaciones de la irradiancia solar y ayudar a determinar su posible influencia sobre el clima terrestre. Este tipo de medidas se llevaron a cabo también durante todo el eclipse, registrando datos con mayor frecuencia temporal. Según Inés Rodríguez Hidalgo, responsable del proyecto científico de Shelios '99, los datos de irradiancia parecen mostrar el comportamiento esperado, con un decrecimiento más acusado de la irradiancia visible, dado que la mayor parte de la emisión ultravioleta del Sol procede de la corona, capa que permanece visible durante el eclipse. Es interesante el comportamiento asimétrico de las curvas de irradiancia antes y después de la totalidad.

La participación en la red de observaciones TECONet99, coordinada también con las observaciones de LASCO y EIT, instrumentos a bordo de SOHO, era el principal propósito científico de la expedición. TECONet99 se ha convertido sin duda en la red de observadores simultáneos de un eclipse con un objetivo científico claro más importante de la historia. Alrededor de 30 puntos de observación repartidos a lo largo de casi toda la línea de totalidad y coordinados por F. Clette, del Departamento de Física Solar del Real Observatorio de Bélgica, habían de proporcionar más de una hora de datos polarimétricos de la corona solar. Los primeros análisis indican que aproximadamente un 50% de las estaciones de observación pudieron obtener datos válidos, con una buena distribución espacial desde Francia a Irán que proporciona una cobertura temporal bastante uniforme a lo largo de 1 hora y 40 minutos.

Aunque la cantidad de datos recopilada por TECONet99 es muy grande y todavía deberán pasar algunos meses para analizar con profundidad cada una de las series de imágenes y conseguir resultados globales, los primeros ya han sido presentados por el coordinador de la red en la Reunión Anual de JOSO el pasado septiembre en Florencia, donde también Inés Rodríguez Hidalgo expuso un informe sobre las observaciones llevadas a cabo durante la expedición.

Las observaciones de TECONet99 fueron realizadas por Inés Rodríguez Hidalgo y Cristina Abajas, y las de SUN, por Jesús Burgos. En el desarrollo de la instrumentación y en la preparación de las observaciones previas también participa-

ron los astrofísicos del IAC Valentín Martínez Pillet, Manuel Vázquez y Antonio Jiménez.

La corona visible en este eclipse mostró numerosas protuberancias en el limbo solar, y una distribución de intensidad bastante simétrica, como era de esperar en un periodo de alta actividad solar. En este caso no se observaron «chorros coronales» de gran longitud (hasta 3 ó 4 veces el radio solar), sino una abrupta caída radial de intensidad hacia 2 radios solares. Por el contrario, una característica peculiar de la corona el pasado 11 de agosto fue la presencia de algunos chorros curvados, fuertemente no radiales, emergiendo de la región del polo Norte solar.

"Ahora que el trabajo sobre los datos obtenidos está en marcha podemos asegurar —señala Inés Rodríguez— que esta iniciativa única de coordinación permitirá, por una parte, una buena determinación cuantitativa de la distribución sobre la corona de la densidad de electrones (responsables de la polarización de la luz observada), que es un parámetro fundamental en los modelos y simulaciones del comportamiento de la corona. Por otra parte, disponer de datos procedentes de diferentes lugares hará posible un estudio dinámico de la corona durante este eclipse. El mejor conocimiento de la corona solar contribuirá a avanzar en nuestro conocimiento del Sol y de su influencia sobre la Tierra".

Otras "expediciones"

La expectación suscitada por este evento astronómico tan singular llevó a miles

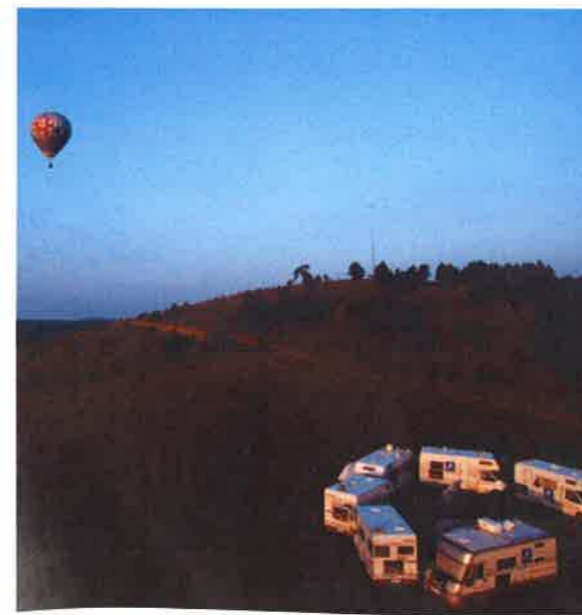
de personas a desplazarse a la línea de totalidad, que esta vez atravesaba en su mayor parte regiones de fácil acceso y muy pobladas. Muchas personas del IAC hicieron coincidir sus vacaciones con la fecha del eclipse para poder disfrutar del espectáculo. Los lugares elegidos fueron el norte de Francia, el sur de Alemania, varios puntos de Austria y el sur de Hungría, donde la probabilidad de tener buen tiempo era mayor.

Así, Luis Manadé y Luis Chinarro pudieron obtener magníficas fotografías de la corona solar y la secuencia del eclipse desde el oeste de Austria, en la región de Salzburgo. Kristof Petrovay, Romano Corradi, Onno Pols y Begoña López Bentacor se desplazaron, junto con varias personas más, al lago Balatón, donde pudieron disfrutar con un tiempo inmejorable de este maravilloso espectáculo de la naturaleza. Otros se trasladaron al norte de Francia, al centro de Alemania, etc. para disfrutar de un evento único como éste, teniendo más o menos suerte con el tiempo, que se mostró inestable en toda Europa Occidental justo en los días en torno al eclipse. John Beckman pudo disfrutar del eclipse volando a bordo del *Concorde*, como ya lo hiciera en 1973, con motivo del eclipse de ese año.

Miembros de la Agrupación Astronómica de Tenerife, entre ellos el astrofísico del IAC Pablo Rodríguez, se desplazaron a Centroeuropa en grupos de dos, repartidos por cinco localidades del continente y abarcando miles de kilómetros desde Plymouth (Inglaterra) hasta Rîmnicu-Vilcea (Rumanía), pasando por Metz (Francia), Stuttgart (Alemania) y el Lago Balatón (Hungría).



Dos hitos en el recorrido: arriba, la parada ante el castillo de Bran, en Transilvania, residencia de verano del Conde Drácula, y abajo, el paso por Estambul. (Fotos: Shelios).



A la izquierda, el campamento y uno de los globos en vuelo en los alrededores de Kastamonu. A la derecha, preparando los instrumentos para la observación. (Fotos: Shelios).

I SOLSPA EUROCONFERENCE
 Santa Cruz de Tenerife, 25 - 30 September 2000

**THE SOLAR CYCLE
 AND TERRESTRIAL CLIMATE**

INVITED SPEAKERS

F. Moreno Inerillo
 D. R. White*
 G. Schmidtke
 S. Solanki
 M. Lockwood
 A. Frazin (IAS)
 S. Solis
 H. Yoshimori
 P. Jones
 J. H. Christy
 J. Hansen
 C. Prather
 J. K. Ogora
 U. Cousteau*
 W. Soon
 J. F. Scudlark
 E. Pariser
 * IAS = IPSO/IAS

CONTACTS

website
<http://www.iac.es/project/solspa/index.html>
 e-mail
solspa2000@iac.es
 fax
 34 922 605 210

SCIENTIFIC ORGANIZING COMMITTEE

B. Schmieder (France, Co-chair)
 M. Vazquez (Spain, Co-chair)
 P. N. Brandt (Germany)
 G. Cauzzi (Italy)
 E. Dally (ESA)
 B. Fleck (ESA)
 E. Friis-Christensen (Denmark)
 M. Noguera (IPCC)
 R. Marsden (ESA)

LOCAL ORGANIZING COMMITTEE

M. Vazquez (Chair)
 J. de Araoz Vicini
 L. R. Bellot Rubio
 J. A. Bonet
 A. El-Darwich
 A. Jimenez
 T. Karthaus
 Y. Martinez Piliel
 N. Gonzalez Joraa
 I. Rodriguez Hidalgo

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@ll.iac.es
 WWW Home Page: <http://www.iac.es/home.html>
 Ftp: [iac.es](http://www.iac.es)

Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)

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

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
 WWW Home Page: <http://www.iac.es/orm/orm/htm>

PRÓXIMOS CONGRESOS:

- "The Solar Cycle & Terrestrial Climate". Santa Cruz de Tenerife, 25-29 de septiembre de 2000.
- "Helio & Asteroseismology at the Dawn of the Millennium". Santa Cruz de Tenerife, 2-6 de octubre de 2000.
- XII Canary Islands Winter School of Astrophysics sobre "Espectropolarimetría en Astrofísica". Santa Cruz de Tenerife, noviembre de 2000.