

Un equipo de investigadores españoles y alemanes, del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), el Instituto de Tecnología de California y el Instituto Max Planck de Astronomía, coordinados por el profesor Rafael Rebolo (IAC/CSIC), ha descubierto en la región de Orión 18 cuerpos de los cuales tres se han confirmado como planetas gigantes aislados. Los planetas detectados tienen una masa entre 5 y 15 veces mayor que la de Júpiter, el mayor planeta del Sistema Solar. Los resultados, publicados por la revista *Science* el pasado 6 de octubre, muestran por primera vez imágenes y espectros de cuerpos con masas planetarias que no están ligados a ninguna estrella. Los *superjúpiter* estudiados flotan libremente en el cúmulo Sigma de Orión, una región muy activa en formación de estrellas, a unos 1.000 años-luz de la Tierra. Se calcula que estos planetas, extraordinariamente jóvenes, tienen una edad de menos de cinco millones de años.

OBSERVAN EL NACIMIENTO DE PLANETAS GIGANTES SOLITARIOS

Las imágenes de estos planetas 'solitarios' han sido obtenidas, en el rango visible, con el telescopio "Isaac Newton", de 2,5 m, emplazado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) del IAC y, en el infrarrojo, con el telescopio de 3,5 metros del Observatorio de Calar

Alto (Almería). La combinación de estos datos permitió identificar una gran concentración de objetos muy poco luminosos, de color extraordinariamente rojizo, en una pequeña región en torno al sistema estelar Sigma de Orión, que hacía previsible que se tratase de planetas gigantes en formación. Posteriormente, los espectros obtenidos con el mayor telescopio del mundo, el "Keck", de 10 m, del Observatorio de Mauna Kea en Hawai, confirmaron estas expectativas.

Aunque desde 1995 se conoce la existencia de cuerpos similares a Júpiter alrededor de estrellas, hasta ahora no se había podido obtener imágenes de estos gigantes, pues su brillo es mil millones de veces más débil que el de las estrellas alrededor de las que orbitan. Los nuevos planetas detectados se encuentran en pleno proceso de contracción -su tamaño se está reduciendo por efecto de su gravedad- e irradian unas diez mil veces más energía que cuando, una vez se estabilicen, alcancen el tamaño de Júpiter.

Aprovechando esta circunstancia, los investigadores iniciaron en 1998 una exploración y un rastreo en busca de planetas gigantes de la región de Orión, bien conocida por albergar numerosas estrellas jóvenes. Los resultados que publicó en octubre la revista *Science* muestran por primera vez imágenes y espectros de cuerpos con masas planetarias que, sin embargo, tienen la particularidad de no encontrarse ligados a ninguna de las estrellas de su entorno.



Localización de los tres "superjúpiter" solitarios en el cúmulo Sigma de Orión. Créditos: Composición artística de G. Pérez (IAC) basada en las imágenes de D. Malin et al. (Anglo-Australian and Royal Edinburgh Observatory), de Vannini et al. (Observatorio del Roque de los Muchachos) y de M.R. Zapatero-Osorio et al. (Observatorio del Roque de los Muchachos y Calar Alto).

Estos *superjúpiter* flotan libremente dentro de un cúmulo de estrellas, pero a distancias suficientemente grandes, que les permiten evitar la atracción gravitatoria de estrellas. De los 18 candidatos detectados, tres han sido ya estudiados con técnicas de espectroscopía y confirmados como objetos gaseosos con temperaturas superficiales de unos 1.500 grados centígrados, que son las esperadas para planetas un poco más masivos que Júpiter en etapas evolutivas muy tempranas.

Para Rafael Rebolo, "el descubrimiento supone un desafío para la teoría. En realidad, no existe una explicación definitiva. Estos cuerpos parecen demasiado numerosos y jóvenes para haberse formado en discos protoplanetarios y haber sido expulsados después como resultado de las colisiones entre las estrellas que poseen esos discos. Es más plausible la idea de que surjan directamente de la fragmentación y el colapso de las nubes de gas, un proceso que quizá ocurra en tan sólo unos pocos millones de años". Sin embargo, este mecanismo de fragmentación también plantea dificultades desde el punto de vista teórico a la hora de explicar la formación de cuerpos con una masa tan cercana a la de Júpiter y, por tanto, está pendiente una explicación definitiva para su existencia.

"Los objetos que hemos detectados en Orión se enfriarán progresivamente

-afirma Víctor Sánchez Béjar, miembro del equipo del IAC- y en unos cientos de millones de años tendrán temperaturas superficiales de 0 a 100 grados centígrados". Según María Rosa Zapatero Osorio, astrofísica del IAC y actualmente en el Instituto de Tecnología de California- estos cuerpos nunca desarrollarán zonas rocosas y seguirán enfriándose indefinidamente, hasta alcanzar temperaturas similares a las de Júpiter".

Aún es pronto para saber cuántos de estos planetas gigantes puede haber en nuestra galaxia, aunque si la estadística observada en Orión fuese representativa de toda la Vía Láctea, habría cientos de millones de *superjúpiter* aislados poblando el espacio interestelar. Según los participantes en el estudio, todo apunta a que podrían ser tan numerosos como las estrellas de tipo solar. En la vecindad del Sol (en un radio de 20 años-luz) podría haber 30 ó 40. Su descubrimiento supone un desafío para las actuales tecnologías, pero una vez detectados en exploraciones profundas del cielo, en el rango del infrarrojo medio, su análisis detallado se efectuaría con telescopios de 10 metros, como el Gran Telescopio Canarias, que será instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos y que comenzará su operación científica a principios de 2004.

INVESTIGADORES:

- María Rosa Zapatero Osorio (IAC).
- Víctor Sánchez Béjar (IAC).
- Eduardo Martín (Instituto de Tecnología de California-Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawaii).
- Rafael Rebolo (IAC-CSIC).
- David Barrado y Navascués (Instituto Max Planck de Astronomía-Universidad Autónoma de Madrid).
- Coryn Bailer-Jones (Instituto Max Planck de Astronomía).
- Reinhard Mundt (Instituto Max Planck de Astronomía).



Telescopio "Isaac Newton", de 2,5 m, perteneciente al Isaac Newton Group e instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Con él se han obtenido las imágenes en el rango visible de los planetas "solitarios".

SWIRE es un proyecto para el cartografiado de gran campo extragaláctico con el satélite infrarrojo SIRTf y forma parte del programa de Legado Científico de este satélite, el último de los llamados grandes observatorios de la NASA y una de las primeras misiones del programa "Orígenes" de esta agencia norteamericana, que será lanzado al espacio el 15 de julio de 2002. Ismael Pérez-Fournon, investigador del IAC, es uno de los científicos que participan en esta colaboración internacional y que cuenta con una importante contribución europea.

"SWIRE", EL MAYOR PROYECTO DEL LEGADO CIENTÍFICO DE "SIRTf"

"LOS PROYECTOS LLAMADOS DE LEGADO CIENTÍFICO DEBEN SER INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS GRANDES Y COHERENTES QUE NO SEAN REPRODUCIBLES POR LA SUMA DE OTROS PROYECTOS INDIVIDUALES; DEBEN DAR LUGAR A BASES DE DATOS DE IMPORTANCIA GENERAL Y DURADERA PARA UNA COMUNIDAD AMPLIA Y LOS DATOS QUE SE OBTENGAN PASARÁN A FORMAR PARTE DEL ARCHIVO PÚBLICO DE SIRTf INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LAS OBSERVACIONES."

ISMAEL PÉREZ-FOURNON (ULL/IAC)

El Centro Científico del satélite infrarrojo SIRTf (*Space InfraRed Telescope Facility*) de NASA anunció el día 17 de noviembre del pasado año cuáles serían los proyectos científicos seleccionados para formar parte del programa de Legado Científico de SIRTf, un total de seis proyectos que utilizarán unas 3.160 horas de observación con SIRTf, aproximadamente el 50 por ciento del tiempo de observación en el primer año de esta misión, para llevar a cabo investigaciones científicas grandes y coherentes. Los datos procesados darán lugar a grandes bases de datos que estarán disponibles de forma inmediata tras las observaciones para su explotación científica y servirán para una gran variedad de proyectos y para planear futuras observaciones con SIRTf y otros telescopios.

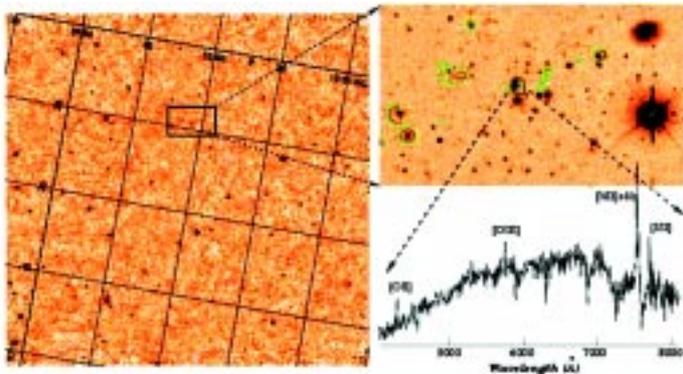
Astronomía infrarroja

La astronomía en el rango infrarrojo ha experimentado un avance espectacular en la última década, conocida como la «dé-

cada del infrarrojo». En estos años hemos visto el desarrollo de instrumentos infrarrojos dotados de detectores de gran tamaño y numerosos descubrimientos realizados con el Observatorio Espacial Infrarrojo (ISO) de la Agencia Espacial Europea. El siguiente satélite para observaciones en el rango infrarrojo es el proyecto SIRTf de la NASA, que fue considerado a principios de los años 90 por el Consejo Nacional de Investigaciones de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos como la «más alta prioridad para un nuevo e importante programa en astronomía espacial». SIRTf es el último satélite de la serie de Grandes Observatorios de la NASA, constituida también por el telescopio espacial "Hubble" (HST), el observatorio de rayos gamma "Compton" (CGRO) y el Observatorio de rayos X "Chandra" (CXO). SIRTf forma parte también del programa «Orígenes» de la NASA.

Nuevo telescopio infrarrojo espacial

SIRTf presenta una serie de características que le distinguen de otros telescopios espaciales en el rango infrarrojo. El telescopio es de 85 cm de diámetro, enfriado a menos de 5,5 K, y sus detectores son muy avanzados y de gran campo. Otra diferencia de SIRTf con respecto a otros telescopios anteriores es que sigue una órbita heliocéntrica, a una velocidad de 0,1 unidades astronómicas por año. Esta órbita ha permitido reducir la cantidad necesaria de refrigerante (helio líquido) y a su vez reduce las limitaciones de apuntado que presentan los telescopios con órbita alrededor de la Tierra. SIRTf ha sido diseñado para ser unas 1.000 veces más sensible que los telescopios terrestres que observan en el rango infrarrojo del espectro. Será capaz de observar zonas amplias de cielo a niveles muy profundos permitiendo llevar a cabo una gran cantidad de proyectos. Los instrumentos de SIRTf, las cámaras IRAC y MIPS y el espectrógrafo IRS, permitirán obtener imágenes en el rango



A la izquierda: imagen del campo Lockman a 15 micras obtenida con la cámara ISOCAM del satélite ISO. En la parte superior derecha: imagen en la banda I de una pequeña zona del campo anterior (los contornos corresponden a los datos de ISOCAM). En la parte inferior derecha: espectro de una de las galaxias ISOCAM obtenido con el espectrógrafo multi-objeto WYFFOS en el telescopio "William Herschel", del Observatorio del Roque de los Muchachos.

de 3 a 180 micras y espectros entre 5 y 100 micras.

Legado Científico

El proyecto SIRTf decidió dedicar una gran parte del tiempo de observación en los primeros años de funcionamiento del telescopio a grandes proyectos para facilitar la creación de bases de datos que permitan, por un lado, una explotación científica rápida de las observaciones por toda la comunidad internacional y, por otro, una ayuda muy valiosa en la preparación de proyectos de observación con SIRTf. Estos proyectos, llamados de *Legado Científico*, deben ser investigaciones científicas grandes y coherentes que no sean reproducibles por la suma de otros proyectos individuales; deben dar lugar a bases de datos de importancia general y duradera para una comunidad amplia y los datos que se obtengan, tanto los originales como los reducidos, pasarán a formar parte del archivo público de SIRTf inmediatamente después de las observaciones, permitiendo observaciones de seguimiento con SIRTf y otros telescopios.

El Centro Científico de SIRTf recibió 28 propuestas de proyectos de Legado Científico en septiembre de 2000 y procedió en los dos meses posteriores a la selección de proyectos, que fue anunciada el 17 de noviembre del mismo año. Los seis proyectos seleccionados cubren una gran variedad de programas científicos, desde el estudio de la formación y evolución de sistemas planetarios, hasta estudios del Universo lejano y de distribución y evolución de las galaxias en todas las épocas cósmicas.

SWIRE

El proyecto de Legado Científico al que se le asignó la mayor cantidad de tiempo de observación, 851 horas, es el proyecto SWIRE (*The SIRTf Wide-area InfraRed Extragalactic Survey*), liderado por la Dra. Carol Lonsdale, del Centro de Procesamiento y Análisis Infrarrojo (IPAC) de la NASA en Pasadena (California) y formado por una colaboración internacional con importante contribución europea, que incluye al investigador del IAC Ismael Pérez-Fournon.

SWIRE va a llevar a cabo un cartografiado de gran área (unos 100 grados cuadrados en varias zonas del cielo de latitud galáctica alta y baja emisión de «cirros» en el infrarrojo lejano) con los instrumentos IRAC y MIPS de SIRTf. El objetivo científico principal es el estudio de la evolución de galaxias con formación estelar, galaxias con poblaciones estelares evolucionadas y galaxias activas hasta desplazamientos al rojo de 2,5. Se espera detectar del orden de 2 millones de galaxias seleccionadas en el infrarrojo. Los campos

Legacy del proyecto SWIRE constituirán en la próxima década las mayores zonas de cielo con observaciones profundas en prácticamente todos los rangos del espectro y formarán la base de los futuros estudios de gran campo extragalácticos con el satélite para el infrarrojo lejano y ondas submilimétricas FIRST de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Acuerdos de cooperación

Las observaciones preparatorias de los proyectos de Legado Científico del satélite SIRTf con grandes telescopios desde tierra ya están en marcha. La NASA ha llegado a un acuerdo con el Observatorio Astronómico Óptico Nacional (NOAO) de Estados Unidos por el cual los proyectos *Legacy* tienen tiempo de observación garantizado en los telescopios de los observatorios de NOAO, el observatorio de Kitt Peak en Arizona y el de Cerro Tololo en Chile. El Observatorio Europeo Austral (ESO) ha expresado también su decisión de apoyar a los proyectos de Legado Científico de SIRTf con tiempo de observación en sus telescopios en Chile, incluyendo los cuatro telescopios de 8m de diámetro que constituyen el *Very Large Telescope* (VLT). Es previsible y esperable que también el Observatorio Norte Europeo participe en los proyectos de preparación y seguimiento de los estudios de Legado Científico de SIRTf.

Algunos de los campos seleccionados para ser observados con SIRTf en el proyecto SWIRE ya han sido observados con el ISO y las galaxias infrarrojas detectadas se están estudiando con telescopios desde tierra. De igual forma, las observaciones con SIRTf formarán la base de futuros estudios, a longitudes de onda más largas, con el satélite para el infrarrojo lejano y ondas submilimétricas FIRST (*Far-Infrared and Submm Space Telescope*) de la Agencia Espacial Europea. España participa en FIRST como miembro de ESA, además de tomar parte en la construcción de sus tres instrumentos. Los proyectos de Legado Científico de SIRTf, y en particular el proyecto SWIRE, proporcionarán la base de nuevos estudios que se podrán abordar sólo con grandes telescopios en tierra como el Gran Telescopio Canarias (GTC), que será instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma.

Proyectos de Legado Científico de SIRTf

- *The SIRTf Galactic Plane Survey*
- *GOODS (The Great Observatories Origins Deep Survey)*
- *From Molecular Cores to Planet-Forming Disks*
- *The SIRTf Nearby Galaxies Survey (SINGS): Physics of the Star-Forming ISM and Galaxy Evolution*
- *The SIRTf Wide-area InfraRed Extragalactic Survey (SWIRE)*
- *The Formation and Evolution of Planetary Systems: Placing Our Solar System in Context*

"EL PRINCIPAL OBJETIVO CIENTÍFICO DE SWIRE ES EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE GALAXIAS CON FORMACIÓN ESTELAR, GALAXIAS CON POBLACIONES ESTELARES EVOLUCIONADAS Y GALAXIAS ACTIVAS HASTA DESPLAZAMIENTOS AL ROJO DE 2,5. SE ESPERA DETECTAR DEL ORDEN DE 2 MILLONES DE GALAXIAS SELECCIONADAS EN EL INFRARROJO."

Páginas WEB relevantes:

WEB del Centro Científico del satélite SIRTf (SSC):
<http://sirtf.caltech.edu/>

WEB sobre SIRTf en español:
<http://ipac.jpl.nasa.gov/SIRTfspanish/index.html>

Anuncio de la selección de los programas de Legado Científico del satélite SIRTf:
http://sirtf.caltech.edu/SciUser/A_GenInfo/SSC_A1_Legacy_Selection.html

Programa "Orígenes" de NASA
<http://origins.jpl.nasa.gov/>

WEB educativa sobre astronomía infrarroja en español
<http://ipac.jpl.nasa.gov/SIRTfspanish/edu.html>

Un equipo internacional de astrofísicos franceses, norteamericanos y españoles, entre los que se encuentran miembros del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), ha descubierto una de las estrellas más cercanas a nuestro Sistema Solar. El hallazgo ha sido posible gracias al estudio de los datos contenidos en el cartografiado infrarrojo DENIS (*Deep Near-Infrared Survey*), que utiliza un telescopio de 1m del Observatorio Europeo Austral, en Chile, y el telescopio Keck I, de 10m de diámetro, del Observatorio de Hawai. Siguiendo las normas de la Unión Astronómica Internacional, el nuevo cuerpo celeste ha sido bautizado como DENIS-P J104814.7-395606.1, y su descubrimiento será publicado en febrero de 2001 en la revista especializada *Astronomy and Astrophysics Letters*.

LA ESTRELLA MÁS PEQUEÑA DE LA VECINDAD SOLAR

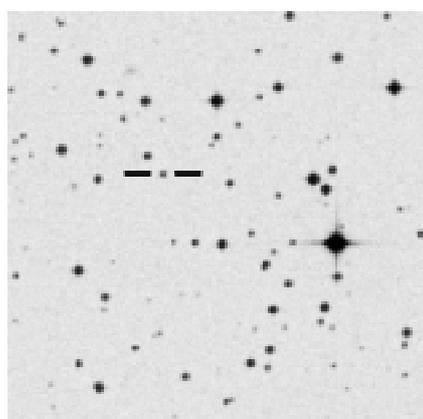
LOS ASTRÓNOMOS ESTIMAN QUE SU DISTANCIA A NOSOTROS ES DE UNOS 13 AÑOS LUZ, AUNQUE ESTA CIFRA ES AÚN INCIERTA POR ESTAR BASADA EN COMPARACIONES CON OTROS OBJETOS DEL MISMO TIPO ESPECTRAL. DENIS-P J104814.7-395606.1 SE ENCUENTRA ENTRE LA 12ª Y LA 40ª ESTRELLA MÁS CERCANA AL SISTEMA SOLAR.

El interés por estudiar las estrellas más cercanas a nosotros radica en que nos permiten conocer con gran fiabilidad las diferentes poblaciones estelares de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Estas estrellas, al ser cercanas, resultan más brillantes que las estrellas similares situadas a mayor distancia, de modo que pueden detectarse y observarse con mayor detalle. De este modo podemos saber con más precisión cómo se han formado las estrellas en nuestra vecindad y extrapolar este conocimiento al resto de nuestra galaxia. Por este motivo, los astrónomos están dedicando grandes esfuerzos a la búsqueda de estrellas de nuestro entorno galáctico, y el ejemplo más reciente de un resultado de este trabajo es DENIS-P J104814.7-395606.1, un objeto de masa inferior a

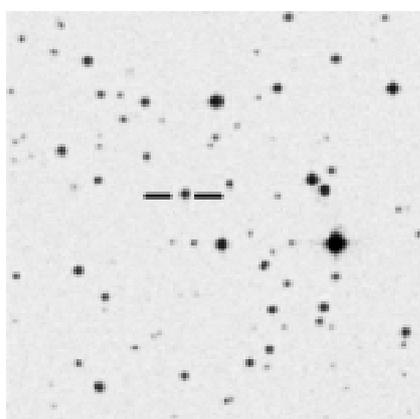
la décima parte de la masa solar y que se encuentra a una distancia de sólo 13 años luz del Sol (*Próxima Centauri*, la estrella más cercana al Sol, se encuentra a 4 años luz).

Historia de un descubrimiento

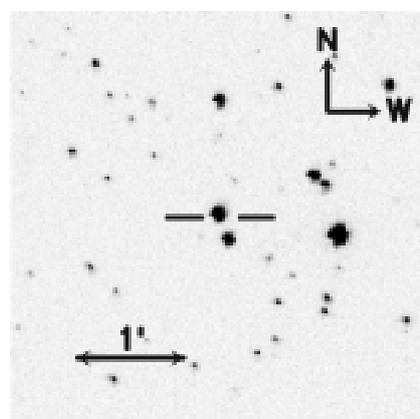
DENIS-P J104814.7-395606.1 fue descubierto la primavera pasada, cuando Xavier Delfosse, (entonces astrónomo del IAC y actualmente en el Observatorio de Grenoble, Francia), y Thierry Forveille (*Canada-France-Hawaii Research Corporation*), analizaban las imágenes de DENIS, pudiendo identificar un objeto muy rojo y relativamente brillante. Con el cartografiado DENIS se han encontrado muchos objetos rojos (incluidas algunas de las primeras ena-



SRC J: 1975.364



ESO R: 1986.118



DENIS I: 1999.113

Imágenes de una misma zona del cielo en tres fechas distintas; se puede apreciar el movimiento de la estrella señalada en relación al fondo de estrellas.

nas marrones), pero éste era particularmente brillante. En un primer momento, se barajaban dos hipótesis: un objeto de muy baja masa cercano o una estrella gigante roja muy lejana.

Para descartar esta segunda posibilidad, se recurrió al estudio espectroscópico del objeto con el fin de aplicar diversas pruebas. Delfosse y Forvielle junto con Eduardo Martín, astrónomo doctorado en el IAC que actualmente trabaja en el Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawai, han estudiado a lo largo de los últimos cuatro años la naturaleza de candidatas a enanas marrones encontradas con DENIS y, junto con otros colaboradores, han propuesto una nueva clasificación de estrellas extremadamente frías (tipo L). En 1993, Eduardo Martín fue uno de los astrónomos del grupo de Rafael Rebolo (IAC/CSIC) que idearon una prueba espectroscópica que permite distinguir entre estrellas de muy baja masa y enanas marrones, la denominada "prueba del litio", que se ha aplicado desde entonces para confirmar la naturaleza de muchas candidatas a enana marrón.

La noche del 30 de mayo de 2000, Martín apuntó el telescopio óptico más grande del mundo, el Keck I, de 10m del Observatorio Mauna Kea, en Hawai, al objeto identificado con DENIS. Consiguió un espectro de alta resolución que indicaba la presencia de intensas líneas de absorción de cesio y de óxido de titanio, pero no había rastro de litio en el espectro del objeto. La presencia de cesio descartaba definitivamente la posibilidad de una gigante roja. La ausencia de litio en los datos del Keck indicaban, por tanto, que debía tratarse de una estrella enana muy cercana con una masa entre 0,09 y 0,06 veces la masa del Sol, aunque no descartaba que pudiera tratarse de una enana marrón (el límite entre una estrella y una enana marrón está en unas 0,07 masas del Sol). Una estrella enana es un tipo de estrella común como nuestro Sol y que no tiene relación con las enanas marrones. La diferencia fundamental entre una enana marrón y una estrella es que la enana marrón es una subestrella en la que la falta de masa no ha permitido que en su interior tengan lugar las reacciones termonucleares típicas de una estrella.

Una estrella enana muy cercana debería presentar un movimiento aparente con respecto al fondo de estrellas más lejanas. Así, Jean Guibert y Françoise

Crifo, del Observatorio de París (Francia), buscaron a DENIS-P J104814.7-395606.1 en placas fotográficas antiguas y la encontraron en imágenes obtenidas hace 25 años, pudiendo determinar que ha registrado un desplazamiento considerable entre 1986 y 1999. Este amplio movimiento propio (de 1,5 segundos de arco anuales) confirma que se trata de una de nuestras vecinas más cercanas. Los astrónomos estiman que su distancia a nosotros es de unos 13 años luz, aunque esta cifra es aún incierta por estar basada en comparaciones con otros objetos del mismo tipo espectral. DENIS-P J104814.7-395606.1 se encuentra entre la 12ª y la 40ª estrella más cercana al Sistema Solar.

¿Cómo es posible que una estrella tan cercana no se haya descubierto antes? A pesar de su cercanía, su poca masa hace que sea un objeto débil y frío. Las estrellas frías y las enanas marrones han pasado hasta ahora inadvertidas a los astrónomos, especialmente en el Hemisferio Sur, que no se ha estudiado tan sistemáticamente como el Hemisferio Norte. Ahora, el cartografiado infrarrojo DENIS, dedicado especialmente a estudiar el cielo del Hemisferio Sur, permite identificar este tipo de objetos, y pronto contará con un censo de estrellas de muy baja masa y enanas marrones de la vecindad solar. DENIS-P J104814.7-395606.1 es el objeto más brillante de su tipo espectral, por lo que constituye un punto de referencia para futuros estudios de estrellas de muy baja masa y enanas marrones.

INVESTIGADORES:

- Xavier Delfosse
(IAC/Obs. de Grenoble, Francia)
- Thierry Forvielle
(Canada-France-Hawaii Telescope Corporation/
Obs. de Grenoble, Francia)
- Eduardo Martín
(Univ. De Hawai, EEUU)
- Jean Guibert
(INSU/Obs. de París, Francia)
- Jean Borsenberger
(Inst. de Astrofísica de París, Francia)
- Françoise Crifo
(Inst. de Astrofísica de París, Francia)
- Christophe Alard
(Obs. de París, Francia)
- Nicolas Epchtein
(Obs. de Niza, Francia)
- Pascal Fouque
(Obs. de París, Francia/ ESO, Chile)
- Guy Simon
(Obs. de París, Francia)
- Françoise Tajahmady
(INSU/Obs. de París, Francia)

**DENIS-P
J104814.7-395606.1
ES EL OBJETO MÁS
BRILLANTE DE SU TIPO
ESPECTRAL, POR LO
QUE CONSTITUYE UN
PUNTO DE REFERENCIA
PARA FUTUROS
ESTUDIOS DE
ESTRELLAS DE MUY
BAJA MASA Y ENANAS
MARRONES.**

En julio de 2000 y en observaciones realizadas desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, investigadores del IAC comprobaron asombrados la desintegración repentina del cometa C/1999 S4 (LINEAR). Este cometa nunca llegó a ser tan brillante como se esperaba y mostró un comportamiento singular durante su aproximación al Sol. Aunque es posible que el cometa LINEAR fuese simplemente un cometa atípico, su desintegración ha ofrecido por primera vez la oportunidad de estudiar con detalle la estructura de un núcleo cometario.

C/1999 S4 LINEAR: la muerte de un cometa

MARK KIDGER (IAC)

El cometa C/1999 S4 (LINEAR) fue descubierto el 27 de septiembre de 2000 con el Telescopio LINEAR de las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos y del Laboratorio Lincoln. Al ser relativamente brillante ($V \approx 16$) y hallarse a una distancia heliocéntrica elevada ($r \approx 4,3 \text{ UA}$) existían fundadas esperanzas de que pudiera ser fácilmente visible a simple vista. Sin embargo, el cometa mostró una serie de anomalías importantes durante su aproximación al Sol. Aunque se trataba de un

objeto nuevo, recién llegado de la nube de Oort, el brillo del cometa aumentó lentamente. También mostró una serie de pequeños estallidos, en algunos casos con desprendimiento de fragmentos. A la vez, se puso de manifiesto que las fuerzas no gravitatorias que actuasen sobre el cometa –las llamadas “fuerzas chorro”, ya que suelen deberse al impulso de los chorros salientes del núcleo– eran extraordinariamente grandes, a pesar de que el cometa no mostró chorros activos tal como se aprecia en la imagen del cometa obtenida en la banda U con el telescopio “Jacobus Kapteyn” (JKT), del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), el 23 de julio. La magnitud de las fuerzas no gravitatorias puede explicarse si el diámetro del núcleo fuese muy pequeño, del orden de 200 a 300 m, antes de fragmentarse.

La fragmentación del núcleo

Durante un seguimiento rutinario con el JKT se detectó la fragmentación total del cometa. El día 24 de julio, el aspecto del cometa era todavía totalmente normal, pero la noche del 25 de julio se vio que la condensación nuclear del cometa estaba muy deformada y alargada en la dirección antisolar. Los contornos de la imagen señalaban el grado de deformación que indicaba una disrupción total del núcleo sin que existiese ningún sub-núcleo grande.

Al mismo tiempo, el brillo del cometa se redujo en un factor de aproximadamente 5 en 24 horas. Esta rotura del núcleo del cometa fue confirmada el día 26 por Javier Licandro y colaboradores, con el Telescopio Nacional “Galileo”, de 3,5 m, del ORM. El desplazamiento de unos 25 segundos de arco (7.500 km) del centro de brillo del cometa en dirección antisolar observado en las imágenes del día 27 permitió calcular que la velocidad de expansión era de unos 20 m/s, lo que demostraba que la “nube de escombros” estaba compuesta

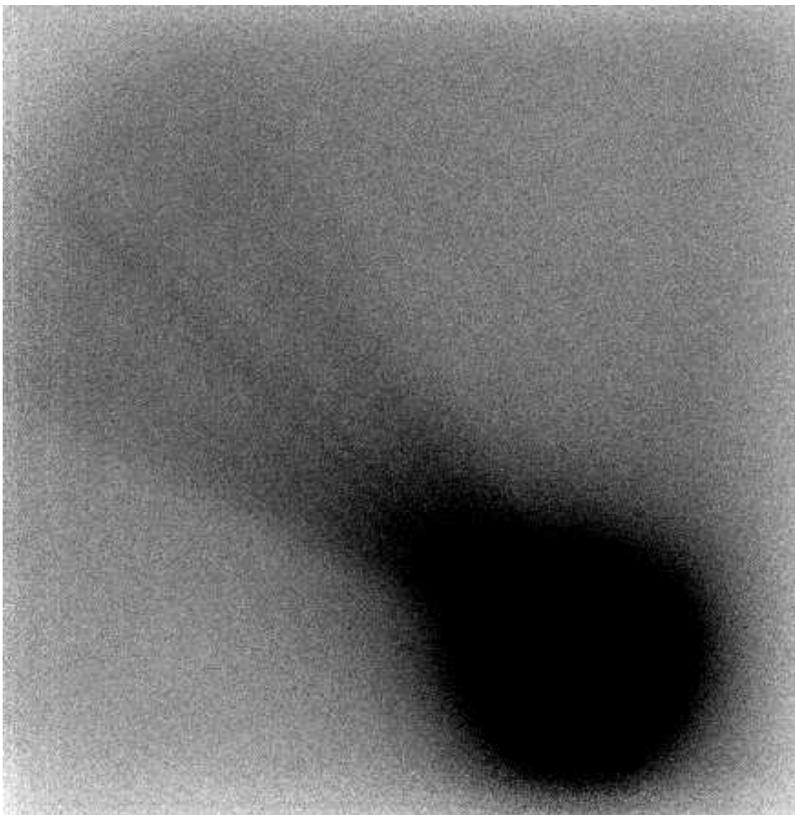


Imagen negativa del cometa C/1999 S4 obtenida el 23 de julio con el telescopio “Jacobus Kapteyn” (JKT), en el Observatorio del Roque de los Muchachos.

por materia sólida y que constituía la mayor parte de la masa del núcleo.

El día 1 de agosto se realizaron dos exposiciones profundas del cometa con el Telescopio "Isaac Newton" (INT), del ORM, sin que se detectase claramente ningún fragmento del núcleo. Estas imágenes impusieron unos límites muy restrictivos sobre la magnitud absoluta y el tamaño de los posibles subnúcleos. Suponiendo unos colores solares y una ley de cuarta potencia, la magnitud absoluta de cualquier fragmento del núcleo sería de $H_v > 25.0$, con un radio máximo correspondiente para fragmentos activos de hielo de 40 cm. Sub-núcleos de composición rocosa y sin sublimación de volátiles podrían tener un radio de 80 m para un albedo del 5%.

Estas imágenes muestran la presencia de una estructura parecida a la punta de una lanza. También se detectó esta estructura en las imágenes anteriores del JKT obtenidas hasta el 31 de julio, dando lugar a la predicción, publicada posteriormente en la Circular Número 7473 de la IAU (Unión Astronómica Internacional), de que deberían detectarse fragmentos muy débiles del núcleo en esta posición, lo que pudo confirmarse con las imágenes obtenidas el 8 de agosto con el telescopio espacial "Hubble" y el *Very Large Telescope* (VLT) (Weaver et al.: 2000, IAUC 7476). Estas observaciones indicaron que la magnitud del fragmento de mayor tamaño era de $R \approx 24$ (aunque los fragmentos mostraron una variabilidad considerable), correspondiente a $H_v \approx 27$. Aunque existe un gran debate acerca del tamaño de los fragmentos observados, la mayoría de los expertos creen que no podrían ser mayores que

unas pocas decenas de metros en diámetro y, por tanto, representan menos del 1% de la masa inicial del núcleo.

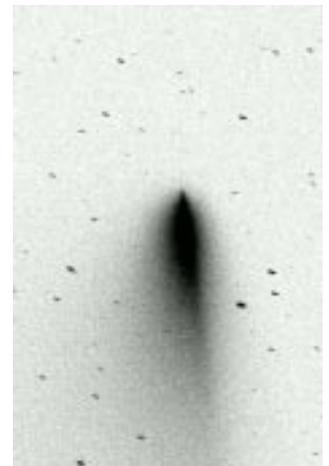
Aunque el comportamiento del cometa LINEAR ha sido muy atípico en muchos sentidos, las observaciones de la rotura de su núcleo son consistentes con el modelo que propone que el núcleo de un cometa, lejos de ser un cuerpo sólido tal y como lo contempló Whipple en los años 50, se ajusta más al modelo que propone que está formado por una masa de escombros. Para un cometa típico los tamaños van desde unos metros o menos de diámetro hasta tal vez kilómetros, todos sostenidos por una matriz, probablemente de hielo. Las observaciones del cometa LINEAR permitirán conocer los tamaños de los bloques que formaron su núcleo.

Obtención y reducción de las imágenes:

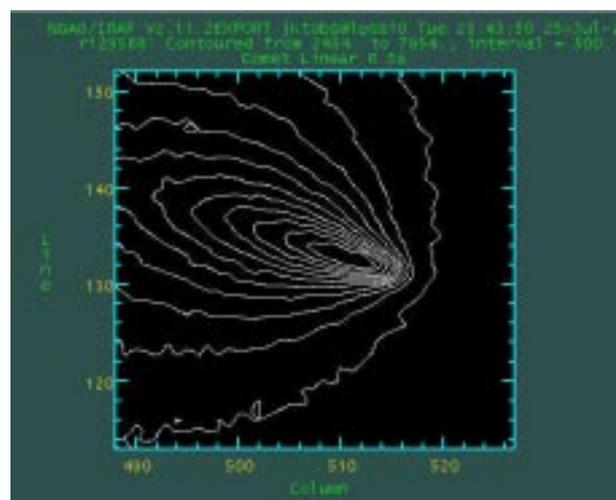
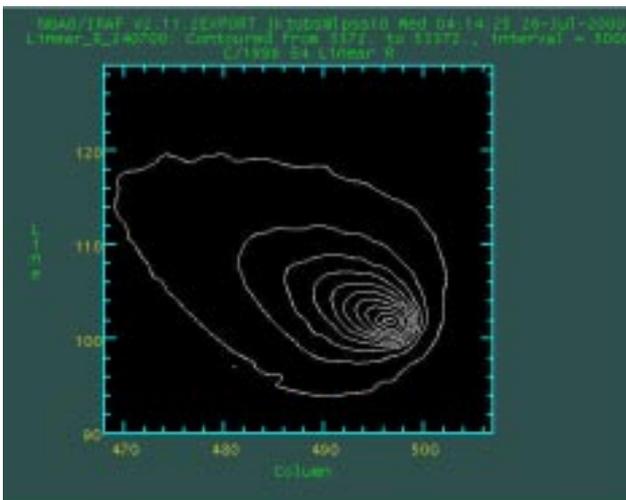
-Telescopio "Jacobus Kapteyn".
del Isaac Newton Group.
Observaciones y procesado: Mark Kidger
-Telescopio "Isaac Newton",
del Isaac Newton Group.
Observaciones: Romano Corradi y
Neil O'Mahoney.
Reducción y procesado: Mark Kidger.



Imagen del cometa obtenida el 25 de julio con el Telescopio "Jacobus Kapteyn".



Exposición profunda del cometa realizada el 1 de agosto con el Telescopio "Isaac Newton".



En la imagen izquierda, aspecto del cometa el 24 de julio, en que aparece normal. En la imagen derecha, obtenida el día 25 de julio, se muestra la disrupción total del núcleo del cometa.

Durante cada una de sus observaciones, las cámaras EPIC del observatorio de rayos X *XMM-Newton* detectan entre 30 y 200 nuevas fuentes de rayos X en su campo de visión de medio grado de diámetro. Este catálogo de nuevas fuentes crece al ritmo de unas 50.000 por año, por lo que la Agencia Europea del Espacio (ESA) encargó al consorcio *Survey Science Centre* (SSC) su catalogación. El proyecto de tiempo internacional *AXIS* (*An XMM-International Survey*), liderado por Xavier Barcons, Investigador Científico del CSIC en el Instituto de Física de Cantabria, proporciona la espina dorsal de esa tarea, al obtener imágenes con los telescopios de los Observatorios del IAC en el óptico e infrarrojo y espectros de amplias muestras de estas fuentes de rayos X hasta ahora desconocidas.

AVANCES EN EL PROYECTO "AXIS" (*An XMM-Newton International Survey*)

XAVIER BARCONS
(*Instituto de Física de Cantabria,
CSIC-UC*)

XMM-Newton, el mayor observatorio de rayos X en órbita, fue lanzado por la Agencia Espacial Europea (ESA) el 10 de diciembre de 1999. Consta de tres telescopios de rayos X, que recogen y focalizan esta radiación por incidencia rasante, coalineados con un telescopio óptico/ultravioleta (el *Optical Monitor* - OM). La resolución espacial de los telesco-

pios de rayos X es ~15" (anchura que encierra el 90% de la energía) sobre todo su campo de visión de 30' de diámetro. La nitidez con la que *XMM-Newton* es capaz de formar imágenes de rayos X es por tanto sensiblemente inferior a la del observatorio *Chandra* de la NASA, que alcanza 1" cerca del eje óptico. Como contrapartida, *XMM-Newton* posee una superficie efectiva de colección de fotones entre 5 y 30 veces superior a la de *Chandra*. Los rayos X focalizados por los telescopios son recogidos por 3 cámaras CCD (1 en cada telescopio) que constituyen el instrumento *EPIC* (*European Photon Imaging Camera*). En dos de los telescopios, la mitad de la luz es dispersada por un espectrógrafo de reflexión (el *Reflection Grating Spectrograph* -RGS). Los tres instrumentos EPIC, RGS y OM funcionan simultáneamente y proporcionan una completa visión de las fuentes de rayos X estudiadas.

Una de las propiedades más destacables de *XMM-Newton*, y en particular de sus cámaras EPIC, es su gran campo de visión: 30' de diámetro (como la Luna llena). En cada observación que *XMM-Newton* realiza con las cámaras EPIC operando al completo, se detectan entre 30 y 200 nuevas fuentes de rayos X cuya posición entra dentro del campo de visión de EPIC. A lo largo de un año, se espera que el censo de fuentes de rayos X aumente en unas 50.000 (similar al número total de fuentes de rayos X conocidas antes del lanzamiento de *XMM-Newton*), y por tanto en los 10 años de vida que se esperan para este obser-

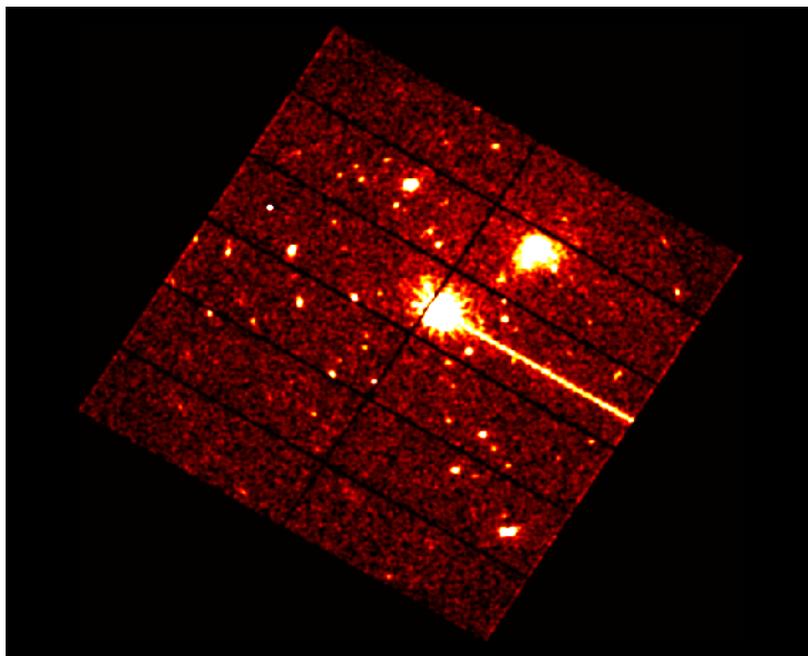


Imagen del campo de la galaxia activa Mkn 205 obtenida por la cámara EPIC pn de *XMM-Newton*, donde se detectan unas 60 fuentes de rayos X además de Mkn 205
(FOTO: ESA)

vatorio se habrán detectado alrededor de medio millón de nuevas fuentes de rayos X. La catalogación e identificación de esa enorme base de datos cuyas posibilidades de explotación científica son inmensas fue encargada por la ESA al consorcio *Survey Science Centre* (SSC), liderado por el Dr. M.G. Watson, de la Universidad de Leicester. El SSC está constituido por nueve centros europeos, entre los que se encuentra el Instituto de Física de Cantabria.

El programa de identificación de esta gran cantidad de fuentes de rayos X está diseñado en dos partes: en primer lugar se identifican completamente (incluyendo espectroscopía óptica y/o infrarroja) amplias muestras de fuentes de rayos X, acudiendo a bases de datos y sobre todo a telescopios ópticos e infrarrojos terrestres; en segundo lugar, se diseña un procedimiento de identificación estadística mediante el cual, basándose en las propiedades (flujos, colores) en rayos X y fotometría óptica e infrarroja, se asignarían a cada nueva fuente de rayos X unas probabilidades de corresponder a uno u otro tipo de fuente astronómica (cuásar,

cúmulo de galaxias, corona estelar, galaxia normal, etc.).

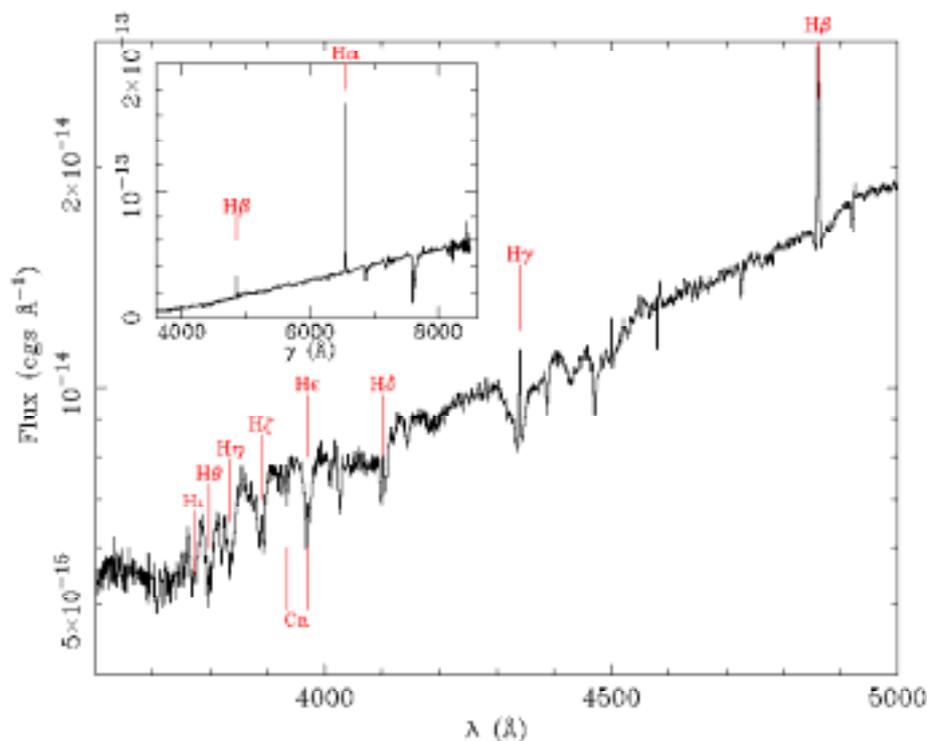
El proyecto AXIS

El proyecto internacional AXIS (*An XMM-International Survey*) constituye la espina dorsal de este programa. El equipo AXIS (en el que participan investigadores de 13 centros europeos incluidos el Instituto de Astrofísica de Canarias, el Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental y el Instituto de Física de Cantabria, que lo coordina) pretende identificar espectroscópicamente entre 1.000 y 1.500 nuevas fuentes de rayos X haciendo uso de un total de aproximadamente 85 noches de observación que el Comité Científico Internacional de los Observatorios del IAC le ha otorgado entre los años 2000 y 2001. Además, pretende obtener imágenes de gran campo en muchas zonas donde *XMM-Newton* realizará sus observaciones.

Específicamente, y en sintonía con la instrumentación disponible en el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM), AXIS pretende identificar cen-

Páginas web de interés:

Proyecto AXIS:
<http://www.ifca.unican.es/~xray/AXIS>
 Observatorio XMM-Newton:
<http://xmm.esa.int>
 Centro de Operaciones Científicas de XMM-Newton:
<http://xmm.vilspa.esa.es>
 XMM-Newton Survey Science Centre (SSC):
<http://xmmssc-www.star.le.ac.uk>

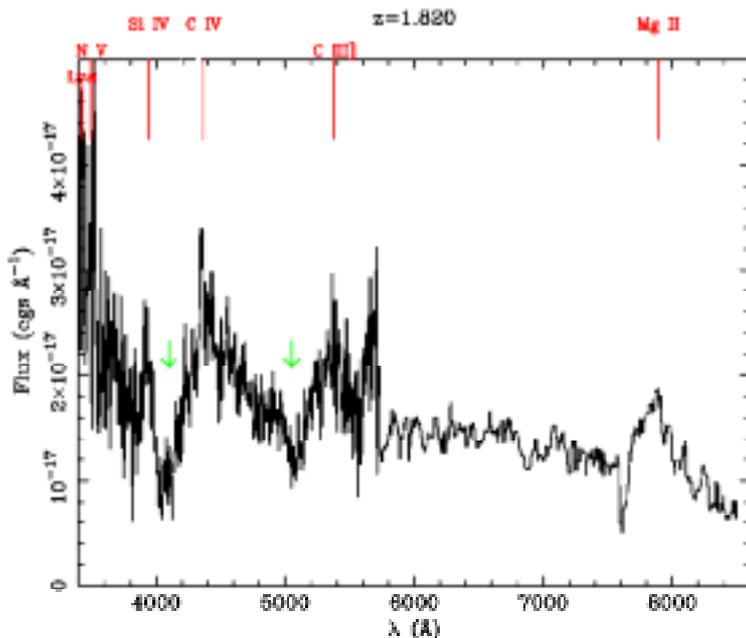


Espectro óptico de la binaria Be+ enana blanca SS397 que se menciona en el texto, obtenido con el espectrógrafo doble ISIS en el telescopio "William Herschel" (WHT), del Observatorio del Roque de los Muchachos.

"EL EQUIPO AXIS PRETENDE IDENTIFICAR ESPECTROSCÓPICAMENTE ENTRE 1.000 Y 1.500 NUEVAS FUENTES DE RAYOS X HACIENDO USO DE UN TOTAL DE APROXIMADAMENTE 85 NOCHES DE OBSERVACIÓN QUE EL COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL DE LOS OBSERVATORIOS DEL IAC LE HA OTORGADO ENTRE LOS AÑOS 2000 Y 2001."

"AXIS HA PODIDO IDENTIFICAR YA LAS PRIMERAS FUENTES DE RAYOS X, ADEMÁS DE COMPROBAR QUE LA ESTRATEGIA E INSTRUMENTACIÓN ELEGIDAS SON LAS ADECUADAS PARA EL PROYECTO. HASTA PRINCIPIOS DE ESTE AÑO SE HAN IDENTIFICADO UN TOTAL DE 78 FUENTES (19 EN EL PLANO GALÁCTICO Y 59 FUERA DE ÉL), SIENDO LAS PRIMERAS FUENTES DESCUBIERTAS POR XMM-NEWTON QUE SE IDENTIFICAN."

tenares de fuentes dentro y fuera del plano de nuestra galaxia. En concreto, a latitudes galácticas altas, donde la población de fuentes de rayos X es predominantemente extragaláctica, se explorarán dos dominios de flujo de rayos X: fuentes más brillantes que 10^{-14} erg cm² s⁻¹ (en la banda de referencia entre 0,5 y 4,5 keV), que constituyen la "muestra media", y fuentes más brillantes que 10^{-13} erg cm² s⁻¹ en la misma banda, que constituyen la "muestra brillante". Hay otra "muestra débil" (flujo límite 10^{-15} erg cm² s⁻¹) que será explorada con telescopios de 8-10 m de diámetro. Además, se identificará también una muestra de fuentes del plano galáctico. Las densidades superficiales de estas muestras hacen apropiado el uso del espectrógrafo de fibras AUTOFIB2/WYFFOS en el telescopio "William Herschel" (WHT), del ORM, para la muestra media y la muestra del plano galáctico, mientras que la muestra brillante se identificará con espectrógrafos de rendija simple como ALFOSC en el telescopio Nórdico Óptico (NOT), del ORM. Las fuentes más rojas o más débiles en las muestras media y galáctica escapan a menudo la identificación con fibras para lo que se utilizará el espectrógrafo doble ISIS en el WHT o el espectrógrafo DOLORES en el telescopio "Galileo" (TNG), del ORM.



Espectro el cuásar de tipo BAL que se menciona en el texto, donde se han señalado las principales líneas de emisión en rojo y las absorciones producidas por el material expulsado desde el propio cuásar en verde.

Finalmente, el telescopio INT se utilizará íntegramente para tomar imágenes de gran campo, usando la WFC para el óptico o CIRS para el infrarrojo cercano. Para aquellas fuentes que escapan a la detección en estos instrumentos, se tomará imagen profunda en el TNG con OIG o DOLORES en el óptico o NICS en el infrarrojo.

Primeros resultados de AXIS

Después de los primeros meses de observación, AXIS ha podido identificar ya las primeras fuentes de rayos X, además de comprobar que la estrategia e instrumentación elegidas son las adecuadas para el proyecto. Hasta principios de este año se han identificado un total de 78 fuentes (19 en el plano galáctico y 59 fuera de él), siendo las primeras fuentes descubiertas por *XMM-Newton* que se identifican.

En el plano galáctico, la mayoría (12) de las fuentes identificadas corresponden a coronas estelares activas. Esto se muestra habitualmente por la presencia de líneas de emisión Balmer y en algunos casos hasta de Ca, H y K. La emisión en rayos X de ese tipo de fuentes se cree producida por su rápida rotación combinada con fuertes y variables campos magnéticos. Al ser *XMM-Newton* mucho más sensible que sus predecesores (por ejemplo *ROSAT*), particularmente a los rayos X duros, se están encontrando casos donde las líneas de emisión Balmer son muy débiles.

Entre las otras fuentes encontradas en latitudes galácticas bajas destaca una binaria formada por una estrella Be, además de, con gran probabilidad, una enana blanca. Este tipo de fuentes ha eludido a menudo su detección en rayos X, mostrándose nuevamente que la sensibilidad de *XMM-Newton* es pieza clave para conocer nuestra propia galaxia.

Fuera del plano galáctico, la mayoría de las fuentes identificadas (37 de 59) son cuásares u otros AGNs con líneas de emisión anchas. La profundidad a la que llega la "muestra media" queda puesta en evidencia al haber aparecido varios de estos objetos a desplazamientos al rojo de $z > 2$. Los AGNs son las fuentes más numerosas de rayos X del Universo. La emisión X (que excede los 10^{42} erg s⁻¹ en general y 10^{44} erg s⁻¹ en los cuásares) procede del propio disco

de acreción que rodea al agujero negro central. El mecanismo físico responsable de la emisión de rayos X consiste posiblemente en el reprocesado de la luz ultravioleta cuasi-térmica del disco en una atmósfera de electrones muy energéticos.

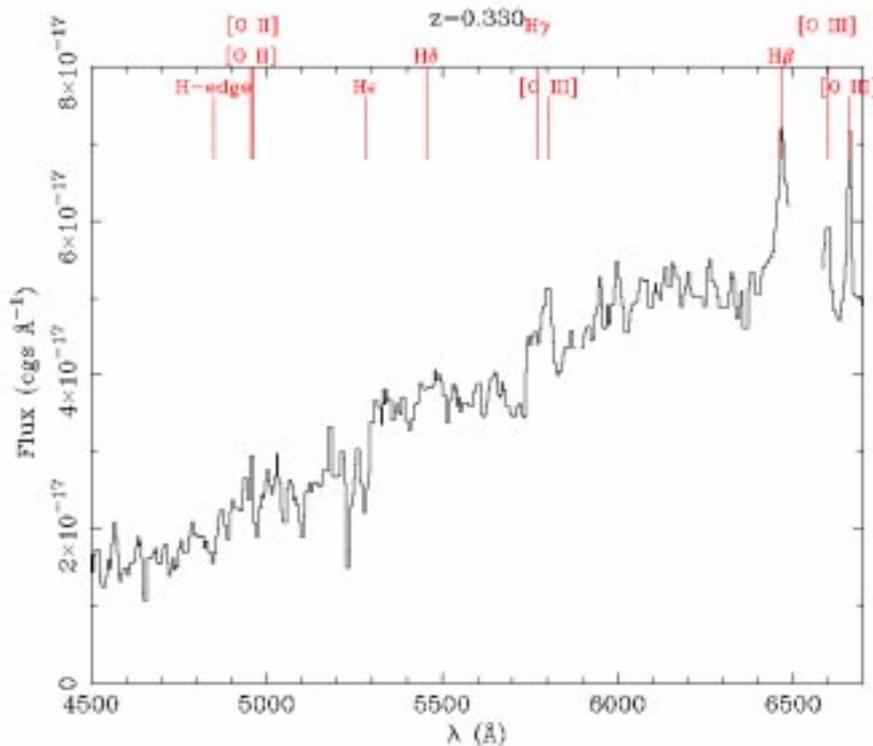
Entre los casos de especial interés se encuentran los cuásares que presentan líneas de absorción anchas (conocidos en la literatura científica como cuásares de tipo 'BAL'- *Broad Absorption Line*). Esta absorción está producida por gas expulsado por el propio cuásar a velocidades cercanas a la velocidad de la luz y, al menos parcialmente, en dirección al observador. La presencia de cuásares BAL en muestras seleccionadas en rayos X ha sido escasa hasta la fecha: sólo hay una detección previa y es debida a *Chandra*. El motivo es que el propio material arrojado por el cuásar absorbe los rayos X, particularmente los rayos X blandos. Con su gran sensibilidad, especialmente en rayos X duros, *XMM-Newton* ha sido capaz de detectar ya 2 cuásares BAL identificados por el proyecto AXIS. Conviene recordar que hay indicios fiables de que el 80-90% de la energía producida por

acreción en agujeros negros en AGNs está fuertemente absorbida de una u otra forma, por lo que este ejemplo demuestra la sospechada capacidad de *XMM-Newton* para poner al descubierto este tipo de objetos.

Otras 8 fuentes de las detectadas se corresponden con galaxias con líneas de emisión estrechas, algunas de las cuales son fácilmente asociables a galaxias de tipo Seyfert 2. La luminosidad de estas fuentes, cercana a los 10^{43} erg s^{-1} , indica la presencia inequívoca de acreción a un objeto compacto, por lo que lo más probable es que estas fuentes sean también AGNs.

Media docena de galaxias aparentemente normales y con espectros sin líneas de emisión obvias y otras tantas estrellas completan este primer censo.

Esta entrega es sólo el primer paso de un estudio completo, al que forzosamente aspiran este tipo de proyectos. Sin embargo, los distintos ejemplos que están apareciendo prometen unos resultados científicos ciertamente apasionantes encaminados a desvelar la naturaleza del cielo en rayos X "duros".



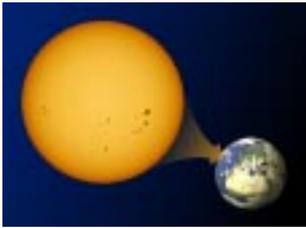
Espectro óptico, obtenido con el instrumento AUTOFIB/WYFFOS en el telescopio "William Herschel" (WHT), en el Observatorio del Roque de los Muchachos de una galaxia emisora de rayos X cuyo corrimiento al rojo resulta ser $z=0.3$. La línea permitida $H\beta$ resulta ser estrecha, y $[OIII] \lambda 5007$ es mucho mayor que $[OII] \lambda 3727$. La luminosidad en rayos X de esta fuente se acerca a los 10^{43} erg s^{-1} indicando la presencia de un AGN.

Centros participantes en el proyecto AXIS:

- Astrophysikalisches Institut Potsdam (Alemania)
- Institute of Astronomy, Cambridge (Reino Unido)
- Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife (España)
- Instituto de Física de Cantabria, Santander (España)
- Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental, Madrid (España)
- Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (Alemania)
- Mullard Space Science Laboratory, UCL (Reino Unido)
- Observatoire Astronomique de Strasbourg (Francia)
- Osservatorio Astronomico di Brera, Milán (Italia)
- University of Bristol (Reino Unido)
- University of Central Lancashire (Reino Unido)
- University of Leicester (Reino Unido)
- XMM Science Operations Centre (España)

EL SOL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Del 25 al 30 de septiembre, el IAC organizó, con financiación de la Unión Europea (UE), la primera reunión de las dos euroconferencias SOLSPA (*Solar and Space Weather Euroconferences*), que han sido aprobadas por la UE para los años 2000 y 2001. La conferencia se celebró en la sede central de CajaCanarias, en Santa Cruz de Tenerife. El objetivo de esta serie de reuniones es convocar en torno a una serie de temas de interés para la Física Solar a astrofísicos y a expertos en instrumentación con el fin de aprovechar al máximo las nuevas ideas y la nueva tecnología disponible en este campo. Concretamente, en esta primera reunión de Tenerife más de 200 especialistas en Física Solar y en Climatología debatieron sobre la teoría y las observaciones de los fenómenos ligados a la actividad solar y su influencia en el clima de la Tierra.



"SE HA PROPUESTO QUE EL CAMPO MAGNÉTICO DE LAS CAPAS INFERIORES DEL SOL INFLUIRÍA EN LA LUMINOSIDAD, PERO ACTUALMENTE LOS MODELOS QUE REPRODUCEN MÁS FIDELIDAMENTE LO QUE REALMENTE OCURRE SON LOS QUE CONSIDERAN QUE ES EL MAGNETISMO DE LA SUPERFICIE EL QUE DETERMINA UNA MAYOR O MENOR LUMINOSIDAD."

Este reportaje ha sido elaborado con material de entrevistas realizadas por Begoña López Betancor, José Manuel Abad, Silbia López de Lacalle Ramos y Annia Domènech.

La energía procedente del Sol es esencial para la vida en la Tierra. Los cambios a corto y largo plazo en su intensidad, manifestados en la actividad magnética, podrían afectar al clima terrestre. Las observaciones realizadas por satélites en las dos últimas décadas han puesto de manifiesto la existencia de cambios en la radiación solar. Además, los registros del número de manchas solares, indicadoras del aumento de la actividad del Sol, explican épocas de grandes fríos en la Tierra en siglos pasados que han coincidido con periodos en los que la actividad solar descendió considerablemente: los llamados mínimos de Maunder (siglo XVII) y de Dalton (en torno a 1800).

Hoy en día se sabe que la actividad del Sol tiene su origen en los campos magnéticos y sus consecuencias no se reducen a la aparición de manchas, sino que también conllevan cambios en la radiación solar que llega a la Tierra, en todas las longitudes de onda, y en la emisión de materia en forma de "viento solar". Los científicos aseguran que existe una clara relación entre la actividad solar y el clima terrestre, aunque todavía están lejos de poder cuantificarla.

La existencia de interacciones indirectas (a través de los rayos cósmicos o la radiación ultravioleta), podría aumentar la influencia de la actividad solar en el clima terrestre. Así, simulando las observaciones modernas de forma adecuada, podrían extrapolarse los cambios en la actividad solar a épocas para las que no existen observaciones. En otras palabras, el presente podría ser la clave para conocer el pasado y, con ello, prever el futuro comportamiento de nuestra estrella. Si estos da-

tos se comparan con los registros de temperaturas en la superficie terrestre, la relación entre ambos fenómenos podría quedar establecida.

Estas investigaciones llegan en un momento especialmente oportuno, en que el debate sobre el calentamiento global es cada vez más 'acalorado', tras constatarse un aumento de medio grado centígrado a lo largo del siglo XX. La pregunta es hasta qué punto ese incremento en la temperatura terrestre es atribuible a la actividad solar en este periodo.

Para evaluar la importancia de la actividad solar en el calentamiento global de la Tierra, acelerado especialmente en las tres últimas décadas, deben estudiarse, además, otros factores. Tres son los elementos fundamentales que se barajan: el aumento de la actividad magnética del Sol, la emisión de gases invernadero a la atmósfera terrestre (especialmente CO₂, resultado de la quema de combustibles sólidos) y los aerosoles (que en realidad contribuyen al enfriamiento de la atmósfera).

El programa científico se dividió en cuatro partes principales: estudio de las características de los ciclos de actividad solar; mecanismos de interacción entre el Sol y el clima terrestre; estudio de la huella en los registros climáticos terrestres de la influencia solar; y discusión de otros factores que influyen en el clima terrestre, como el aumento de las emisiones de CO₂ y de aerosoles.

Campos magnéticos

La producción de energía por parte del Sol no es constante. A finales del siglo XVII

hubo un período de baja actividad solar, el Mínimo de Maunder, que coincidió con un período frío en la Europa del norte llamada Pequeña Edad de Hielo. Sin embargo, todavía no se ha demostrado perfectamente la correlación entre los ciclos solares y el clima terrestre. Uno de los mayores problemas con los que se enfrenta este estudio es la falta de datos anteriores a los inicios de la observación de la actividad solar en el siglo XVII. Actualmente, se intenta paliar esta carencia mediante modelos que permitan extrapolar los cambios en la actividad solar a épocas para las que no existen observaciones. A partir del presente se conocería el pasado y se adivinaría el futuro. Intentar dilucidar hasta qué punto influye la actividad solar en el clima terrestre forma parte del trabajo de Solanki, que dedicó su intervención en el congreso a las variaciones en el flujo solar durante los últimos cuatrocientos años.

“La influencia del Sol sobre la Tierra puede tener lugar de maneras diversas, pero en última instancia siempre estará relacionada con el campo magnético solar”- afirma Sami Solanki, Director del Instituto Max-Planck de Aeronomía de Lindau (Alemania)-. “El Sol cambia las temperaturas y las densidades de la magnetosfera terrestre modificando el entorno de la Tierra. Este fenómeno debe tenerse en cuenta, por ejemplo, al operar satélites, ya que expande la atmósfera y aparece una fuerza de rozamiento que les puede precipitar hacia la Tierra. El Sol también influye sobre el clima con sus cambios de luminosidad. Prácticamente el 100% de la energía que llega a la Tierra procede del Sol, la mayoría en forma de radiación, de luz. Si la radiación aumenta, la Tierra recibe más energía.” Todos los cambios medidos hasta ahora en la radiación solar se deben a cambios en el campo magnético, pero el campo magnético que vemos es el de la superficie del Sol, de donde procede la luz, no del interior. “Se ha propuesto –continúa Solanki- que el campo magnético de las capas inferiores del Sol influiría en la luminosidad, pero actualmente los modelos que reproducen más fidedignamente lo que realmente ocurre son los que consideran que es el magnetismo de la superficie el que determina una mayor o menor luminosidad.”

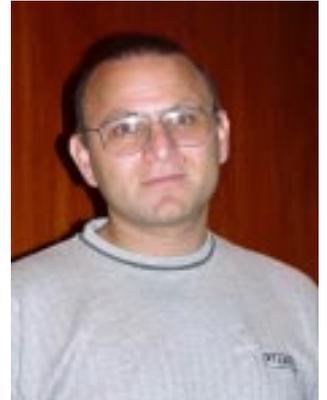
Para conocer los cambios que ha experimentado la radiación en épocas pasadas, los astrofísicos elaboran modelos de la radiación de los últimos 20 años. Mediante magnetogramas se determinan las regiones del Sol con un campo magnético más fuerte y se hace un modelo del brillo de esas regiones. Los resultados se extrapolan para todo el Sol y se obtiene la relación entre la luminosidad y el campo magnético solar. “Como en el pasado no

se hacían magnetogramas, para estudiar el magnetismo solar se utilizaban indicadores más indirectos –explica. Uno de ellos es la evolución de las manchas solares, elementos magnéticos que han sido estudiados durante los últimos 20 años, relacionándolos con el campo magnético y, en última instancia, con la luminosidad. Una vez establecida la correlación, se utiliza el mismo modelo para los tres últimos siglos: a partir de las manchas solares registradas en un momento determinado, se extrapola el campo magnético solar.” Pero este análisis por sí solo no es suficientemente fiable. Para contrastar los datos, se aplican otros métodos, como la observación de estrellas parecidas al Sol y que están en diferentes momentos de su evolución. Así, continúa Solanki, “para ver lo que el Sol ha hecho durante 300 años se estudian 30 estrellas durante 10 años y se intenta encontrar una relación. Cuando tuvo lugar el Mínimo de Maunder, que fue un período de baja actividad magnética del Sol en el siglo XVII, el Sol era seguramente menos brillante de lo que es ahora, quizás un 0,2 o un 0,3 %. Esta variación es mayor que la que experimenta hoy durante un ciclo solar. Por otro lado, como el campo magnético solar influye sobre el campo magnético de la Tierra, cuando el primero varía, la aguja de una brújula dirigida al Norte oscila. Estas oscilaciones están registradas desde mediados del siglo XIX. Aparentemente, cada vez son más numerosas, lo que implica que el campo magnético heliosférico ha ido aumentando desde 1900. Estos resultados coinciden con los obtenidos de los estudios de estrellas.”

Modelos y ciclos

Entre los ponentes de SOLPSA figura Sabatino Sofía, profesor del Departamento de Astronomía de la Universidad de Yale (EEUU), autor junto con Ken Schatten (NASA) de SODA (*Solar Dynamo Amplitude*), un modelo que predice la actividad del Sol a partir del estudio de los campos magnéticos generados en su interior. Este proyecto, junto con el Sextante del Disco Solar, destinado a medir el radio del Sol, podrían considerarse sus grandes aportaciones a la ciencia. Para Sofía, estudiar el papel que la variabilidad solar juega con respecto al cambio climático “es un problema científico del orden práctico muy interesante y, como astrónomo, es la primera vez y quizás la última en que trabajo en un problema que tiene implicaciones prácticas; en astronomía eso no suele ocurrir”.

Este italiano nacionalizado estadounidense tras pasar muchos años en Venezuela trabaja en el desarrollo de modelos teóricos que expliquen la estructura y la evolu-



Sami Solanki



Sabatino Sofía

"UN MODELO FÍSICO TIENE MUCHAS VENTAJAS SOBRE LAS CORRELACIONES QUE, AUNQUE A VECES SON MUY ÚTILES, NUNCA TE DICEN LO QUE HAY DETRÁS."



John Houghton

ción solares, algunos de ellos se encuentran entre los mejor establecidos. "Los modelos que he hecho proponen varias magnitudes a varias profundidades, tratamos de comparar las predicciones con las observaciones. Las observaciones son difíciles y delicadas y hay gente que niega su fiabilidad, pero yo asumo que son correctas; así se hace investigación: ensayo y error. Yo parto de la base de que la irradiación solar no es constante, sino producto de variaciones de luminosidad y ajustes internos provocados por cambios en el campo magnético. Esto nos da un modelo verdadero con el que podemos predecir qué ocurrió y qué ocurrirá en estas condiciones. Un modelo físico tiene muchas ventajas sobre las correlaciones que, aunque a veces son muy útiles, nunca te dicen lo que hay detrás. Imaginemos que cada vez que llueve yo tengo más dinero en el bolsillo, la relación es directa, quizá porque vendo paraguas, pero en esta afirmación estoy ignorando la causa. Un modelo físico nos dice cuál es la causa".

La motivación científica a la hora de estudiar los ciclos solares es incuestionable, lo que queda ahora es convencer a la sociedad de la importancia de estas investigaciones: "cada 11 años hay un ciclo, el número de manchas solares aumenta y con ello la radiación ultravioleta que, si tenemos suerte, es absorbida por la capa de ozono en la alta atmósfera. Al destruirse la capa de ozono, la radiación ultravioleta se acerca a niveles más bajos, se dan más casos de cáncer... hay que comprender rápido el problema para que se puedan adoptar las medidas necesarias, que van a ser difíciles, costosas o inconvenientes...", concluye Sofia.

Cambio climático

El Informe sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas del 2001 prevé al menos dos grandes impactos medioambientales debidos a este fenómeno global: el aumento del nivel del mar y la intensificación del ciclo hidrológico mundial. Así lo aseguró el físico británico Sir John Houghton, del Departamento de Meteorología del *Hadley Centre* de Londres, quien presentó el resumen del informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de Naciones Unidas en el marco del congreso. Para los cerca de 10.000 científicos participantes en el informe, que será publicado a principios de 2001, esto acarrearía graves consecuencias en amplias zonas del planeta. En concreto, Houghton indicó que "el aumento del nivel del mar, con una estimación de medio metro para el final del siglo XXI, debido a la descongelación de los

glaciares, afectará sobre todo a amplias zonas costeras en Bangladesh, el sur de China, Egipto y numerosas islas en los océanos Índico y Pacífico. Muchos millones de personas –insistió– tendrán que desplazarse de estas regiones, sin contar con los países que tendrán que construir defensas contra el avance del mar».

El segundo de los impactos previstos por el IPCC, cuyas conclusiones definitivas están aún por determinar, se refiere al ciclo hidrológico global (el movimiento continuo a través del cual el agua se evapora de los océanos, lagos y ríos, se condensa y cae en forma de precipitación sobre la tierra y después, o bien vuelve a subir a la atmósfera por evaporación o transpiración, o bien regresa al océano a través de las aguas superficiales o subterráneas). «Un mundo más caliente es también más húmedo –explica el científico–, hay más agua en la atmósfera y, por tanto, llueve más. Podemos concluir que las grandes lluvias serán aún más intensas y que, además, habrá una mayor intensidad y frecuencia de los ciclos de sequías e inundaciones». Para Houghton, este extremo, «y ya hemos podido verlo en África», tendrá graves consecuencias en regiones subtropicales, aunque no sólo en esta zona del planeta.

Consideraciones del Informe

En el IPCC, cuya segunda revisión está prácticamente finalizada, se ha prestado una especial atención la influencia en el cambio climático de la fuerza de la radiación, la simulación del clima del siglo XX, los detalles del ciclo del carbono, los avances en los modelos del clima, la forma de respuesta climática al aumento de los gases de efecto invernadero y la posible mayor influencia de esa fuerza en la circulación del agua en los océanos.

Insistiendo en el tema del congreso, Houghton habló de la contribución en el clima de los cambios de la radiación del Sol. «Ya en el segundo Informe [publicado en 1996] veíamos que cualquier influencia de este fenómeno en el clima será probablemente mucho menor que la debida a la emisión de gases de efecto invernadero». El Sol también interviene, como recoge el resumen del Informe, por medio de otros mecanismos; el ozono de la atmósfera - que varía por las radiaciones ultravioletas procedentes del astro- provoca cambios en la estructura de la estratosfera. También se presume que las variaciones de la radiación solar influyen en la nubosidad, al variar el número de iones que actúan como núcleos de condensación o, lo que es lo mismo, que condensan el vapor de agua y forman nubes por acumulación.

"SEGÚN EL IPCC, EL CAMBIO CLIMÁTICO TENDRÁ, AL MENOS, DOS GRANDES IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES DEBIDOS A ESTE FENÓMENO GLOBAL: EL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR Y LA INTENSIFICACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO MUNDIAL."

Houghton añadió que, aunque no se conoce muy bien la influencia en la atmósfera de partículas de aerosoles, tanto de origen natural como humano, sí que se estima que su influencia en el cambio climático es mucho menor que la de los gases de efecto invernadero. Y es que el intercambio de carbono con la biosfera terrestre ha sido un área de especial interés en los últimos años. El ciclo que sigue el carbono en la naturaleza arroja aún numerosas dudas. «¿Se ha comportado la biosfera terrestre como una fuente o como un sumidero de dióxido de carbono?», se preguntó Houghton, quien aportó un dato curioso: «Durante los años ochenta, la vegetación tendió a ser una fuente de CO₂, pero en los noventa se ha comportado como un sumidero». Una posible causa se encontraría en el aumento de fertilizantes nitrogenados. Esta posibilidad lleva a preguntar si ha podido detectarse en los registros de temperatura el efecto de la actividad del hombre en el clima. El experto británico se mostró tajante: «La evaluación de las pruebas sugiere una influencia humana indudable, y muchos estudios tienden cada vez más a reforzar esta conclusión».

Ciencia y política

Las pautas de respuesta del clima no ocupan sólo a los científicos. «Entre los políticos existe una gran demanda de información sobre los cambios en el clima en una escala regional», aseveró este experto. A pesar de las continuas tentativas, los modelos no ofrecen aún demasiada fidelidad. La reacción provocada del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero tampoco es uniforme: «Es mucho más probable que la reacción esté vinculada a grandes pautas de variabilidad climática, como la Oscilación del Atlántico Norte o El Niño. Las sequías e inundaciones que sufren Australia, África y América están relacionadas con estos fenómenos».

Ya que el CO₂ es el gas de efecto invernadero más importante, el objetivo del IPCC es estabilizar la concentración de este gas, reduciendo sus emisiones desde las fuentes de combustible fósil o aumentando los sumideros que eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera. «Aumentando la forestación y evitando la deforestación», en palabras de Houghton, quien mencionó otras medidas, como la reducción del transporte motorizado, la construcción de viviendas de una manera más racional –las llamadas bioclimáticas– y el empleo de energías alternativas –como la solar. No dudó en ser categórico a la hora de identificar responsables: «Deberían ponerse ya en marcha las resoluciones del Protocolo de Kioto, que obligan a los países europeos a reducir sus emisiones de CO₂ en un 8.5% en la atmósfera, y que no

han sido ratificadas ni han entrado en vigor. Está precisamente en manos de los gobiernos la aplicación efectiva de las reducciones. Los gobiernos tienen que trabajar - concluyó- con las industrias para crear un marco de desarrollo sostenible». Con una urgencia añadida: la naturaleza empleará mucho tiempo en absorber el dióxido de carbono que, en parte, ha emitido con relativa rapidez el hombre.

Esta tesis explicativa del cambio climático fue también la sostenida por el Prof. Eugene Parker, de la Universidad de Chicago, uno de los más prestigiosos físicos solares del mundo y especialista en magnetismo solar a quien se deben los primeros estudios de la corona solar y el descubrimiento de los mecanismos responsables del denominado "viento solar" que invade todo el Sistema Solar y deja sentir sus efectos sobre la Tierra.

«Es evidente que el Sol influye en el clima terrestre –sostiene Parker. Se puede decir que, desde 1860-80, el Sol ha ido aumentando su actividad hasta aproximadamente 1950, con lo que se ha venido experimentando una tendencia al aumento de la temperatura que, entonces, se explicó por un aumento en el brillo solar. Por aquellos años comenzó a emitirse y acumularse CO₂ en la atmósfera, algo que no se hizo patente hasta aproximadamente 1950. Por eso, en mi opinión, la mayor parte del aumento de la temperatura anterior a 1950 se puede explicar por el incremento en la actividad solar, no así después de esa fecha, en que no es evidente que sea el Sol el responsable del calentamiento global, pues el Sol no ha registrado aumentos significativos en su actividad que, de hecho, se ha nivelado. Creo que la mayor parte del calentamiento desde 1950 se debe a la actividad humana, a la acumulación de CO₂ en la atmósfera», concluye este veterano científico.

No obstante, entre los ponentes que intervinieron en el congreso estuvo también representado el sector que sostiene una tesis diametralmente opuesta a la de Parker y Houghton para explicar cambio climático. El astrofísico Willie Soon, de origen malasio y vinculado al *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* de Massachusetts (EEUU) no cree que el aumento en las emisiones de gases invernadero producidos por el hombre causen el calentamiento global del planeta. «El Modelo de Circulación General [una descripción general del clima terrestre] es terriblemente malo e impreciso», asegura el científico, a quien algunos señalan como encubridor de los intereses de la industria estadounidense. Irritado con las estipulaciones del Protocolo de Kioto, de 1997, que obliga a los gobiernos a reducir las emi-



Eugene Parker

"CREO QUE LA MAYOR PARTE DEL CALENTAMIENTO DESDE 1950 SE DEBE A LA ACTIVIDAD HUMANA, A LA ACUMULACIÓN DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA."



Willie Soon



Paal Brekke

siones de CO₂ a la atmósfera, Soon afirmó tajante: "Debería haber una disculpa pública a la gente. Como científicos, tenemos que usar el modelo como un método de evaluar nuestras hipótesis, no para lograr el consenso".

"Tenemos que revisar los cálculos en los que se basa el Modelo de Circulación General (*General Circulation Model* o *GCM*), porque hemos encontrado deficiencias en el cálculo de la variación de la temperatura de la atmósfera, de la superficie terrestre, de las precipitaciones y de otros complejos componentes del clima" —afirma Soon, quien cree además que el GCM es un modelo "puramente teórico" del que se han derivado decisiones políticas, en su opinión, con demasiada ligereza.

Soon afirma que los científicos "estamos perdiendo perspectiva al respecto del calentamiento global", algo que atribuye a "un problema de medición exacta de los fenómenos que intervienen en el clima", como expuso en su intervención en el congreso, con la conferencia titulada "*Calculating the environmental impacts of increased carbon dioxide in the air: The issue of climate model validation*" ("El cálculo de los impactos medioambientales del aumento de dióxido de carbono en el aire: la cuestión de la validación del modelo climático"). Soon no teme a los críticos, quienes han acusado a sus interpretaciones de coincidir con los intereses de la industria, aunque manifiesta una queja: "los artículos que he firmado han sido corregidos por cinco árbitros científicos, en lugar de los dos o tres habituales". Insiste en considerarse "muy preocupado" por el medio ambiente, pero afirma con vehemencia que "no se pueden sacar conclusiones globales de problemas ecológicos locales".

"Antes de criticar, tenemos que entender bien el modelo", insiste el astrofísico, quien lamentó que las incertidumbres que desvela su estudio no sean tenidas en cuenta por los políticos, y no dudó en criticar al candidato demócrata a la Presidencia de los Estados Unidos, Al Gore, como responsable de la firma del Protocolo de Kioto por parte de EEUU, "que ha provocado un problema político porque nos ha comprometido a una reducción en las emisiones basada en argumentos legales".

Meteorología espacial

Cerrando el programa de actos enmarcados en el congreso tuvo lugar una conferencia de divulgación abierta al público sobre el satélite SOHO. Fue presentada por Paal Brekke, del *Goddard Space Flight Center* de la NASA en Maryland (EEUU) e investigador principal de la mi-

sión SOHO, con el título de "*The Sun as seen by SOHO. New insight into our star, and its impact on the Earth's Environment*" («El Sol visto por SOHO. Una nueva perspectiva de nuestra estrella y su impacto sobre el entorno terrestre»), y en ella se recogían las investigaciones solares realizadas por este satélite.

Desde su lanzamiento, el 2 de diciembre de 1995, el Observatorio Solar y Heliosférico (SOHO) ha proporcionado una cantidad sin precedentes de datos sobre el Sol, desde su interior, a través de la dinámica y caliente atmósfera solar, hasta el exterior y el viento solar. Con sus 24 horas diarias de observación de nuestra estrella, SOHO ha seguido revolucionando nuestros conocimientos sobre el Sol. Los objetivos más importantes de la misión SOHO consistían en estudiar la estructura y la dinámica del interior solar, el calentamiento de la corona solar y la aceleración del viento solar. Cinco años después de su lanzamiento, equipos de científicos de todo el mundo utilizando la gran cantidad de datos e imágenes de SOHO han conseguido grandes avances en el camino hacia el esclarecimiento de estos «tres grandes enigmas». Al mismo tiempo, los datos de SOHO, de fácil acceso y de gran espectacularidad, así como los resultados científicos fundamentales a que han dado lugar, han captado la imaginación de la comunidad de las ciencias espaciales y del público en general. La conferencia recogió algunos de los hitos científicos y el importante papel de SOHO como vigía del Sol en la 'meteorología espacial', abordando también el efecto de las erupciones solares en el entorno terrestre, así como la contribución del Sol al cambio climático terrestre.

Concluyendo

Para Manuel Vázquez, físico solar del IAC y organizador de este congreso, "lo más importante de esta reunión es que, quizá por primera vez, se han encontrado dos comunidades que no tenían mucho contacto entre sí: por un lado, los físicos solares, que a veces 'se olvidan' de las relaciones del Sol con la Tierra, y por otro, los expertos en Física de la atmósfera terrestre y en modelos de clima, que también a veces 'se olvidan' de la influencia del Sol sobre nuestro planeta". La historia de las relaciones Sol-Tierra empezó en 1801 con el astrónomo William Herschel, el primero que propuso que existía algún tipo de influencia. "Dado que la huella humana parece ser clarísima y determinante, la importancia de estudiar el Sol hoy consiste en llegar a medir cuál es la variabilidad de nuestra estrella para así poder estimar cuantitativamente cuál es la influencia humana sobre el clima de nuestro planeta", concluye este experto.

LA IMPORTANCIA DE ESTUDIAR EL SOL HOY CONSISTE EN LLEGAR A MEDIR CUÁL ES LA VARIABILIDAD DE NUESTRA ESTRELLA PARA ASÍ PODER ESTIMAR CUANTITATIVAMENTE CUÁL ES LA INFLUENCIA HUMANA SOBRE EL CLIMA DE NUESTRO PLANETA.

Resumiendo...

MANUEL VÁZQUEZ
(IAC)

El congreso sobre «The Solar Cycle and Terrestrial Climate» constituyó el primero de una serie de Euroconferencias aprobadas por la Unión Europea sobre el tema general de las relaciones entre Sol y Tierra. Esta propuesta se gestó dentro de la organización JOSO (Joint Organization for Solar Observations), al igual que su predecesora, la serie de congresos ASPE (Advances in Solar Physics Euroconferences). También, en aquel caso, fue el Instituto de Astrofísica de Canarias el organizador y la isla de Tenerife, su ubicación.

En esta ocasión, cambiar el lugar del congreso del ya tradicional Palacio de Congresos del Puerto de la Cruz a las instalaciones santacruceñas de CajaCanarias constituyó un primer reto. La experiencia, a pesar de algunos pequeños problemas de adaptación e imprevistos, fue muy positiva. Dentro de este capítulo de problemas podría señalar la coincidencia del día sin tráfico con el que teníamos reservado para el traslado de todo el equipamiento. La colaboración de personal de CajaCanarias como Antonio Pérez, Gustavo García, Alberto Sacramento y Arancha Martín resultó decisiva para que todo funcionara de una manera satisfactoria para los participantes.

Dada la actualidad del tema, se esperaba un cierto interés por parte de los medios de comunicación y, de hecho, así sucedió tanto en el ámbito local como nacional e internacional. En este último contexto, la colaboración del Departamento de Prensa de la Agencia Espacial Europea resultó de gran ayuda.

El programa científico fue elaborado con el objetivo de proporcionar una visión de la influencia que la actividad solar, a través del flujo de fotones y de partículas subatómicas, puede tener en el clima terrestre. Aparte del interés propiamente científico, el tema resultaba especialmente relevante en el contexto del presente calentamiento global del planeta. Además de la actividad solar, el aumento en las emisiones de gases invernadero y de aerosoles a la atmósfera son los otros mecanismos que pueden estar provocando tal desequilibrio en nuestro clima.

Desde un principio, las preguntas de los medios de comunicación se centraron en cuáles podían ser las conclusiones que se podían extraer del congreso. Si bien quizá no sea ésta la forma en que se orienta el trabajo en este tipo de reuniones, mi opinión personal es que desde 1960 los registros climáticos dejan poca duda de que el aumento de las emisiones a la atmósfera de gases invernadero, principalmente el CO₂ procedente de la quema de combustibles fósiles, es el principal responsable del calentamiento global de la Tierra. El estudio de la influencia solar será imprescindible para conocer el fondo de variabilidad natural sobre el que se instala tal influencia antropogénica.

En el Tercer Informe sobre el Cambio Climático aprobado por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) se señala que la huella de la actividad humana en el clima terrestre es evidente; se indica también que los efectos de esta influencia durarán cientos de años y que las perspectivas para el recién nacido siglo XXI no pueden ser muy halagüeñas. Dado que la influencia de la actividad solar va en el mismo sentido que la de origen antrópico, a los físicos solares nos queda la tarea de evaluar cuál ha sido aquélla en el pasado y cómo será en el futuro. Todo ello utilizando las herramientas con que contamos en la actualidad y que se van a ver incrementadas en un futuro cercano con la instalación en los observatorios del IAC del telescopio sueco NSST, el alemán GREGOR y, quizás, del estadounidense AST, además de proyectos espaciales como el SunRise y el SolarOrbiter.

Las actividades de carácter social celebradas durante el congreso resultaron en general muy agradables, pero mi recuerdo más entrañable es para el concierto dado por varios colegas (Inés, Andras y Rob) y por el coro lagunero "Carpe Diem".

Por último, quisiera agradecer al Comité Organizador Local su gran colaboración en la organización del congreso. De forma muy especial, quisiera expresar mi agradecimiento, y el de todos los participantes, a Eva, Judith y Tanja. Ha sido un placer trabajar con vosotras.

Y la historia sigue... en mayo de 2001 tenemos «The Solar Encounter».



Manuel Vázquez



Participantes en la Euroconferencia "The Solar Cycle and Terrestrial Climate" e instantáneas de la reunión.



COMITÉ ORGANIZADOR CIENTÍFICO :

B. Schmieder, M. Vázquez, P.N. Brandt, G. Cauzzi, E. Daily, B. Fleck, E. Friis-Christensen, M. Noguera, R. Marsden

COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL:

M. Vázquez, J. de Araoz, L.R. Bellot, J.A. Bonet, A. Eff-Darwich, A. Jiménez, T. Karthaus, V. Martínez Pillet, H. González Jorge, I. Rodríguez Hidalgo, E. Bejarano

ENTIDADES PATROCINADORAS:

Unión Europea, Instituto de Astrofísica de Canarias, Dirección General de Enseñanza Superior e Investigaciones Científicas, Cabildo Insular de Tenerife, Ayuntamiento de La Laguna, Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife, CajaCanarias, Agencia Europea del Espacio, Observatorio de París (Francia).

ENTIDADES COLABORADORAS:

Iberia, BBVA, DISA Corporación Petrolífera, S.A., SunMicrosystems Ibérica, S.A.

Dirección en Internet:

<http://www.iac.es/proyect/solspa/index.html>

Cartel anunciador de la Euroconferencia

SISMOLOGÍA SOLAR Y ESTELAR

En colaboración con el Observatorio Solar Nacional de Estados Unidos y la Agencia Espacial Europea, el IAC organizó en Santa Cruz de Tenerife el congreso internacional "Helio and Asteroseismology at the Dawn of the Millennium. SOHO 10 and GONG 2000" ("Sismología Solar y Estelar en los albores del nuevo milenio. Workshop SOHO 10 y GONG 2000"), al que asistieron 160 científicos de 27 países. El evento tuvo lugar después de once años (exactamente un ciclo en la actividad solar) de que el grupo de Física Solar del IAC organizase su primer congreso internacional sobre Sismología Solar y Estelar, una ocasión crucial que sirvió entonces para dar a conocer el Observatorio del Teide a la comunidad mundial de físicos solares y obtener reconocimiento internacional por su trabajo investigador.

El programa científico constó de siete sesiones de trabajo, dedicadas a los siguientes temas: El Sol cambiante: ciclo de actividad y variaciones a largo plazo de los parámetros heliosismológicos; Flujos y magnetismo en las capas externas del Sol; La región de la *tachocline*; Situación actual de los proyectos y perspectivas futuras de la heliosismología observacional; Estructura y evolución estelar mediante técnicas sismológicas; Las zonas más profundas del Sol; y Convección y excitación de los modos.

A lo largo del congreso se presentaron las nuevas técnicas de «tomografía» desarrolladas a partir de las nuevas observaciones de miles de modos que sondan las capas del Sol más próximas a la superficie. A partir de ellas se están empezando a obtener mapas completos de campo magnético y velocidad en las regiones inmediatamente por debajo de la superficie visible del Sol. Se presentaron también los nuevos proyectos instrumentales en curso, numerosos y de un gran interés, y se dedicó una sesión completa a la Astrosismología, joven rama de la Astrofísica que trata de aplicar al estudio de otras estrellas los métodos de la Sismología Solar, lo que aportará información completamente nueva y certera acerca de su estructura y estado evolutivo.

Sismología Solar

Del mismo modo que a partir del estudio de los movimientos sísmicos, los físicos pueden conocer mejor la composición interna de nuestro planeta, la Sismología Solar o Heliosismología es la única herramienta para estudiar en detalle la estructura interna invisible del Sol a partir de la propagación de las ondas por su interior. Existen millones de ondas de resonancia que se propagan por el interior solar y que

pueden observarse por sus efectos en la superficie. Los períodos de estas ondas dependen de su velocidad de propagación y de las propiedades de su cavidad de resonancia, cuyo estudio permite a los científicos obtener las propiedades dinámicas de las cuales puede deducirse la densidad, la presión y los movimientos que se producen inmediatamente debajo de la superficie y que se prolongan hasta el mismo núcleo del Sol.

A finales de los años setenta, en un trabajo pionero del grupo de Física Solar del IAC, en colaboración con la Universidad de Birmingham (Reino Unido), se descubrió el «carácter global» de las oscilaciones solares y su naturaleza, explicada a través de la existencia de «modos propios de oscilación del Sol». Ello permitió usar las pulsaciones solares como sonda de las condiciones dinámicas en el interior del Sol, sin que exista hasta la fecha otro modo posible de obtener este tipo de información, dando origen a la Sismología Solar. Desde entonces la comunidad científica internacional, consciente del gran interés, trascendencia e importancia de este campo de investigación, se volcó en una actividad febril encaminada al diseño de nuevos experimentos que permitieran una mejor determinación de estos modos y sus características.

En este sentido, la inevitable interrupción de las observaciones solares cuando se realizan desde un solo punto de observación en tierra (ciclo día-noche) producía un deterioro muy importante en la información obtenida. Por este motivo, todos los esfuerzos se centraron en diseñar proyectos que no estuvieran supeditados a estos efectos; el resultado fue el desarrollo de redes de observación terrestres y la observación desde el Espacio.



"LOS 'MODOS r' SUPONEN UNA FORMA DIFERENTE DE 'VER' EL INTERIOR SOLAR. SI PUDIÉSEMOS OBSERVAR UNA SOLA DE ESAS ONDAS TENDRÍAMOS INFORMACIÓN MUCHO MÁS PRECISA SOBRE LA TEMPERATURA DEL NÚCLEO SOLAR QUE LA OBTENIDA DURANTE LOS ÚLTIMOS CINCUENTA AÑOS DE FÍSICA SOLAR."

Este reportaje ha sido elaborado con material de entrevistas realizadas por Begoña López Belancor, José Manuel Abad y Annia Domènech.



Jeffrey Kuhn

El Observatorio del Teide, del IAC, es nudo de todas las redes terrestres (GONG-EEUU; BISON-Reino Unido; ECHO-EEUU; TON-Taiwan e IRIS-Francia) y el grupo científico del IAC explota los resultados obtenidos, además de participar activamente en dos de los tres experimentos de Heliosismología a bordo del satélite solar SOHO.

La Heliosismología aporta claves importantes para la comprensión de los mecanismos asociados al ciclo solar, pero sigue planteando grandes retos como el de la detección de los esquivos «modos gravitatorios», cuya detección proporcionaría información única sobre el núcleo solar y sus alrededores.

Un ciclo solar después

En la conferencia de apertura del congreso, titulada *"One Solar Cycle later: Speculations on new directions in Helio and Asteroseismology in a new Millennium"* (Un ciclo solar después: Especulaciones sobre las nuevas direcciones en Helio y Asteroseismología en un nuevo milenio), Jeffrey Kuhn, del Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawai (EEUU) hizo una revisión crítica de la situación actual y de las perspectivas futuras de la Sismología Solar y Estelar como campos de la Astrofísica en plena expansión.

"Un ciclo solar después de la reunión de Tenerife –afirma Kuhn– se confirman nuestras sospechas de entonces: el ciclo solar no es algo simple, no se limita a la aparición de manchas solares, sino que afecta al brillo total y a la luminosidad total del Sol. Pero no conocemos este ciclo con la precisión necesaria para predecir los cambios en la actividad del Sol". Precisamente es en este punto donde radica la importancia de la Heliosismología. En estos once años, se han identificado las claves fundamentales de cómo el interior del Sol cambia con el ciclo solar, lo que podría ayudar a saber si se producirán cambios en el clima terrestre a escalas temporales más o menos largas y por qué.

Ondas en el Sol

La Heliosismología es la única vía para 'ver' el interior del Sol, a través de las ondas acústicas. La nueva revolución en Física Solar está en la posibilidad de utilizar algo más que esas ondas para conocer el interior del Sol. "Precisamente ésta es una de las cosas que planteamos en este congreso –puntualiza este científico–: la posibilidad de observar ondas similares a las olas que se producen en el océano y que denominamos 'modos r'. Estas ondas suponen una forma diferente de 'ver' el interior solar. Si pudiésemos observar una sola de esas ondas tendríamos información mucho más

precisa sobre la temperatura del núcleo solar que la obtenida en cincuenta años de Física Solar, pues la temperatura central del Sol determina la intensidad de su brillo y con ello los cambios en el clima terrestre. En Heliosismología hemos llegado a un punto en que la respuesta a muchas de las preguntas abiertas no depende de nuevos datos, como hasta ahora, sino de contar con nuevas teorías, nuevos modelos, nueva instrumentación,..."

Uno de los nuevos instrumentos para la Heliosismología que suscita un enorme interés es la posibilidad de salir al espacio y medir cambios muy pequeños en la forma y el tamaño del Sol, algo que no era posible hace unos pocos años y que ahora podemos conseguir con los satélites que están ya en órbita. "Por ejemplo –añade Kuhn–, una de esas observaciones de satélites ha revelado que la superficie del Sol, en ciertos aspectos, es comparable a la superficie de los océanos. Desde el espacio se observan pequeñas ondas de sólo unos pocos centímetros de amplitud que se desplazan muy lentamente a través del océano. Se denominan 'modos r' y se observan también en la superficie del Sol, donde su tamaño es muy reducido y su observación requiere nueva tecnología. Son importantes porque suponen una nueva forma de sondear el interior del Sol. Las nuevas herramientas que nos permitan avanzar en el conocimiento del Sol serán el estudio de nuevos tipos de ondas que se producen en su interior: ondas gravitatorias (modos g) y estas ondas (modos r), similares a las observadas en los océanos."

La otra instrumentación disponible es la terrestre. Normalmente, la estructura del propio telescopio supone un desafío a la capacidad de detectar objetos débiles cercanos a objetos brillantes debido a lo que se llama difracción instrumental. Kuhn plantea aquí una solución: "Una de las ideas de diseño instrumental que barajamos en Hawai es la construcción de telescopios que eviten este efecto, que no tengan nada delante del espejo primario. Estamos construyendo un telescopio de un sólo espejo, con todos los instrumentos post-foco aparte; el objetivo de este pequeño telescopio de sólo medio metro de diámetro es estudiar los aspectos técnicos de la construcción de telescopios llamados 'fuera de eje' o 'descentrados', para la observación del Sol y de la corona solar. Creemos que este telescopio será un prototipo para otros de mayor tamaño y que esperamos construir en los próximos diez años. La nueva generación de telescopios llevará una nueva óptica, que permitirá la observación de objetos débiles cercanos a otros más brillantes.»

"EN HELIOSISMOLOGÍA
HEMOS LLEGADO A UN
PUNTO EN QUE LA
RESPUESTA A MUCHAS
DE LAS PREGUNTAS
ABIERTAS NO
DEPENDEN DE NUEVOS
DATOS, COMO SUCEDÍA
HASTA AHORA, SINO
DE CONTAR CON
NUEVAS TEORÍAS,
NUEVOS MODELOS,
NUEVA
INSTRUMENTACIÓN,..."

La Red GONG

La red internacional de Sismología Solar GONG (*Global Oscillation Network Group*) es un programa internacional para el estudio detallado del interior del Sol liderado por el *National Solar Observatory* (NSO) norteamericano. Uno de sus instrumentos, el primero en ser instalado, se encuentra en el Observatorio del Teide desde 1995. El Grupo de Sismología Solar del IAC ha participado de forma significativa en el desarrollo del proyecto GONG lo que, unido a la contrastada calidad del cielo de Canarias y la logística disponible en los observatorios del IAC, llevó al NSO a proponer el Observatorio del Teide como uno de los nodos de su red internacional. El conjunto de la red, constituida por seis estaciones, comenzó a funcionar el 5 de octubre de 1995 y continuará obteniendo datos durante varios años. Los observatorios de Big Bear (California), Learmonth (Australia), Udaipur (India), Cerro Tololo (Chile) y Mauna Loa (Hawaii) completan los seis emplazamientos de la red heliosismológica GONG que, repartidos por todo el planeta, observan permanentemente el Sol sin que la alternancia día-noche suponga ya un obstáculo.

Uno de los primeros teóricos en establecer las bases de la Heliosismología, allá por 1965, fue el Profesor John Leibacher, del *National Solar Observatory* (EEUU), responsable desde sus inicios del proyecto GONG. Para este veterano investigador, el experimento GONG "ha superado con creces las expectativas". La red GONG acaba de celebrar el quinto aniversario de su entrada en funcionamiento y ha dado muy buenos resultados. "Técnicamente – comenta Leibacher-, nos ha permitido observar el Sol durante casi el 90% del tiempo, se puede decir que el Sol prácticamente no se pone para GONG. Científicamente ha sido todo un éxito: no sólo se han cumplido los objetivos propuestos, como medir la temperatura y estudiar la composición química de las regiones cercanas a la superficie solar, sino que, además, nos hemos tropezado con descubrimientos imprevistos. Hemos descubierto que la estructura, la rotación y la variación de la temperatura de los polos al ecuador solares varían con el tiempo. Otro descubrimiento es que el tercio más externo de la esfera solar, lejos de ser un lago en calma, es una región sujeta a continuos movimientos de aceleración y deceleración del material, algo que desconocíamos totalmente antes de que GONG entrase en funcionamiento. El experimento ha tenido mucho más éxito de lo que esperábamos en un principio."

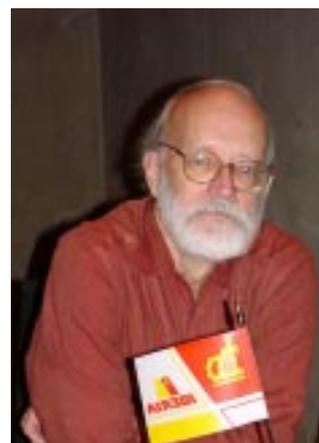
GONG se planteó inicialmente como un experimento para observar el Sol ininte-

rrumpidamente durante mil días, unos tres años, "pero el descubrimiento de que el ciclo solar cambia las frecuencias y la estructura interna del Sol condujo a observar los cambios en el Sol a lo largo de un ciclo solar completo, -añade Leibacher-, de modo que hemos ampliado nuestro experimento hasta once años de observación." La introducción de cambios en la instrumentación de las seis estaciones permitirá a la red obtener 32 veces más datos de los conseguidos hasta ahora con una resolución espacial mucho mayor.

Desde tierra y desde el espacio

La combinación de experimentos como GONG, en tierra, y satélites solares como SOHO, desde el espacio, ha resultado fundamental para la Heliosismología por varios motivos. La ventaja de salir al espacio es conseguir observaciones continuas del Sol, sin la interrupción día-noche, para lo cual el satélite debe situarse en una posición donde nunca sea ocultado por la Tierra (un 1% de la distancia de la Tierra al Sol). "El resultado es que, con un solo instrumento en lugar de con una red de seis, como es el caso de GONG, consiguen observar el Sol sin interrupción – asegura Leibacher. Otra ventaja es su situación fuera de la atmósfera terrestre, con lo que pueden obtener imágenes libres de la distorsión que la atmósfera introduce inevitablemente en las observaciones. SOHO puede 'ver' el Sol con gran detalle. Pero tiene también sus inconvenientes. Además de su elevado coste, las imágenes que se obtienen no son estáticas, lo que se mide son frecuencias en las ondas solares con una precisión de uno sobre cien mil. El resultado es una información confusa, y muchas de las conclusiones que hemos podido sacar de las observaciones del satélite deben contrastarse con una fuente completamente independiente."

Las observaciones de SOHO y las de GONG son complementarias. "Una de las ventajas de los instrumentos en tierra frente a los satélites es que no se pueden perder – advierte Leibacher-, como le sucedió a SOHO. Además, es mucho más sencillo cambiar un instrumento si se avería o mejorar la instrumentación en general si es necesario, el único inconveniente es su menor resolución espacial. Otra ventaja es que recuperamos la totalidad de los datos. Actualmente, a pesar de que tenemos una cámara pequeña, recuperamos el 100% de los datos y lo mismo sucederá cuando instalemos las nuevas cámaras. En cambio, en el caso de los satélites, los datos deben canalizarse a través de redes especiales (*Deep Space Network*), que limitan la cantidad de datos que pueden aprovecharse."



John Leibacher

"SE PUEDE DECIR QUE EL SOL PRÁCTICAMENTE NO SE PONE PARA GONG. CIENTÍFICAMENTE HA SIDO TODO UN ÉXITO: NO SÓLO SE HAN CUMPLIDO LOS OBJETIVOS PROPUESTOS, COMO MEDIR LA TEMPERATURA Y ESTUDIAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS REGIONES CERCANAS A LA SUPERFICIE SOLAR, SINO QUE, ADEMÁS, NOS HEMOS TROPEZADO CON DESCUBRIMIENTOS IMPREVISTOS."

El satélite SOHO

El satélite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) está destinado al estudio de la corona y el viento solares y del interior del Sol. Lanzado en diciembre de 1995 por la ESA en colaboración con la NASA, ha contado con la participación del IAC en forma de dos instrumentos heliosismológicos: GOLF y VIRGO, ambos versiones espaciales de dos instrumentos instalados en el Observatorio del Teide. Cinco años después de su lanzamiento, SOHO ha permitido obtener gran cantidad de datos e imágenes que han supuesto un indiscutible avance en el conocimiento de nuestra estrella y que fueron objeto de evaluación en este congreso, en el marco del cual tuvo lugar la décima reunión monográfica dedicada a este satélite.



Cristina Rabello-Soares

La astrofísica brasileña María Cristina Rabello-Soares, que realizó su tesis doctoral en el IAC, actualmente en la Universidad de Stanford (Estados Unidos), trabaja sobre bases de datos de satélites destinados al estudio del Sol. Esta científica se ocupa especialmente de los datos extraídos de SOHO y en el congreso presentó una conferencia sobre la determinación de las frecuencias de grado alto en Heliosismología y sobre la importancia de efectos instrumentales en su determinación.

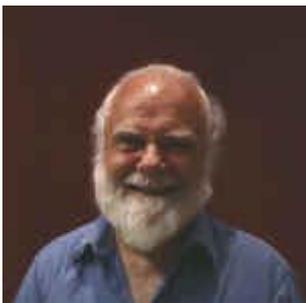


David Guenther

La precisión de los datos sismológicos es relativa; puede ser evaluada en función de muchos factores. Según Rabello-Soares, «el interior solar, que se estudia a partir de las frecuencias de los modos, se conoce con bastante precisión». Sin embargo, añadió que «una variación pequeña, incluso de 1 microhertzio que puede darse para frecuencias solares de unos 3.000 microhertzios, es importante porque, si hay una diferencia sistemática en las frecuencias, al calcular a partir de ellas los parámetros del interior solar se introducen errores». Partiendo de las frecuencias, se calculan diversos parámetros, como «la densidad y la velocidad del sonido. La temperatura no se obtiene directamente, sino mediante un modelo. Con estos datos se construyen modelos –continúa Rabello-, que predicen la variación de, por ejemplo, la densidad con el radio, y se intenta conocer qué altera esos modelos».

Sismología Estelar

En Sismología Solar y en Sismología Estelar no se emplean técnicas completamente diferentes, pero tampoco exactamente iguales. En el caso del Sol, se pueden observar pulsaciones en zonas determinadas de su superficie, mientras que en una estrella no, al estar a mayor distancia a la Tierra. «La Astrosismología permite observar la variación del brillo con el tiempo. Nada más –explica David



Douglas Gough

Guenther, de la Universidad de Saint Mary (Canadá). La vibración de la estrella cambia al hacerse vieja, lo que permite determinar su edad.»

A diferencia de su aplicación al Sol, la Sismología Estelar aún no ha dado resultados espectaculares, lo más destacable quizá sea, según Guenther, «la posible detección en algunas estrellas de cambios en su luminosidad que implican oscilaciones... Pero no, todavía estamos a la espera.» En este joven campo de la Astrofísica, la teoría ha precedido a las observaciones por un amplio margen: «hay modelos de estrellas desde los años cincuenta. En cambio, hoy en día todavía no hay observaciones convincentes sobre oscilaciones estelares.» La razón por la que esta ciencia resulta tan interesante es que, posiblemente, en un futuro próximo se obtendrán datos fidedignos de oscilaciones estelares. «Sólo tenemos que esperar –asegura Guenther. En dos o tres años habrá satélites capaces de ver oscilaciones en estrellas y, una vez observadas, se harán los mismos estudios en las estrellas que se han hecho en el Sol para determinar cómo es su interior, qué movimientos tienen lugar cerca de la superficie, su radio, su edad...»

El núcleo solar: todo un reto

La conferencia de clausura fue impartida por Douglas Gough, actual director del Instituto de Astronomía de Cambridge (Reino Unido) y uno de los científicos que más ha contribuido al desarrollo de la Física Solar, la Astrofísica, la Dinámica de fluidos y la Estructura estelar. Fue Gough quien demostró en su día que el núcleo del Sol era inestable a los modos de oscilación gravitatorios, lo que ponía en entredicho la validez de los modelos estándar. Como experimentado investigador y teórico en este campo, presentó las conclusiones del congreso.

Según Gough, la Heliosismología es ya una ciencia madura, algo que se ha conseguido por dos circunstancias: por el hecho de contar con una red de observación en todo el mundo como es GONG y por haber salido al espacio con satélites como SOHO. «Analizando cuidadosamente los datos obtenidos de estas dos fuentes estamos conociendo detalles ocultos a primera vista en esos datos –sostiene Gough. Los datos que antes nos parecían poco importantes nos sirven ahora para responder a preguntas como cuál es la naturaleza de la materia, especialmente la materia que constituye el Sol, y cómo se comporta». En su resumen final, Gough destacó los temas fundamentales tratados en el congreso, como la dinámica de fluidos y la estructura del núcleo solar.

El estudio de la dinámica de los fluidos "contribuye a conocer mejor el comportamiento del Sol, con lo que hemos podido medir con gran precisión la rotación del interior solar —explica Gough—. Las regiones externas del Sol están en un permanente estado de convección, mientras que el interior creemos que está relativamente en calma. La zona de transición entre una región y otra es una fina capa donde se producen cambios de velocidad y la estructura de esa capa es crítica para conocer no sólo cómo se produce la rotación solar, sino también para entender cómo se genera su campo magnético, responsable de la actividad solar que afecta a la Tierra."

Otro aspecto abordado en este congreso fue la estructura del núcleo solar. Llegar a conocer el núcleo del Sol "es todo un reto —asegura Gough—, porque es la parte más difícil de estudiar." Se necesitan mediciones de una exactitud extraordinaria y en largos períodos de tiempo. Se ha intentado con instrumentos de la red de observación solar BISON (uno de ellos instalado también en el Observatorio del Teide y en el que trabaja el grupo del IAC) y con el instrumento heliosismológico GOLF, instalado en el satélite solar SOHO. "El objetivo de sus observaciones —explica el físico solar— es estudiar las características de las ondas que penetran hasta el interior del Sol, de modo que podamos conocer su estructura. La dificultad aquí es que las ondas se transmiten a la velocidad del sonido, y ésta aumenta a medida que lo hace la temperatura. Dada la distribución de la temperatura en el interior solar, el tiempo que estas ondas pasan en el núcleo del Sol es muy poco, con lo que su estructura viene determinada sobre todo por las regiones más externas. En este congreso hemos abordado los intentos de mejora en las mediciones y las deducciones extraídas de las medidas que ya tenemos. La conclusión es que conocemos mejor la estructura del núcleo solar que hace unos años."

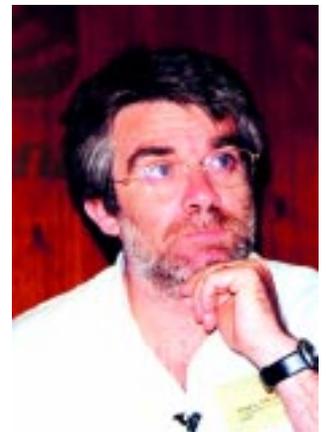
Por su parte, Pere L. Pallé, investigador del grupo de Física Solar del IAC y organizador del congreso, destaca que esta reunión "puso de manifiesto la existencia de una comunidad muy activa en un tema que requiere una alta especialización, como es el estudio del interior del Sol." Subraya también que "por primera vez se hace una puesta en común de lo que es el primer análisis exhaustivo tras cinco años de la misión espacial SOHO y, a la vez, se confrontan con la primera explotación a largo plazo de los datos obtenidos con las redes terrestres de Sismología Solar. Al contrastar los datos espaciales y terrestres empieza a estar clara la

existencia del ciclo de actividad solar y el papel que desempeñan las oscilaciones." Otro aspecto interesante ha sido la profundización en el estudio de la llamada "tacoquina" (*tachocline*, en inglés), la capa de transición entre el interior radiativo del Sol y la zona convectiva. "Esta capa —explica Pallé—, descubierta hace muy pocos años, está acaparando la atención de la mayoría de los teóricos de los grupos de Sismología Solar en el mundo. Por último, es de destacar el enorme esfuerzo que se está haciendo en la detección de los modos de oscilación gravitatorios que, tras más de veinte años de intentos de detección, aún hoy seguimos buscando. Bastaría con detectar bien dos o tres modos gravitatorios (recordemos que se han detectado ya unos 15.000 modos acústicos diferentes en el Sol), para conocer mejor la zona más interna del Sol."

Homenaje a Vicente Domingo

Vicente Domingo, coordinador científico hasta su jubilación del proyecto espacial SOHO de la Agencia Europea del Espacio (ESA), recibió durante el congreso el homenaje de la comunidad científica internacional por sus contribuciones al estudio del Sol y su promoción de las iniciativas científicas. Este físico valenciano de 66 años ha sido director científico del proyecto SOHO, y a él se debe gran parte del papel actual de nuestro país en proyectos científicos internacionales en el espacio. «La situación era complicada los primeros años, en torno al año 70 —indicó al respecto—. La investigación española ha sido siempre reducida y apenas hubo aprovechamiento al principio». Destacó que la delegación española en ESA siempre procuró «un retorno tanto económico como científico» y puso como ejemplo del éxito a empresas como CASA o SENER, en el terreno de la ingeniería. En lo científico, «todo ha mejorado mucho en los últimos 15 ó 20 años, con la participación del Instituto de Astrofísica de Canarias o el Instituto de Astrofísica de Andalucía».

En opinión del científico valenciano, «el IAC ha sido el grupo español que más ha participado en la ESA. De hecho, su contribución fue determinante. Algunos instrumentos de SOHO tienen como precedentes a otros que ya funcionaban aquí, en Canarias, en 1976. Hoy en día, participan universidades, como la de Barcelona en HIPPARCOS, el satélite que hizo el más avanzado mapa estelar; o la parte científica del INTA [Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial] y la Universidad de Valencia, por ejemplo, que construyen parte del satélite INTEGRAL, para estudiar los rayos gamma».



Pere L. Pallé



Vicente Domingo

Resumiendo...

TEODORO ROCA CORTÉS
(IAC/ULL)

Este congreso viene a constatar la madurez adquirida por los estudios heliosismológicos en sus dos décadas de existencia, aproximadamente. La precisión, incomparable en Astrofísica, con la que se pueden medir, convierte a las frecuencias propias de vibración acústica (mejor que 10 partes en un millón) en el parámetro solar medido de forma más precisa. Afortunadamente, es esta precisión la que permite determinar la estructura interna de nuestro Sol, desde su superficie (visible directamente) hasta su centro (invisible). Se han presentado excelentes estudios hechos sobre datos proporcionados por los experimentos a bordo de SOHO o en las redes terrestres GONG, TON, ECHO, BISON, etc... que asientan anteriores resultados discutibles o análisis preliminares.



Teodoro Roca Cortés

Muy interesante fue, sin duda, uno de los descubrimientos presentados sobre la situación, medida y caracterización de una capa delgada (aproximadamente 20.000 km) llamada tacomina, que juega un papel primordial en los fenómenos que se producen en el Sol, en concreto su rotación y su ciclo de actividad magnética. Situada justo por debajo de la base de la zona de convección, en esta capa la rotación solar pasa de ser rígida (en las 5/7 partes de su interior) a ser diferencial con la latitud (en sus 2/5 partes más externas). Justo en esta zona es donde se cree que puede acumularse un campo magnético toroidal que por flotabilidad irá haciendo su aparición en la superficie en forma de manchas. En este caso, como siempre en los avances científicos, estos resultados están generando numerosas preguntas o conjeturas que será necesario comprobar y medir.

Por otro lado, los problemas más interesantes aún por precisar aparecen cerca de la superficie solar y cerca del centro. Cerca de la superficie, la dinámica y las propiedades del plasma son mucho más complejas produciéndose fenómenos interesantes a escalas, tanto espaciales como temporales, muy pequeñas. Aquí, las técnicas de estudio presentadas en este congreso pueden englobarse en la Tomografía Solar. Estas, junto con los datos que proporcionen GONG, SOHO y otros, deben ser capaces de revelar con precisión qué sucede debajo de la superficie solar, en zonas que no podemos ver. Resultados de cómo aparece la actividad magnética o cuáles son los flujos de material se presentaron como primeras aplicaciones.

Los problemas cerca del centro solar son mucho más difíciles de resolver. La precisión con que se miden los modos acústicos que sondan el centro no es suficiente como para poder saber qué ocurre allí. Necesitamos medir los modos de tipo gravitatorio que son mucho más sensibles a las condiciones físicas del plasma en el centro solar. Este es uno de los problemas principales por los que se diseñaron los experimentos a bordo del satélite SOHO. Los análisis de los datos proporcionados por estos experimentos nos dicen que su amplitud debe ser menor que el ruido convectivo solar que en estos momentos es muy pequeño, alrededor de 1 mm/s. La solución se presenta complicada y en este congreso parece que el desafío de su detección sigue abierto con grupos trabajando con estos datos y pensando en experimentos futuros más precisos aún.

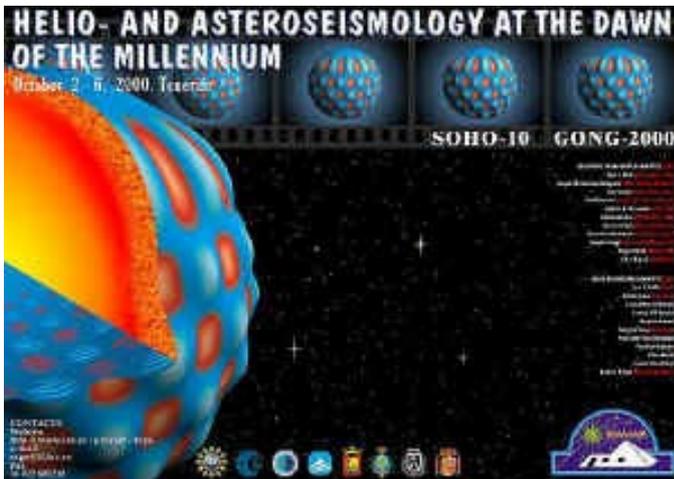
Muy interesante fue la sesión dedicada a la Astrosismología. Una manera de conocer la evolución pasada y futura del Sol consiste en observar estrellas ligeramente menos/más viejas. La aplicación de las técnicas de la Heliosismología al estudio de la estructura de las estrellas se ha planteado hace ya una década. Después de muchos esfuerzos, tanto teóricos como de observación, se llegó a la conclusión de que eran necesarias observaciones desde el espacio para poder medir con la precisión requerida modos de oscilación en estrellas diferentes a nuestro Sol. Es una gran satisfacción que en este congreso se hayan presentado hasta 4 misiones espaciales de diferentes países y agencias, en diferentes fases de desarrollo y aprobación, que permitirán el acceso a esta información, haciendo posible un salto cualitativo y cuantitativo en nuestro conocimiento de la evolución solar y también estelar.

Me sorprendieron mucho las numerosas e interesantes aportaciones de los nuevos jóvenes investigadores en este congreso, precisamente sobre estos problemas que son los que van a tener que solucionar principalmente ellos en el futuro inmediato. Ello da idea de lo activa que sigue siendo esta disciplina y del peso de sus aportaciones a la Física y al conocimiento del Universo que nos rodea, precisamente el más cercano a nosotros. Personalmente, es una gran satisfacción comprobar cómo las primeras investigaciones que realicé como estudiante de doctorado en la Universidad de La Laguna y en el Instituto de Astrofísica de Canarias (entonces aún no existía), han contribuido, junto con muchas otras, al nacimiento y desarrollo de unas disciplinas que proporcionan tanta información sobre nuestro Sol y Sistema Solar y que han interesado, y lo siguen haciendo, a tantos talentos en todo el mundo.

Por último, y no por ello menos importante, es una satisfacción enorme para un profesor universitario e investigador en Física Solar poder recibir a los numerosos colegas que nos visitaron y no sólo mostrarles la ciencia que hacemos por aquí, sino también ejercer como anfitriones para mostrarles las islas y el excepcional y tradicional sentido de la hospitalidad que tenemos sus habitantes e instituciones.



Participantes en el congreso "Helio and Asteroseismology at the Dawn of the Millennium. SOHO 10 and GONG 2000" e instantáneas de la reunión.



Cartel anunciador del congreso.

COMITÉ ORGANIZADOR CIENTÍFICO:

J. Christensen-Dalsgaard, B. Fleck, E. Fossat, D. Gough, D. Guenther, S. Korzennik, J. Leibacher, P.L. Pallé, C. Régulo, H. Shibahashi

COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL:

J. de Arazo, J.A. Belmonte, A. Eff-Darwich, L. Fox, A. Jiménez, T. Karthaus, P.L. Pallé, C. Régulo, T. Roca Cortés, A. Wilson, E. Bejarano

ENTIDADES PATROCINADORAS:

Instituto de Astrofísica de Canarias, National Science Foundation (EEUU), Agencia Espacial Europea (ESA), CajaCanarias.

ENTIDADES COLABORADORAS:

Ayuntamiento de La Laguna, Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife, Cabildo de Tenerife, Sun Microsystems Ibérica, BBVA, DISA Corporación Petrolífera, S.A., Iberia.

Dirección en Internet:
<http://www.iac.es/project/sogo/>

LUZ MARINA CAIRÓS BARRETO presentó su tesis doctoral titulada “*Formation and Evolution of Blue Compact Dwarf Galaxies*” (“Formación y evolución de galaxias enanas azules”), el 22 de septiembre, en el Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna, obteniendo la máxima calificación de Sobresaliente “cum laude”. Esta tesis ha sido dirigida por los doctores José Manuel Vílchez (IAA), Casiana Muñoz-Tuñón (IAC) y Nicola Caon (IAC).

“Formación y evolución de galaxias enanas azules”

LUZ MARINA CAIRO S BARRETO

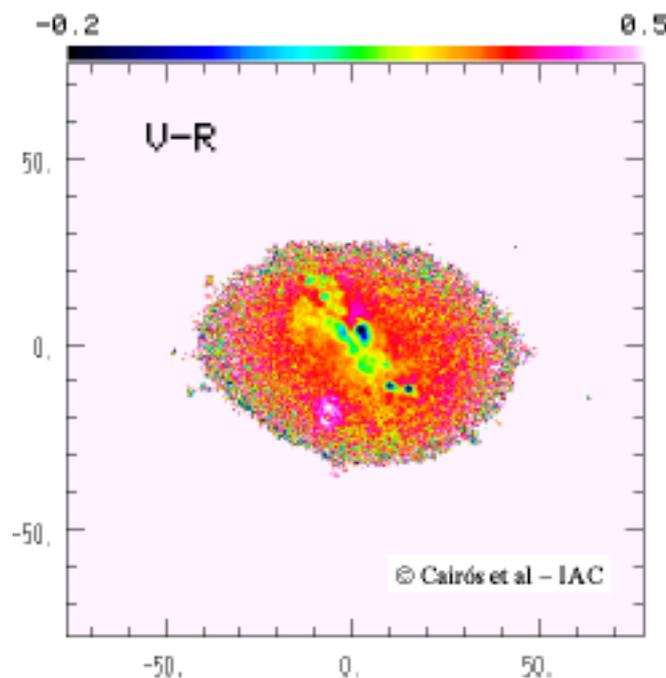
Nació en La Laguna, Tenerife, el 15 de septiembre de 1972. Estudió Ciencias Físicas (Especialidad de Astrofísica) en la Universidad de La Laguna entre 1990 y 1995. Posteriormente consiguió una beca Erasmus para trabajar en el *Queen Mary and Westfield College* de la Universidad de Londres, durante tres meses. Entre 1995 y 1999 fue Astrofísica Residente del IAC. Actualmente ocupa un puesto postdoctoral del IAC en el Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile (DMUC), en Santiago de Chile.

Este trabajo se centra en el estudio del origen y evolución de las Galaxias Enanas Azules (BCDs). Se ha analizado una muestra de 28 BCDs, basándose principalmente en observaciones fotométricas en banda ancha, -filtros *U, B, V, R, I* y en filtros estrechos $-H\alpha$ y su continuo adyacente-. Para determinados objetos, la fotometría se ha complementado con datos espectroscópicos. A partir de las observaciones en filtros anchos se han construido mapas de contorno, perfiles de brillo superficial y perfiles y mapas de color para todas las galaxias de la muestra. La alta calidad de los datos (se alcanzaron niveles de brillo superficial del orden de $26-27 \text{ mag arcsec}^{-2}$ en el filtro B) permitió detectar una componente de bajo brillo superficial en la mayoría de estos objetos, cuyos parámetros estructurales fueron derivados ajustando una ley exponencial. Se han calculado los colores y las luminosidades de la componente de alto brillo superficial y de esta

componente de bajo brillo. Utilizando los mapas de color, se aislaron los brotes de formación estelar, cuyos colores se derivaron utilizando fotometría de apertura. Los colores de las distintas poblaciones estelares han sido comparados con las predicciones de los modelos de síntesis evolutiva. Los observables de las regiones de formación estelar se reproducen utilizando un modelo con los siguientes parámetros: brote instantáneo con una función inicial de masa de Salpeter (con masa superior a 100 masas solares), y, en todos los casos, edades inferiores a 5 millones de años. Las galaxias subyacentes presentan un rango de edades desde menos de mil millones de años (para las galaxias menos luminosas) hasta aproximadamente 5.000 millones de años, las más luminosas. Finalmente, se ha llevado a cabo un estudio espectrofotométrico de tres típicas BCDs: Mkn 370, Mkn 600 y Mkn 36.

TRIBUNAL

Francisco Sánchez (IAC)
Mercedes Prieto (ULL/IAC)
Enrique Pérez (IAA, CSIC)
Alessandro Boselli (LAM)
Miguel Mas Hesse (LAEFF)



Mapa de color de la galaxia Mkn 36. Las imágenes han sido obtenidas con el telescopio NOT, del Observatorio del Roque de los Muchachos.

CARMEN DOLORES BELLO FIGUEROA presentó su tesis doctoral titulada "Improving the image quality of segmented mirror telescopes" (Mejora de la calidad de imagen en telescopios de espejo segmentado), en el Aula Magna de la Facultad de Físicas de la Universidad de La Laguna, el 29 de noviembre de 2000, obteniendo la máxima calificación de Sobresaliente "cum laude". Esta tesis fue dirigida por los doctores Nicholas Devaney (GTC) y José Miguel Rodríguez Espinosa (GTC/IAC).

"Mejora de la calidad de imagen en telescopios de espejo segmentado"

Los astrónomos requieren telescopios cada vez mayores para poder observar objetos más débiles. Los telescopios con espejos segmentados se han propuesto como una solución al problema de incrementar el diámetro del espejo primario.

Esta solución es relativamente nueva, y sólo tres telescopios que hayan adoptado esta tecnología están ahora en operación (Keck I, Keck II y el telescopio Hobby Eberly). El Gran Telescopio Canarias (GTC), que se instalará en el Observatorio del Roque de los Muchachos, del Instituto de Astrofísica de Canarias, será un telescopio con espejo primario segmentado. Uno de los requerimientos de este telescopio es que debe proporcionar una excelente calidad de imagen de forma que pueda aprovechar las excelentes condiciones atmosféricas en este observatorio. Existen ya planes para la próxima generación de telescopios extremadamente grandes, con espejos primarios de hasta 100 m de diámetro. Estos telescopios emplearán tecnología de espejos segmentados.

El objetivo de este trabajo es optimizar la calidad de imagen que puede alcanzarse con un telescopio segmentado. Para hacer esto, en primer lugar hemos caracterizado los errores ópticos específicos de telescopios con espejos segmentados y analizado su efecto en varios parámetros de calidad de imagen por medio de simulaciones. El efecto del desalineado entre los segmentos que forman el espejo ha sido estudiado desarrollando un modelo sencillo analítico de dos anillos.

Habiendo analizado los errores ópticos específicos de espejos segmentados, desarrollamos un sensor de frente de onda que será el encargado de proporcionar información acerca de la forma de los segmentos al sistema de óptica activa y al modelo de comportamiento del telescopio. Este sensor de frente de onda es del tipo Shack-Hartmann. Para él hemos desarrollado algunas nuevas geometrías de subaperturas que permiten medir el frente de onda localmente en cada segmento. Hemos derivado un reconstructor modal que minimiza el error en la estimación de los coeficientes que caracterizan al frente de onda

en una expansión de polinomios de Zernike. Se muestra que el rendimiento del sensor de Shack-Hartmann junto con el reconstructor modal en la caracterización de la forma de los segmentos es muy bueno.

Pasamos entonces a los errores de pistón entre los segmentos. Presentamos un breve análisis de las posibles técnicas de cofaseo, y nos centramos en la cámara de cofaseo, basada en el análisis del perfil de la PSF (la función de ensanchamiento de un punto) de subaperturas circulares situadas en los bordes de los segmentos. Hemos desarrollado un modelo analítico completo para la PSF correspondiente a una subapertura cuadrada situada en el borde de los segmentos, que nos permite incluir otros errores ópticos aparte del error de pistón. Hemos propuesto un sensor de frente de onda global que es capaz de medir no sólo los errores de figura locales a los segmentos, sino también los errores de pistón entre ellos y corregir estas medidas del efecto de los errores de figura locales. Este sensor será parte de la cámara de adquisición y guiado del telescopio GTC.

Hasta ahora hemos supuesto que el telescopio opera en el régimen de larga exposición y que, por tanto, la calidad de imagen está limitada por *seeing* en el visible. Sin embargo, es igualmente importante analizar qué ocurre cuando un sistema de óptica adaptativa opera en un telescopio segmentado. Los efectos de segmentación podrían ser más importantes en este caso, ya que el sistema de óptica adaptativa corrige parte de los errores inducidos por la turbulencia atmosférica. Hemos estudiado por tanto, el efecto de la segmentación en el rendimiento de sistemas de óptica adaptativa, y hemos demostrado que estos sistemas operando en telescopios segmentados no demandan una solución muy diferente de la de aquellos que lo hacen en telescopios monolíticos, y que el sistema de óptica adaptativa puede además corregir parte de los errores de pistón del espejo.

La idea de construir telescopios extremadamente grandes basados en espejos primarios segmentados y utilizando óptica adaptativa parece por tanto factible.

CARMEN DOLORES BELLO FIGUEROA

Nació en La Orotava (Tenerife), el 18 de diciembre de 1973. Se licenció en Ciencias Físicas (especialidad de Óptica) por la Universidad de Zaragoza en junio de 1996. Fue becaria de verano de instrumentación en el Departamento de Óptica del IAC durante los veranos de 1995 y 1996. Durante el curso 1995-1996 disfrutó de una beca de colaboración en el Departamento de Óptica de la Universidad de Zaragoza. En octubre de 1996 obtuvo una plaza de Astrofísico Residente al IAC, donde ha permanecido hasta enero de 2001. En esta fecha se incorporó como ingeniero postdoctoral a ONERA, en París.

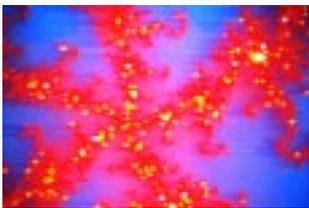
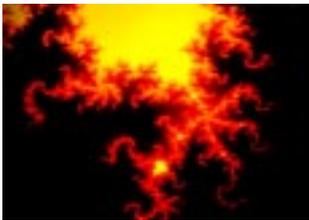
TRIBUNAL

*Francisco Sánchez (IAC)
Pedro Álvarez (GTC)
Salvador Cuevas (UNAM, México)
Christopher Solomon (Univ. de Kent, Reino Unido)
Salvador Bará (Univ. de Santiago Compostela)*

Hacia el conocimiento de la realidad

SILBIA LÓPEZ DE LACALLE RAMOS

Se aproxima una crisis de percepción. La complejidad del mundo ha llevado al ser humano a simplificar la realidad, a abstraer la naturaleza para hacerla cognoscible y, tristemente, a caer en la trampa de la dualidad. Bien y mal; objetivo y subjetivo; arriba y abajo. Pero la tendencia a ordenarlo todo choca con la misma realidad, irregular y discontinua. Muchos científicos ya han renunciado a la ilusión del orden para dedicarse al estudio del caos, que acepta al mundo tal y como es: una imprevisible totalidad.



Fractales.
(Fotos: Fernando Rosa, IAC).

A mediados de este siglo, la evolución de la ciencia se vio alterada por una reflexión comparable a esta: "conocemos el movimiento de los planetas, la composición de las moléculas, los métodos para explotar la energía nuclear..., pero ignoramos por qué las cebras tienen manchas o el motivo de que un día llueva y al siguiente haga sol". La búsqueda de una explicación a los fenómenos naturales que observamos, complejos e irresolubles mediante fórmulas, configuró lo que se conoce como Teoría del Caos, una disciplina que, si bien niega el mérito de la ciencia clásica, propone un nuevo modo de estudiar la realidad.

Un ligero vistazo a nuestro alrededor advierte de la tendencia general al desorden: un cristal se rompe, el agua de un vaso se derrama... nunca ocurre al revés. Pero, contrariamente a lo que se piensa, este desorden no implica confusión. Los sistemas caóticos se caracterizan por su adaptación al cambio y, en consecuencia, por su estabilidad. Si tiramos una piedra a un río, su cauce no se ve afectado; no sucedería lo mismo si el río fuera un sistema ordenado en el que cada partícula tuviera una trayectoria fija; el orden se derrumbaría.

Las leyes del caos ofrecen una explicación para la mayoría de los fenómenos naturales, desde el origen del Universo a la propagación de un incendio o a la evolución de una sociedad. Entonces, ¿por qué lleva la humanidad tantos siglos sumida en el engaño del orden? El problema parte del concepto clásico de ciencia, que exige la capacidad para predecir de forma certera y precisa la evolución de un objeto dado. Descartes aseguraba que si se fabricara una máquina tan potente que conociera la posición de todas las partículas y que utilizara las leyes de Newton para saber su evolución futura se podría predecir cualquier cosa del Universo. Esta afirmación, tan reduccionista como audaz, ilustra la euforia científica tras el descubrimiento de Neptuno gracias a las leyes de gravitación de Newton. Un hito científico que impuso el orden, el determinismo y la predicción

en la labor investigadora y limitó los objetivos a los fenómenos que coincidieran con el patrón previo. Lo demás (turbulencias, irregularidades, etcétera) quedó relegado a la categoría de ruido, cuando ese ruido abarcaba la mayoría de lo observable. Los físicos se dedicaron - y se dedican - a descomponer sistemas complejos corrigiendo lo que no cuadraba con la esperanza de que las pequeñas oscilaciones no afectaran al resultado. Nada más lejos de la realidad.

El fantasma de la no linealidad

A finales del siglo pasado, el matemático y físico Henri Poincaré cuestionó la perfección newtoniana en relación con las órbitas planetarias, lo que se conoce como el problema de los tres cuerpos. Planteaba una atracción gravitatoria múltiple, que hasta entonces se resolvía con las leyes de Newton y la suma de un pequeño valor que compensara la atracción del tercer elemento. Poincaré descubrió que, en situaciones críticas, ese tirón gravitatorio mínimo podía realimentarse hasta producir un efecto de resonancia que modificara la órbita o incluso lanzara el planeta fuera del sistema solar. Este devastador fenómeno se asemeja al acople del sonido cuando un micrófono y su altavoz se encuentran próximos: el sonido que emite el amplificador vuelve al micrófono y se oye un pitido desagradable. Los procesos de realimentación se corresponden en física con las ecuaciones iterativas, donde el resultado del proceso es utilizado nuevamente como punto de partida para el mismo proceso. De esta forma se constituyen los sistemas no lineales, que abarcan el 90% de los objetos existentes. El ideal clásico sólo contemplaba sistemas lineales, en los que efecto y causa se identifican plenamente; se sumaban las partes y se obtenía la totalidad. Poincaré introdujo el fantasma de la no linealidad, donde origen y resultado divergen y las fórmulas no sirven para resolver el sistema. Se había dado el primer paso hacia la Teoría del Caos.

LAS LEYES DEL CAOS OFRECEN UNA EXPLICACIÓN PARA LA MAYORÍA DE LOS FENÓMENOS NATURALES, DESDE EL ORIGEN DEL UNIVERSO A LA PROPAGACIÓN DE UN INCENDIO O A LA EVOLUCIÓN DE UNA SOCIEDAD.

SEGUNDO PASO: El Efecto Mariposa

"Espero que Dios no sea tan cruel para hacer que el mundo esté dirigido por fórmulas no lineales", comentaban algunos científicos en la década de los 50. Resultó que, en efecto, la naturaleza se regía por ellos. En consecuencia, como indica Ignacio García de la Rosa, investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), "el término 'no lineal' es un poco injusto; sería como llamar a los animales elefantes y no elefantes, pero como en aquellos tiempos no se podían estudiar estos sistemas, se redujo la terminología". En este caso, la panacea se manifestó en forma de ordenador que, aunque no podía resolver la naturaleza no lineal mediante fórmulas, permitía realizar simulaciones.

En 1960, el meteorólogo Edward Lorenz dio, sin proponérselo, el segundo paso hacia la Teoría del Caos. Entusiasta del tiempo, se dedicaba a estudiar las leyes atmosféricas y realizar simulaciones a partir de sus parámetros más elementales. Un día, para estudiar con más detenimiento una sucesión de datos, copió los números de la impresión anterior y los introdujo en la máquina. El resultado le conmocionó. Su tiempo, a escasa distancia del punto de partida, divergía algo del obtenido con anterioridad, pero al cabo de pocos meses -ficticios- las pautas perdían la semejanza por completo. Lorenz examinó sus números y descubrió que el problema se hallaba en los decimales; el ordenador guardaba seis, pero para ahorrar espacio él sólo introdujo tres, convencido de que el resultado apenas se resentiría. Esta inocente actuación fijó el final de los pronósticos a largo plazo y puso de manifiesto la extremada sensibilidad de los sistemas no lineales: el llamado "efecto mariposa" o "dependencia sensible de las condiciones iniciales". Se trata de la influencia que la más mínima perturbación en el estado inicial del sistema puede tener sobre el resultado final o, como recoge el escritor James Gleick, "si agita hoy, con su aleteo, el aire de Pekín, una mariposa puede modificar los sistemas climáticos de Nueva York el mes que viene". Cualquier variación, ya sea en una milésima o una millonésima, constituye una pequeña muesca que modificará el sistema hasta el punto de hacerlo imprevisible. La iteración ofrece resultados estables hasta cierto punto, pero cuando éste se supera el sistema se derrumba en el caos. Los científicos J. Briggs y F. D. Peat aplican esta idea al ciclo vital humano: "Nuestro envejecimiento se puede abordar como un proceso donde la iteración constante de nuestras células al fin introduce un plegamiento y una divergencia que altera nuestras condiciones iniciales y lentamente nos desintegra".

TERCER PASO: Digiriendo la complejidad

El carácter no lineal e iterativo de los sistemas de la naturaleza permite que instrucciones muy sencillas originen estructuras extremadamente complejas. La física de la complejidad busca reglas simples que expliquen estos organismos complejos. El

astrofísico Ignacio García de la Rosa parte de la pirámide de la evolución (que incluye quarks, núcleos atómicos, átomos, moléculas simples, biomoléculas, células, organismos y sociedades) para tratar la complejidad: "La mayor parte de la materia -señala- se encuentra en los estadios inferiores y no forma elementos más desarrollados, de modo que la pirámide va cerrándose; nosotros somos una minoría en comparación con todo el material que hay en el Universo. La pirámide va de la abundancia de lo sencillo a la complejidad de lo escaso".

Este concepto guarda relación con el lenguaje, que parte de las letras y pasa por las palabras, frases, párrafos, capítulos, libros, etc... con la peculiaridad de que las letras no tienen nada que ver con las palabras y así sucesivamente. Del mismo modo que la "z" no está emparentada con el concepto de "azul", las moléculas que dan origen a una cebra no determinan su constitución. Las estructuras complejas tienen propiedades ajenas a los ingredientes anteriores, lo que plantea un problema para la ciencia, que pierde su capacidad de predicción.

En la física clásica se presupone que los objetos son independientes de la escala que se emplee para medirlos y que existe la posibilidad de relacionarlos con su medida exacta. No así en la geometría fractal y la lógica borrosa, instrumentos empleados por los científicos del caos. Bart Kosko, autor de la llamada lógica borrosa, afirma de modo tajante que "cuanto más de cerca se mira un problema en el mundo real, tanto más borrosa se vuelve su solución".

Pero si la precisión difumina aún más el objeto de estudio, ¿qué estrategia debe emplearse para estudiar los sistemas complejos? Aquí interviene la teoría de la totalidad, que concibe el mundo como un todo orgánico, fluido e interconectado. Si algo falla no debe buscarse la "parte dañada", como en el caso de un televisor o una lavadora, sino que hay que revisar el sistema al completo, se trata de una unidad indisoluble. El gran error histórico de la ciencia consiste en observar la naturaleza de modo fragmentado y explicarlo todo mediante la suma de partes, ignorando dos cuestiones primordiales: la imposibilidad de "meter la totalidad en el bolsillo", porque el bolsillo también forma parte de ella, y la dependencia que existe entre el observador, lo observado y el proceso de observación; el hombre integra la realidad, de modo que su mera presencia altera el objeto de estudio.

La obsesión por interpretar el caos desde el punto de vista del orden debe dejar paso a una interpretación global, que salva las fronteras de las diferentes disciplinas y acepta la paradoja que convierte lo simple y lo complejo, el orden y el caos, en elementos inseparables. De hecho, lo más complejo que ha concebido el hombre, el fractal de Mandelbrot, se creó a partir de una ecuación iterativa muy simple; el caos es una inagotable fuente de creatividad, de la que puede también surgir el orden (y viceversa). Las civilizaciones antiguas creían en la armonía entre el caos y el orden, y definían el caos como una "suerte de orden implícito". Quizá sea el momento de hacerles caso.



Un ejemplo de fractal en la naturaleza.
(Fotos: M.C. Anguita)

LA OBSESIÓN POR INTERPRETAR EL CAOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL ORDEN DEBE DEJAR PASO A UNA INTERPRETACIÓN GLOBAL, QUE SALVA LAS FRONTERAS DE LAS DIFERENTES DISCIPLINAS Y ACEPTA LA PARADOJA QUE CONVIERTE LO SIMPLE Y LO COMPLEJO, EL ORDEN Y EL CAOS, EN ELEMENTOS INSEPARABLES.

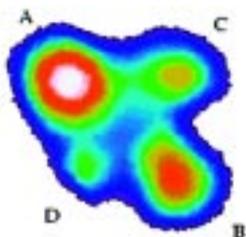
(*) Los reportajes de la sección "A través del prisma" de este número de IAC Noticias han sido elaborados por Silbia López de Lacalle Ramos, durante su estancia en el Gabinete de Dirección del IAC como becaria de Periodismo Científico en el verano de 2000.

El reverso de las imágenes

SILBIA LÓPEZ DE LACALLE RAMOS

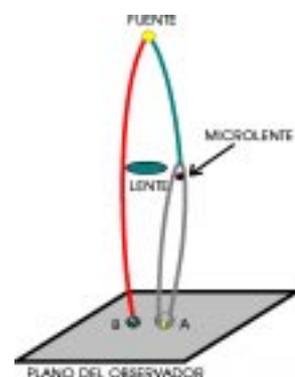
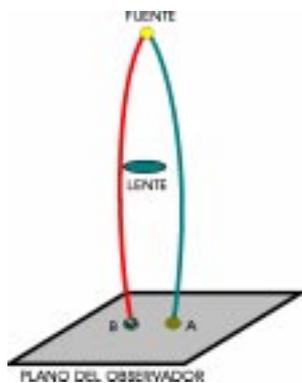
(*) Ver nota en página 33.

O la Naturaleza ha perdido facultades o el ser humano las está ganando. Resulta curioso que los espejismos, fenómenos de carácter y quizá de finalidad engañosa, se hayan convertido en una fuente de información fidedigna e independiente. «¿No actúan los cuerpos sobre la luz a distancia, y su acción dobla sus rayos? ¿y no es esta acción mayor cuanto menor es la distancia?». Aunque esta pregunta, formulada por Newton y retomada por Einstein, fijaba las bases para la investigación de las lentes (o espejismos) gravitatorias, no obtuvo respuesta hasta hace dos décadas. En la actualidad, las lentes son objeto de intensos estudios por parte de los astrofísicos y se les augura un futuro prometedor.



Lente gravitatoria Cruz de Einstein.

Los fenómenos lente se producen por la fuerza de gravedad de los cuerpos que se encuentran en la trayectoria de la luz. «Imaginemos una sábana tensada por los cuatro lados –sugiere Alex Oscoz, investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC); tenemos el Universo sin materia. Si una pelota cayera, ese espacio se curvaría y desviaría los rayos de luz emitidos por objetos lejanos». En el fondo, como explicaba el filósofo Bertrand Russel, la luz sólo sigue el camino más corto; si el camino entre dos ciudades se ve interrumpido por una montaña, los coches la rodearán en lugar de subirla. La luz, ante grandes cúmulos de materia, se desvía o se divide dependiendo de la masa del cúmulo y del grado de alineación de los dos objetos. El resultado varía desde un aparente cambio de posición hasta una deformación o multiplicación de la imagen fuente.



Esquemas de lente y microlente gravitatoria.

Tipología y elementos

La mayoría de las lentes encontradas tiene su origen en cuásares, los objetos más distantes descubiertos hasta la fecha. Un cuásar es un agujero negro rodeado por un disco de materia y una galaxia; el agujero negro atrae la materia del disco, que se calienta y empieza a emitir luz. Son, por lo tanto, objetos muy brillantes, cuya distancia extrema hace posible que la trayectoria de su luz se vea interrumpida por una galaxia.

Más de medio siglo después de que Einstein recomendara el estudio de las lentes, en 1979, se descubrió el primer cuásar doble. La abundante emisión de radio de los cuásares permitió su detección, pero no proporcionó la información suficiente para asegurar su condición de espejismos. Hubo que comprobar que no se trataba de dos cuásares gemelos, para lo que se confirmó, mediante observaciones intensas, la coincidencia exacta de los espectros y de las curvas de luz, y se localizó la galaxia lente. Hoy día, los criterios de verificación

siguen un patrón similar, algo ampliado, que determina el grado de certeza del descubrimiento. Evencio Mediavilla, astrofísico del IAC, relata el proceso de localización: «Primero hay que buscar un candidato, y para ello hay que fijarse en la separación; los estudios sobre la masa de las galaxias apuntan un rango de separación de entre 0,3 y 3 segundos de arco para que se dé el efecto lente. Cuásares hay pocos, si ves dos cerca es sospechoso, y si la separación es inferior a tres segundos de arco ya puedes imaginar que se trata de una lente gravitatoria. Después hay que comparar el color de las imágenes y sus espectros, detectar la galaxia lente y estudiar las curvas de luz; cada imagen sigue un camino de luz, por lo que una llega antes que otra, pero las señales emitidas deben ser iguales. Hay que corregir el retraso en el tiempo y comprobar la coincidencia de las señales.

«Muchos de los cuásares múltiples localizados fallan en alguno de los requisitos, pero no hay que negar su existencia; la galaxia lente puede ser demasiado débil para ser detectada o los espectros pueden verse afectados por ella y no parecer idénticos. Depende del grado de certeza que se exija, pero hasta el momento se han detectado unos treinta con alto grado de fiabilidad.

Los espejismos más comunes son dobles, aunque también se han detectado sistemas cuádruples, como el llamado Cruz de Einstein. Se trata de un ejemplo singular por su simetría, por la cercanía de la galaxia lente y porque además traza un arco que une tres de las componentes. El arco, producido por la emisión de la galaxia que alberga al cuásar, fue descubierto gracias a INTEGRAL, un sistema de espectroscopía bidimensional desarrollado por el IAC.

Los anillos de Einstein, una modalidad de espejismo producida por un cuásar, resultan especialmente atractivos pero escasos

debido a las condiciones requeridas: una alineación exacta entre los dos objetos y simetría de la masa de la lente. Como la fuente tiene un componente compacto (el agujero negro) y otro extendido (la galaxia), resulta una imagen doble formada por el anillo y su centro. De los treinta sistemas múltiples detectados, apenas media docena son anillos de Einstein y no todos presentan el círculo completo.

Pero no sólo los cúasares originan lentes; una galaxia, en alineación con un cúmulo de galaxias, también puede dar lugar a espejismos gravitatorios y ofrecer una imagen totalmente deformada. Dado que los cúmulos, por lo general, no presentan una estructura esférica, y la alineación con la galaxia suele ser inexacta, no se han hallado anillos de Einstein, pero sí enormes arcos que se curvan alrededor del centro del cúmulo.

Una última tipología de fenómenos lente es la producida por un cuerpo menor, por ejemplo una enana marrón o un agujero negro. Su fuerza gravitatoria provoca la división de los rayos de luz en una proporción mucho menor que las galaxias, de modo que la separación nos resulta imperceptible y sólo detectamos un aumento en el brillo de la imagen lejana. Este efecto, denominado microlente, puede ser motivo de confusión combinado con el de lente. Si una de las imágenes de un cuásar múltiple es sometida a una microlente, su curva de luz aparecerá modificada con respecto a su imagen gemela y exigirá comprobar si se debe a una emisión más intensa del cuásar o a un fenómeno de microlente. Hay que hallar el retraso en el tiempo y comparar las curvas para averiguar si ese pico se produjo en ambos (por emisión de la fuente) o sólo en uno de ellos (por efecto microlente).

Fuentes de información fiables

El estudio de las lentes gravitatorias no se inició desde la perspectiva del fenómeno óptico, sino porque constituyen una valiosa herramienta para medir parámetros cosmológicos. En primer lugar, explica Mediavilla, «calculando el retraso de la luz en sistemas múltiples se pueden obtener pistas sobre la constante de Hubble. La idea es: a medida que la señal llega hacia ti el Universo se expande, así que la expansión del Universo afecta a la llegada de la señal. Como tienes dos señales, la diferencia de tiempo depende de la constante de Hubble, que afectará más a la que más tiempo tarde. Si la constante es elevada, la fracción de diferencia de tiempo también lo será, y viceversa».

La cantidad de lentes detectadas puede ofrecer también información sobre la constante cosmológica, relacionada con la evolución del Universo. «Si se lanza una piedra desde la superficie de la Tierra –indica Mediavilla– esta descenderá a no ser que se lance con una fuerza superior a la velocidad de escape y atravesará el campo de atracción terrestre. El Universo explotó (Big Bang), pero se ignora si superó su velocidad de escape y seguirá expandiéndose o si no la alcanzó y volverá a contraerse y cerrarse (Big Crunch)». De aquí puede deducirse que si la cantidad de masa del Universo es muy elevada existen más posibil-

dades de que se contraiga. Un alto nivel de lentes implicaría un alto índice de alineación, posible gracias a la existencia de una gran cantidad de materia; la atracción de las galaxias compensaría el movimiento de expansión y provocaría la contracción. Por el contrario, si se descubren pocas lentes con respecto a lo que se presupone en el modelo, el Universo tendrá poca materia y menor tendencia a recontrarse.

Otros parámetros importantes, como la densidad del Universo o la cantidad de materia oscura, vienen revelados por fenómenos concretos. Los cúmulos de galaxias que actúan como lente, además de permitir la observación de galaxias muy tenues y su conocimiento en etapas tempranas, proporcionan información sobre su propia masa y, por extensión, sobre la densidad de materia en el Universo. Por su parte, las microlentes, al ser producto de objetos que no podemos ver pero que reflejan la luz de otros, permiten un acercamiento a la cantidad de materia oscura que existe en el Universo y a la estructura del cuásar emisor.

Una cantidad de información sorprendente para tratarse de una ilusión óptica.

Descubrimiento prematuro y desarrollo tardío

La primera mención sobre lentes gravitatorias, después de la de Newton, figura en un artículo alemán de 1804 titulado «Sobre la desviación de un rayo de luz de su trayectoria debido a la atracción de un cuerpo cerca del cual ha pasado». Su autor, el matemático y astrónomo Johann Soldner, investigó este efecto con relación al Sol y concluyó que la luz se desviaba de su trayectoria en un ángulo de 0,85 segundos de arco.

En 1911, Einstein, sin haber desarrollado aún la Teoría General de la Relatividad, obtuvo un valor semejante. Con el fin de comprobar la exactitud de sus resultados, una expedición partió hacia Crimea para observar un eclipse total de Sol, pero no pudo realizar su labor por el estallido de la Primera Guerra Mundial. Esta fatalidad permitió a Einstein corregir sus resultados y ofrecer, años después, el valor definitivo de 1,74 segundos de arco.

En las décadas posteriores este tema apenas fue objeto de investigaciones. En 1924, el astrónomo Chwolson mencionó la idea de una «estrella doble ficticia» y la naturaleza especular de las imágenes. Einstein registró en 1936 la existencia de dos imágenes amplificadas y de un círculo luminoso como consecuencia de la alineación entre la lente y la estrella fuente; concluyó que las galaxias y las estrellas podían actuar como telescopios naturales.

En los 60, un grupo de estudios demostró la utilidad de las lentes gravitatorias para investigar parámetros como la constante de Hubble. En esa década, el descubrimiento de los cuásares amplió el campo a este tipo de objetos e intensificó el interés de los científicos. Pero fue sólo en 1979, con la detección del primer cuásar doble, cuando esta rama de la astronomía se constituyó en uno de los pilares de la astrofísica.

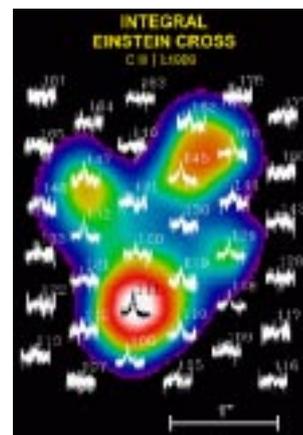
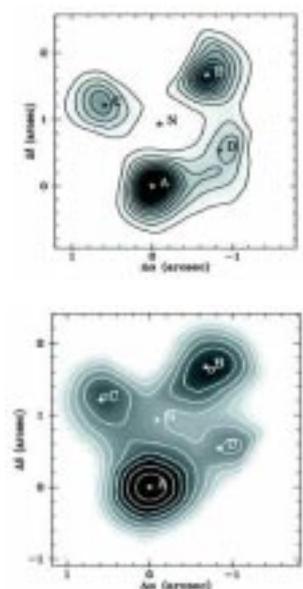


Imagen de la Cruz de Einstein obtenida con el sistema de fibras ópticas INTEGRAL.



Imágenes de la Cruz de Einstein en la línea $\lambda 1909\text{\AA}$ y en el continuo, a partir de observaciones con INTEGRAL.

Los augurios del pasado

SILBIA LÓPEZ DE LACALLE RAMOS

La ciencia a veces nos exige que creamos lo que no vemos. Una radiación, invisible para el ojo humano, impregna todo el espacio y nos revela los secretos mejor guardados del Universo: aquellos que se refieren a su origen, cuando sólo tenía 300.000 años (se estima que la edad del Universo puede estar entre los 12.000 y 15.000 millones de años). Si se tratara de la vida de una persona de ochenta, los datos hablarían sobre su primer día, apenas veintitrés horas después del nacimiento. Podemos considerar entonces esta radiación como una honorable y sabia ancianita que, al igual que nosotros, ha cambiado de aspecto con la edad. Los cálidos fotones de luz visible iniciales se han convertido en un fondo de radiación de microondas cuya temperatura ha descendido hasta las proximidades del cero absoluto: 270° bajo cero.

(*) Ver nota en página 33.



Simulación que muestra cómo pudo ser el Universo poco después del Big Bang. (Imagen: Grupo de Fondo Cósmico, IAC)



Los telescopios CMB de Tenerife superpuestos al fondo de una simulación de un modelo estándar de fondo cósmico de microondas.

En 1965, los laboratorios Bell Telephone (EEUU) asignaron a Arno Penzias y Robert Wilson la tarea de eliminar el ruido detectado en la antena de radio dedicada a las telecomunicaciones por satélite. Una vez suprimidas todas las posibles fuentes de ruido, descubrieron con sorpresa una señal de microondas que no variaba con el día ni con la estación del año y que además era isotrópica: presentaba la misma apariencia en todas las direcciones, de modo que no podía emanar de una estrella o una galaxia.

Por la misma fecha, James E. Peebles sugería la existencia de un fondo de radiación residual del universo primitivo, teoría acorde con la uniformidad observada. Estudios posteriores reafirmaron esta hipótesis y provocaron el abandono definitivo de las teorías del universo estacionario en favor de la del Big Bang, que postula la creación del Universo a partir de una gran explosión.

El sí definitivo al Big Bang

Penzias y Wilson obtuvieron el Premio Nobel de Física en 1978, un galardón muy discutido por tratarse de un descubrimiento ya anticipado en la teoría «alfa, beta, gamma» de George Gamow y Ralph Alpher. Confiaban en que la recesión de las galaxias era indicio claro de la expansión del Universo y, al invertir este proceso, llegaban a un momento en que todo estaba concentrado en un punto que sufrió un violento estallido, el *big bang*. Sus investigaciones se centraron en el estudio de las abundancias de hidrógeno y helio en las estrellas viejas comparadas con las que se intuía debía de haber cuando las proporciones se congelaron, segundos después de la explosión; la coincidencia de la proporción calculada (75% de hidrógeno y 25% de helio) mediante las leyes de la interacción nuclear, con la que existe en las estrellas viejas, compuestas de la materia

primigenia, no sólo confirmó la teoría de la gran explosión, sino que predijo la existencia de la radiación de fondo.

Según el modelo cosmológico aceptado en la actualidad, el Universo se formó a partir de una singularidad, es decir, un lugar donde las leyes de la física carecen de validez. Toda la materia y energía estaba contenida en un punto infinitamente denso y pequeño que experimentó un violento estallido, origen del tiempo, el espacio y todas las agrupaciones de materia, desde los supercúmulos de galaxias hasta el mismo ser humano.

Una centésima de segundo después de la explosión, la materia y la radiación se encontraban acopladas en una sopa cósmica con una densidad cuatro mil millones de veces mayor que la del agua y a una temperatura de unos cien mil millones de grados. La bola de fuego originaria se tornaba más débil y fría conforme el Universo iba expandiéndose, lo que permitió que, las partículas primero (como protones y neutrones) y los núcleos atómicos después, adquirieran estabilidad. A la edad de 300.000 años, el Universo se había enfriado lo suficiente para que los protones y electrones se unieran en átomos neutros de hidrógeno, con lo que se inició la época de desacoplamiento. Los fotones, antes mezclados en la sopa cósmica, comenzaron a propagarse independientemente de la materia por un Universo ya transparente.

De la misma forma que el gas de un globo aerostático pierde densidad al hincharlo, la radiación fue perdiendo temperatura y aumentando su longitud de onda a medida que el Universo se expandía; es lo que se denomina un corrimiento al rojo en el espectro electromagnético. La expansión de estos 15.000 millones de años ha provocado que la radiación fósil llegue en forma de microondas, un tipo de luz que el ojo humano no puede captar pero que impregna

«EL UNIVERSO SEGUIRÁ EXPANDIÉNDOSE Y ENFRIÁNDOSE Y TENDRÁ, DENTRO DE DECENAS DE MILES DE MILLONES DE AÑOS, UNA VIDA MUY TRISTE, OSCURA Y FRÍA CON TEMPERATURAS CADA VEZ MÁS PRÓXIMAS AL CERO ABSOLUTO».

todo el Universo, al igual que el gas llena todo el globo por mucho que lo agrandemos. Nosotros podemos detectar esta radiación encendiendo el televisor sin sintonizar; aproximadamente un 1% de la multitud de puntos que brillan desordenados en la pantalla son el remanente de la gran explosión, emitidos directamente desde el big bang a nuestro salón.

Anisotropías del fondo cósmico

«Todas las medidas indicaban una sorprendente uniformidad», explica Rafael Rebolo, profesor de Investigación del CSIC e investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). «Más técnicamente, la radiación era isotrópica; pero la existencia de galaxias y su actual agrupación exigían cierto grado de heterogeneidad en la distribución del plasma primordial. Esas fluctuaciones son las semillas a partir de las que habrían de crecer las estructuras que hoy observamos». Los científicos se toparon con el problema de la homogeneidad del fondo cósmico, cuya solución se encuentra en los instantes previos a la puesta en libertad de los fotones de la sopa cósmica. Existían fluctuaciones cuánticas, es decir, mínúsculas irregularidades que fueron cobrando intensidad con la violenta expansión inicial y generaron las acumulaciones que originarían las estructuras a gran escala. La interacción entre la radiación y la materia antes de separarse, quizá la más intensa que se ha dado nunca, imprimió su huella en la radiación, que hoy detectamos en forma de variaciones de temperatura (o anisotropías) en el fondo cósmico de microondas.

Pero las diferencias eran tan pequeñas que la medición desde la Tierra resultaba difícil debido a las perturbaciones atmosféricas. A mediados de la década de los ochenta, Rafael Rebolo (IAC) y John Beckman (IAC) con Rod Davies y Robert Watson (Universidad de Manchester) lideraron un proyecto para medir, desde estaciones terrestres, las anisotropías de la radiación de fondo, que posteriormente denominaron «cosmosomas» (Término que corresponde al acrónimo en inglés de «estructuras cosmológicas a escalas angulares medias»). Las frecuencias de los experimentos fueron escogidas considerando los huecos de la atmósfera terrestre para la observación radio y se realizaron más de 1.500 observaciones en ocho años. Pero, poco antes de publicar los resultados, el grupo del satélite COBE (*Cosmic Background Explorer*, explorador del fondo cósmico) anunció en 1992 el descubrimiento estadístico de la anisotropía del fondo, equivalente a una parte por cien mil (1/100.000). Juan Macías, astrofísico del IAC, afirma que «el verdadero descubrimiento es la anisotropía. El hecho de que exista un fondo cósmico sólo te indica que existió el *big bang*, pero para decir algo más necesitas medir las anisotropías estadísticamente, y de ahí deduces cuáles son las propiedades del Universo».

El universo plano

La importancia de los descubrimientos del COBE se debe a que las anisotropías pueden revelar los valores de la mayoría de los parámetros cosmológicos. Entre ellos se encuentran la constante de Hubble, que

determina el ritmo de expansión del Universo, la densidad de la materia que este contiene y si continuará su expansión o colapsará en el futuro, la cantidad de materia oscura que alberga, su edad actual y, finalmente, su geometría, asunto que ha llevado a numerosas confusiones.

Los últimos resultados obtenidos en el marco del proyecto Boomerang (siglas en inglés de Observaciones en globo de la radiación milimétrica extragaláctica y astrofísica), que opera en la Antártida desde un telescopio suspendido en un globo aerostático, concluyen que el Universo es plano, es decir, que respeta la geometría euclidiana. Se trata de la misma geometría que aprendemos en la escuela, en la que la línea más corta entre dos puntos es la recta, los ángulos de un triángulo siempre suman 180° y las líneas paralelas nunca se separan ni se cortan. No ocurriría lo mismo en una superficie curva, que contempla dos posibilidades: la curvatura positiva, representada por una esfera, en la que los ángulos de un triángulo suman siempre más de 180°, y la curvatura negativa, similar a la forma de una silla de montar, en la que la suma siempre es inferior a 180°; en ambos casos la suma dependerá del tamaño del triángulo.

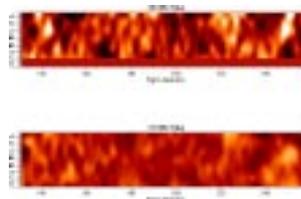
La Teoría de la Relatividad General de Einstein predecía que la fuerza gravitatoria de la materia podía curvar el espacio, lo que obligaba a describirlo mediante una geometría no euclidiana. Afortunadamente se equivocó porque, como sugiere Ignacio García de la Rosa (IAC), «si el Universo fuera curvo lo estaríamos observando deformado, como a través de un espejo cóncavo o convexo, dependiendo de que la curvatura sea negativa o positiva. Un Universo plano se nos muestra como a través de un cristal transparente, tal y como es».

El descubrimiento contempla otras importantes implicaciones, como la determinación del futuro del Cosmos. Según las leyes de la física, si el Universo fuera curvo contendría tanta materia que su fuerza gravitatoria frenaría la expansión y provocaría un colapso final, o tan poca que se expandiría para siempre a velocidad constante. Pero existe una densidad crítica, la que se sitúa en la línea divisoria entre los dos, que predice una expansión indefinida a una velocidad gradualmente menor; este es el caso del Universo plano. Por lo tanto, «el Universo seguirá expandiéndose y enfriándose y tendrá, dentro de decenas de miles de millones de años, con temperaturas cada vez más próximas al cero absoluto», señala Rafael Rebolo. Sólo las estrellas conservarán algo de calor hasta que agoten su combustible, se enfríen y mueran.

Pero los estudios del Boomerang, aunque reveladores, no ponen el punto final a las investigaciones sobre el fondo cósmico de microondas. El Instituto de Astrofísica de Canarias, en colaboración con las Universidades de Cambridge y Manchester, ha desarrollado el *Very Small Array* (VSA), un experimento destinado al estudio de las anisotropías tan preciso y sensible que quizá permita «ver» la huella que dejaron las primeras galaxias. Un nuevo paso adelante en el conocimiento de la naturaleza del Cosmos.



Radiómetros del Experimento de Tenerife, instalados en el Observatorio del Teide.



Estas imágenes, obtenidas con el Experimento de Tenerife, muestran variaciones de temperatura en el fondo cósmico de microondas; los puntos calientes son la huella de las anisotropías primordiales que permitieron la formación de agrupaciones de materia, es decir, la semilla de las estructuras que observamos en la actualidad.

ARQUEOASTRONOMÍA

ANNIA DOMÈNECH

Yo soy astrofísico, trabajo en nebulosas, y llegué a la *Arqueoastronomía* porque me interesa la historia y la arqueología. La *Arqueoastronomía* es el estudio del conocimiento astronómico de culturas antiguas: descubrir si una civilización observaba el cielo, cuál era su calendario, si orientaba las tumbas y los templos de una manera determinada... Si se comparan *patrones astronómicos* en diferentes culturas se puede saber si han estado en contacto entre ellas y cómo ha evolucionado su conocimiento astronómico.

Este estudio varía mucho según si las **culturas** antiguas son **históricas**, con vestigios escritos, o **prehistóricas**, sin testimonio escrito. En el primer caso, su conocimiento astronómico se obtiene principalmente leyendo sus textos e interpretando la información. En el segundo, se estudian los restos materiales.

El grupo de Arqueoastronomía del IAC trabaja, sobre todo, con **culturas no históricas**. Se utiliza la orientación de templos y tumbas para obtener datos objetivos a los que se puede aplicar la estadística. También se interpreta la iconografía, pinturas o representaciones de estas culturas, aunque éste es un análisis más subjetivo. La Arqueoastronomía necesita un análisis interdisciplinar: arqueólogos, antropólogos o astrónomos pueden trabajar en ella, pero necesitan conocimientos externos a la formación particular de cada uno, ya sea en humanidades o en astronomía. Aunque se está definiendo una metodología estándar de trabajo, todavía hay gente que, desgraciadamente, no trabaja de forma rigurosa ni estrictamente científica. Hay algunos que rozan el pseudocientifismo sobreinterpretando los datos, lo que va en detrimento de la verdadera Arqueoastronomía.

Existen diferentes tipos de **estudios arqueoastronómicos**. Los diagramas de orientación de templos, por ejemplo, representan su ubicación respecto al horizonte y permiten ver si hay un punto hacia el que los templos se orientan preferentemente o si su distribución es aleatoria. Es difícil relacionar los datos de orientación con la astronomía. Si los mismos patrones de orientación están repartidos por un área geográfica muy exten-

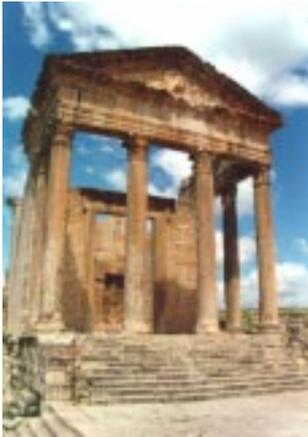
sa, como el cielo puede ser lo único común, probablemente se pueda inferir una explicación astronómica.

Los **parámetros astronómicos** más utilizados por civilizaciones antiguas para la ubicación de yacimientos son los solsticios de verano e invierno y los equinoccios. El **solsticio** de verano y el de invierno son los dos puntos que señalan los lugares extremos de salida o puesta del Sol a lo largo del año. El Sol ya no sale más al sur ni más al norte.

Los **equinoccios** pueden ser definidos de diversas maneras. Nuestro concepto de equinoccio proviene de la astronomía esférica, probablemente de los griegos, (s. III ó IV a.C) y de su intento de matematizar la posición de los astros en el cielo. La eclíptica es el círculo de la trayectoria del Sol a lo largo del año. El equinoccio tiene lugar cuando el Sol está sobre el Ecuador celeste, que es la proyección del Ecuador de la Tierra sobre el cielo.

Sin embargo, se han encontrado relaciones con el equinoccio en yacimientos megalíticos de Gran Bretaña, en templos ibéricos y santuarios canarios prehistóricos y en la América precolombina. Posiblemente, estas civilizaciones no conocían la geometría esférica, pero el equinoccio es también el momento en el que el Sol sale exactamente por el este. Asimismo, se puede determinar como el punto medio temporal entre los solsticios de verano y de invierno.

Las relaciones astronómicas no se refieren sólo a la orientación de un edificio, sino también a que ocurra un determina-



Capitolio de Dougga (Túnez), ciudad romana de origen nómada. (Foto: César Esteban)



Trayectoria del disco solar el día del equinoccio de otoño (23 de septiembre) tal y como se observa desde el santuario ibérico de La Serreta (siglo III-I a.C., Alcoi, Alicante). (Foto: Emilio Cortell)



Trayectoria del disco solar en tres días consecutivos alrededor del equinoccio tal y como puede verse desde el depósito votivo ibérico de El Amarejo (siglos IV-III a.C.). (Foto: César Esteban)

do fenómeno en un momento determinado del año, en dicho lugar. Por ejemplo, que el Sol entre directamente en el interior de un templo coincidiendo con el solsticio o el equinoccio. Si sólo ocurre en un sitio, puede ser por casualidad, pero, si ocurre en varios pertenecientes a la misma cultura, tiene seguramente una razón de ser.

En todo el mundo se han encontrado **yacimientos** con relaciones astronómicas. En Canarias, hay muchos fenómenos llamativos que se repiten. Su importancia estadística permite afirmar que los lugares sagrados aborígenes de las islas tenían algo que ver con la astronomía. Por ejemplo, en Gran Canaria está la necrópolis de Arteara, donde hay un túmulo, llamado del Rey por la gente del lugar, que un día de final de verano es iluminado por el Sol. Este día coincide con el equinoccio de otoño. Podría ser que se construyera la necrópolis en un lugar iluminado durante el equinoccio o que, una vez construida, se ubicara la tumba del rey en el sitio más apropiado. Otro ejemplo de relación arqueoastronómica en Gran Canaria es el Roque de Bentayga: la Luna llena en su posición más meridional sale justo por detrás del Roque Nublo y, además, el Sol durante el equinoccio ilumina directamente un petroglifo (un símbolo excavado en la piedra).

En el extranjero, en Egipto, existen templos orientados para que, en un determinado momento, se ilumine su interior e incluso determinados dioses en sus días de culto; en Inglaterra está Stonehenge, un yacimiento formado por círculos de piedras; o, en Irlanda, Newgrange, una tumba en la que entra el Sol en el solsticio de invierno a través de un largo corredor, un fenómeno que es muy difícil que sea debido al azar. En el norte de África (Marruecos, Túnez y Libia) hemos medido tumbas y templos. Los resultados indican que hay costumbres en la orientación de estos monumentos que pueden tener implicación astronómica y que, además, pueden estar relacionadas con otros hábitos que observamos en las Islas Canarias y en diferentes lugares del Mediterráneo antiguo.

Actualmente, estoy estudiando la cultura de los íberos en la Península, donde he relacionado diversos fenómenos con el equinoccio. Asimismo, he encontrado una cueva del Paleolítico, en Valencia, cuyo interior era iluminado por el Sol durante el solsticio de invierno; de hecho sigue iluminada, ya que no ha variado mucho la posición solar. Sería la relación astronómica conocida más antigua, de hace unos veinte mil años. Sin embargo,

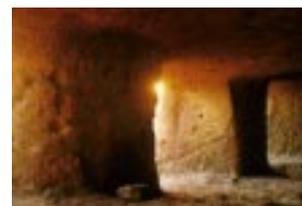
podría ser debida a la casualidad, ya que es el único yacimiento del paleolítico donde se ha observado.

Para hacer estudios astronómicos como éstos, se deben hacer ciertas suposiciones. Los yacimientos más susceptibles de tener alineación astronómica son los relacionados con **actividades religiosas o funerarias**. Una fortaleza o un pueblo deberían estar orientados o situados siguiendo otros objetivos, por ejemplo de defensa o cercanía de agua potable. Como astrónomo, sabes por dónde sale el Sol, la Luna, etc. y sabes medir orientaciones. Estos datos deben introducirse en el contexto histórico y arqueológico de los lugares. Lo mejor siempre es trabajar con arqueólogos para obtener esa información, o con historiadores. Por ejemplo, para los íberos, el equinoccio parece que era un momento importante del año. Históricamente, se sabe que también era principal para los griegos, que celebraban festividades sobre la fecundidad en el equinoccio muy extendidas por el Mediterráneo Antiguo. En el Oriente Próximo, los sirios y fenicios conocían el equinoccio, que era la base de su calendario y una gran festividad. La cultura ibérica es fruto de la colonización e influencia griega y fenicia durante el primer milenio a.C., lo que posiblemente vincula el uso ritual del equinoccio a esta relación cultural.

La **Arqueoastronomía** puede tener un carácter más popular o divulgativo que la Astrofísica porque los conceptos son relativamente sencillos, son fácilmente entendibles, y, además, porque a la gente le importa lo que le pasa a la gente. La historia de un pueblo, todo lo que tiene que ver con una sociedad, con una cultura, atrae más que lo que pueda ocurrir fuera de ella.



César Esteban frente al trilitón Ha'amonga-a-Maui en Hahake (isla de Tongatapu, Reino de Tonga). Construido alrededor del 1200 d.C., este monumento es singular en todo el Pacífico. El dintel se encuentra orientado a la salida del Sol en el solsticio de diciembre (verano en el hemisferio austral). (Foto César Esteban)



Orto solar en el solsticio de verano tal y como se observa desde el interior de la cueva de Cuatro Puertas, yacimiento prehistórico en Gran Canaria. (Foto: César Esteban)



Orto solar del día 19 de marzo de 2000 (día anterior al equinoccio de primavera) desde el depósito votivo ibérico (siglos III-IV a.C.) de El Amarejo (Albacete). (Foto: César Esteban)

(**) Monólogos elaborados por Annia Domènech, durante su estancia en el Gabinete de Dirección del IAC como becaria de Periodismo Científico en el verano de 2000. Con estos monólogos se pretende acercar la Astrofísica al público en general. A través de un lenguaje llano pero preciso, los científicos muestran la belleza, no siempre visible, de la ciencia.

ASTROBIOLOGÍA

ANNIA DOMÈNECH

El origen de la vida y que pueda existir fuera de la Tierra me interesa no solamente como astrofísico, sino también como persona. Sería maravilloso poder saber si hay o no vida extraterrestre y cómo se ha formado la vida aquí. Hoy no existe ninguna prueba ni concluyente ni convincente de que haya vida fuera de la Tierra; este es el paradigma actual de la Astrofísica.

(**) Ver nota en página 39.



Colonia de E Coli
© James A. Shapiro
(Investigación y Ciencia,
diciembre 1998).

Sin embargo, creo que la mayor parte de los científicos piensan que la aparición de la vida en la Tierra es la prueba más cercana de que la vida es una etapa intermedia en la evolución de la complejidad del Universo, ni la primera ni la última. Se piensa que el Universo inicialmente era una bola de material muy caliente, muy compacta y densa, que fue expandiéndose y dio lugar a las estructuras actuales: galaxias, estrellas, planetas y a nosotros mismos, los seres vivos.

Volviendo a la vida en la Tierra, vemos que los sistemas vivos van ganando en **complejidad**, no en perfección. ¿Qué es más perfecto, una bacteria o un primate como nosotros? Probablemente igual; pero es mucho más complejo el ser humano. En su evolución, el Universo también ha pasado por diferentes niveles de complejidad: protogalaxias, galaxias con estrellas, etc. Quizás, la siguiente etapa natural en su evolución sea que aparezca la vida y, después, la vida inteligente.

Yo no soy astrobiólogo y te preguntarán cómo estas cosas empezaron a interesarme. Fue porque me tropecé, sin bus-



Hidrocarburos del espacio que pudieron servir de escudo a las moléculas precursoras de la vida. © Scott A. Sandford
(Investigación y Ciencia,
septiembre 1999).



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

carlo, con las moléculas llamadas PAH, los **Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos**. Hice mi tesis en astronomía infrarroja y, en concreto, en el estudio de unos objetos llamados regiones HII, que son grandes **nebulosas** de gas tan caliente que el hidrógeno está ionizado, es decir, se le ha arrancado su electrón. Estas nebulosas son muy hermosas, de color rojo en las fotografías. Por ejemplo, la Nebulosa de Orión es una de ellas. Una nebulosa ionizada necesita una estrella muy caliente, mucho más que el Sol, que ionice el gas. Estas estrellas tan calientes son normalmente muy masivas, muy grandes. Tienen una masa entre diez y cien masas solares.

Las teorías de evolución estelar indican que las estrellas muy masivas viven muy poco, quizás sólo 10 millones de años (el Sol vivirá unos 10.000 millones de años, de los cuales ha consumido 5.000). Son gigantes que consumen todo su combustible muy rápidamente. Por consiguiente, sabemos que la estrella que ioniza una nebulosa es una estrella joven. Estudiando las regiones HII, observé que en los bordes externos de estas grandes regiones, donde el gas ya no está ionizado, aparecía una emisión infrarroja anómala, muy intensa. Se vio que los espectros infrarrojos de estas zonas eran muy parecidos a los de las moléculas PAH. Los químicos ya conocían y habían estudiado estas moléculas -que pueden ser muy grandes, de unos 50 ó 60 átomos de carbono - desde el siglo pasado. La naftalina es el ejemplo más común.

En el espacio interestelar, los rasgos infrarrojos que se identificaban con estas moléculas se encontraron en todos aquellos ambientes astrofísicos donde había una estrella caliente, gas ionizado

y, también, una zona de interacción con un medio neutro, más frío.

Pero hay que decir que las PAH no son las únicas. Desde los años 60, se han detectado muchas moléculas en los medios circumestelar e interestelar, hasta el momento unas 120, que incluyen el agua, el monóxido de carbono, el amoníaco, el metano... Cerca de 90 son orgánicas, es decir, basadas en el carbono.

Los radioastrónomos han llegado a detectar moléculas con nueve, diez u once átomos de carbono. La revolución del descubrimiento de los PAH consistió en que se trata de moléculas mucho más complejas. Al tener muchos átomos de carbono, su energía de excitación se emite en muchas líneas espectrales diferentes, de intensidad muy baja, lo que impide su detección en radio. Pero, además, cuando una molécula tiene muchos átomos, las líneas de absorción y de emisión están tan juntas que forman bandas. En el infrarrojo se detectan bandas de absorción y de emisión, por lo que es la técnica adecuada para identificar grandes moléculas orgánicas de la vida, como las PAH y, quizás en un futuro, moléculas como el ADN o las proteínas.

Así pues, vemos que las moléculas PAH no sólo dominan en la Tierra -donde aparecen cada vez que rompes un ser vivo, ya que son los bloques básicos de la vida- sino también en todo el Universo. Pero tenemos que recordar que de las moléculas PAH a la vida hay un salto muy grande.

Si toda la vida en la Tierra y la mayoría de las moléculas complejas detectadas en el medio interestelar están basadas en la **química del carbono**, la hipótesis más sencilla es que, si existe vida extraterrestre, siga las mismas pautas que en la Tierra y esté basada en el carbono. Si hubiera una vida basada en otras moléculas o con unas características muy diferentes, no la reconoceríamos si la detectáramos. Esto lleva a un callejón sin salida, sería muy difícil investigar una vida extraterrestre completamente distinta.

Sin embargo, por un lado, se deben tener los pies en la Tierra y, por otro, dejar volar la imaginación. Por ejemplo, las bacterias de río Tinto. Hasta antes de descubrirlas, nadie pensaba que podía haber **vida** basada en el intercambio de reacciones de oxidación del hierro, de donde cogen la energía, sin que importe que no haya ni oxígeno ni luz del Sol. Pero incluso esta vida está basada en el carbono. ¿Qué es ser vivo y qué no es ser vivo? Probablemente se trate de una gradación, sin una frontera clara.

La **inteligencia** también es difícil de definir. En este aspecto, el ser humano es muy antropocéntrico. Decimos que somos Homo Sapiens Sapiens, doblemente sabios, y medimos la inteligencia con nuestros parámetros. Una abeja tiene la misma historia y el mismo éxito evolutivo que el ser humano. Si inteligencia fuera la capacidad de guiarse por el campo magnético, el ser humano sería vencido por una "simple" abeja. De existir otra vida fuera de la Tierra, aun basada en el carbono, quizás tendría un tipo de inteligencia diferente a la humana. Me parece muy ingenuo la búsqueda de señales extraterrestres por radioastronomía. Esto es suponer que hay otra vida inteligente que se ha desarrollado siguiendo nuestros pasos, hasta llegar a la televisión o cosas así. Una tontería.

Desde mi punto de vista, en **Astrobiología** todos los campos están abiertos. Hay una gran labor por hacer, tanto de investigación como de divulgación. No pensemos que nosotros somos el pico de la evolución, que nuestras características de inteligencia son únicas, que la vida es algo mejor que la no vida. Hay que cuestionarse todo esto. Pienso que la gente cree cosas absurdas, como que alguien vino, tocó la Tierra con una varita mágica, y apareció la vida. Probablemente sea todo mucho más natural y sencillo, que seamos una etapa más de la evolución del Universo y la vida esté por todos los lados: donde hay estrellas, se forman átomos complejos; donde hay átomos, el carbono abunda; donde hay carbono, como es muy hábil juntándose con los demás elementos, hay química orgánica y, por la tendencia a la complejidad, aparece la vida. Cada vez se desarrollan sistemas más complejos, más conscientes de lo que les rodea. Esto sería lo más normal, aunque no tengamos pruebas de la última parte fuera de la Tierra. Además, si la inteligencia se definiera de un modo más amplio, como la habilidad para adaptarse al entorno, entonces, seguramente, la encontraríamos en muchos sitios.

Creo que esta visión, si quieres tan humilde, puede ser muy útil al ser humano. Primero, para entender nuestro papel en la Tierra: no somos ni unos privilegiados ni unos elegidos. Segundo, para tener más cuidado con los demás seres vivos, a los que estamos extinguiendo. Creo que la humanidad comete atrocidades de todo tipo: contra los seres vivos, contra el planeta, contra sus propios semejantes; y que dejará de hacerlo cuando deje de creer en cosas absurdas. La Astrobiología es importante porque puede darnos una visión mucho más realista de dónde estamos y hacernos ver a los demás con otros ojos.



A 14 es una nebulosa planetaria. En esta imagen se muestra la emisión del nitrógeno ionizado. La zona externa de las nebulosas planetarias muestra también intensa emisión de PAH. (Imagen de Romano Corradi, obtenida con el NOT, ORM).



He 2-437 es una nebulosa planetaria bipolar colimada. (Imagen el Catálogo Morfológico del IAC de Nebulosas Planetarias Galácticas del Hemisferio Norte. Autores: Arturo Machado et al.).



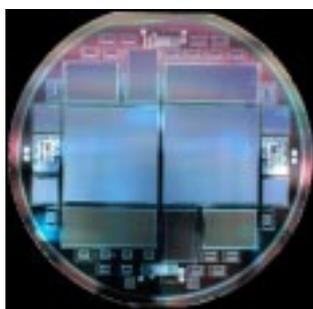
M 16 es una región III. Se ve la interfase entre el gas ionizado y el neutro, donde aparece la emisión infrarroja de las moléculas orgánicas PAH. (Imagen del Telescopio Espacial Hubble con WFPC2. J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ., NASA).

TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN

ANNIA DOMÈNECH

(**) Ver nota en página 39.

La Astrofísica se dedica principalmente al estudio de la distribución de energía de la radiación electromagnética. La luz se comporta con dualidad *onda-corpúsculo*. La radiación electromagnética se desplaza como una onda, pero puede interaccionar también como si fuese una partícula. Esta partícula se denomina *fotón* y contiene la cantidad mínima de energía que lleva la luz en una longitud de onda determinada. La radiación analizada puede ser óptica (que incluye la parte visible con el ojo), pero también radiación muy energética (rayos X o gamma, de longitudes de onda muy cortas), ultravioleta, infrarrojo y radio.



Detectores CCD de diversos tamaños. © Berkeley Lab/Lick High-Resistivity CCD Collaboration

Las **técnicas** para captar y estudiar la radiación son diferentes según la zona del espectro. La atmósfera de la Tierra no nos deja ver longitudes de onda más cortas (de radiación más energética) que el ultravioleta ni parte del infrarrojo. Sin embargo, la región de radio se ve desde la Tierra sin problemas. Debido a estas limitaciones atmosféricas, en el estudio de la radiación electromagnética de alta energía e infrarrojo se utilizan satélites fuera de la atmósfera. En cambio, toda la parte del ultravioleta cercano, visible e infrarrojo cercano se puede hacer desde Tierra, así como el radio, pero, en este caso, con una instrumentación diferente.

Los detectores que se utilizan en los telescopios son sensibles a longitudes de onda diversas. La galaxia cambia según la longitud de onda en la que la observes. Por ejemplo, las estrellas más calientes son más azules y destacan si se utiliza un filtro azul. Si fuera rojo, se daría prioridad a los objetos que emitieran en esta longitud de onda, como las estrellas frías y las nebulosas. Los filtros se pueden superponer para obtener una visión en conjunto de un objeto celeste (por ejemplo, una galaxia). Este funcionamiento es comparable al del ojo. En realidad, el ojo es sensible a unos pocos colores que superpone, con lo que da una sensación de colorido. Las fotografías que se hacen del espacio son habitualmente el resultado de la superposición de un filtro azul, un filtro verde y un filtro rojo.

La **espectroscopía** permite estudiar con detalle la distribución de energía de los cuerpos. Esta técnica necesita telescopios grandes que colecten mucha luz, ya que como en un espectro se ven muchos detalles dentro de cada uno de los colores, quedan muy pocos fotones para cada uno de ellos. La Astrofísica nace con la espectroscopía. Hasta mediados del siglo pasado, se hacía mecánica y caracterización celeste. Entonces se vio que los metales calentados producían líneas de emisión. Por otra parte, se observaron líneas de absorción en el Sol. Ambos tipos de líneas se correspondían en posición; en cierto modo, se veía la firma de los elementos químicos en la atmósfera de la estrella. En ese momento, se empezaron a utilizar las leyes de la física terrestre fuera de la Tierra. Los modelos o las leyes pueden ser

incorrectos o restringidos, pero si son válidos se supone que lo han de ser independientemente del entorno en el que los apliques. Dependiendo del tipo de estudio que se haga, la Astrofísica puede tener un margen de error superior al 50%. Sin embargo, incluso con errores tan grandes, se entienden muchas cosas, aunque todavía muchas no se pueden explicar.

La Astrofísica no es una ciencia experimental, pero se basa en la observación. No se pueden modificar las condiciones en las que se da un experimento, sólo se puede intentar entender la información que llega de diferentes puntos del espacio. La mayor parte de los sucesos astrofísicos ocurren a escalas de tiempo superiores a nuestra escala, no ya de trabajo, sino de vida. Para poder construir secuencias temporales, se buscan objetos diferentes, que correspondan al mismo elemento, pero en estados evolutivos diferentes. Algunas de las propiedades básicas de los objetos que se estudian son: **distancia, edad, forma, masa, composición química y evolución**.

Determinar la **distancia** a la que está un objeto es muy complicado porque muchas veces no existe un punto de referencia. Normalmente, para distancias cortas, se utiliza la paralaje, que relaciona el ángulo que el objeto forma respecto a dos posiciones diferentes de la Tierra alrededor del Sol. Es el mismo principio que utilizaban las cámaras de fotos antiguas para enfocar, en las que se veía cómo una imagen doble se convertía en una sola. También se utilizan otros indicadores de distancia. Por ejemplo, para distancias grandes, la cantidad de energía que nos llega de un cuerpo; y la posición de un cuerpo respecto a otros de los que se conoce su ubicación. La velocidad con la que se aleja un objeto también puede proporcionarnos su distancia.

Para medir **edades**, generalmente se utilizan estimaciones. En los cúmulos de estrellas, por ejemplo, se pueden estimar edades con una cierta fiabilidad, con un error del 30% para arriba, ya que son conjuntos de estrellas que se formaron en un sitio del espacio en un momento dado, por lo que se intentan ajustar modelos teóricos de evolución de manera que todos tengan la misma edad.



El Observatorio del Roque de los Muchachos.



El observatorio solar SOHO está montado sobre un satélite. (Cortesía de SOHO (Solar & Heliospheric Observatory), de ESA-NASA).

Para estrellas individuales, es más complicado. Las capas más externas de estrellas como el Sol tienen mucha actividad relacionada con su rotación. Cuanto más rápida rota la estrella, mayor es el campo magnético y la actividad que nosotros vemos. Por otra parte, un objeto joven rota en general más rápidamente y tiene más actividad que uno viejo. Se establece una relación empírica de cómo varía la actividad con la edad y, haciendo uso de esta calibración, que es bastante inexacta, se determina la edad de una estrella según su actividad. También se utilizan modelos de evolución que relacionan el comportamiento del objeto con su edad.

La **masa** de las estrellas sólo se puede obtener con bastante fiabilidad en estrellas de sistemas binarios, donde se miden parámetros orbitales. En otros casos, se utilizan modelos que describan la estructura interna de la estrella relacionándola con su masa. Por ejemplo, poniendo en relación temperatura y color con masa y luminosidad ya que, en principio, la luminosidad es proporcional a la cuarta potencia de la masa en una estrella. También se pueden considerar otros parámetros, como en las nebulosas, en las que la masa está relacionada con la cantidad de energía emitida.

La **composición química** se determina mediante la observación del espectro del objeto, donde se pueden «leer» los componentes que lo forman. Esto es así porque cada molécula y cada átomo tiene una distribución de energía única que la identifica independientemente de donde esté situada: el hidrógeno, el helio, el sodio... todos los elementos presentan el mismo patrón en la Tierra y en el espacio.

También se miden **velocidades**: cuánto se expanden, cuánto se alejan o se acercan los objetos a nosotros; sus velocidades de rotación, etc. Si un objeto en reposo tiene unas determinadas líneas espectrales, cuando el objeto se aleja estas líneas se corren al rojo por efecto Doppler, es decir, la frecuencia con la que se detecta la radiación va cambiando. Esto es porque con la luz pasa lo mismo que con el ruido de las motos. Siempre sabes cuando una moto se acerca ya que la frecuencia aumenta porque la velocidad a la que viene la moto y la velocidad a la que se desplaza el sonido se suman. Cuando la moto se aleja, pasa lo contrario, las velocidades se restan, la velocidad de la moto va en un sentido y la del sonido en el opuesto.

Según el tipo de radiación que recogen, los **telescopios** se pueden clasificar en telescopios de alta energía (telescopios de rayos X y rayos gamma), telescopios en el óptico (ultravioleta, visible e infrarrojo) y radiotelescopios. Tradicionalmente, desde que Galileo empezó a observar el cielo con su catalejo, los más comunes han sido los ópticos. A partir de los años 40, hubo un impulso de la astrofísica de radio, que permitió ver objetos hasta entonces ocultos a la observación. Después de los ópticos, los radiotelescopios son los más utilizados.

Los **observatorios tradicionales en tierra** trabajan en el óptico, ultravioleta cercano, visible e infrarrojo. Aparte están los radiotelescopios. Los observatorios tienen que estar en lugares donde la calidad del cielo sea la mejor posible. Las condiciones locales (viento, orografía...) influyen en la observación, así como los fenómenos residuales de la atmósfera y los asociados a los propios telescopios, que se intentan corregir en lo posible.

Como la atmósfera de la Tierra no deja ver claramente en determinadas longitudes de onda,

en muchos casos se necesitan telescopios en **observatorios espaciales**, que pueden observar en todo el espectro electromagnético. ¿Por qué entonces se siguen construyendo telescopios en tierra? Porque son más baratos y accesibles. Asimismo, hoy en día, con la óptica adaptativa, que es una técnica de óptica deformable, es posible corregir el ruido que la atmósfera terrestre produce en la observación, con lo que en muchos casos se podría llegar a observar con la misma calidad desde la Tierra que desde el espacio.

En los años cincuenta, se lanzó el primer **satélite** fuera de la atmósfera. Los satélites orbitan alrededor de la Tierra. Muchos de ellos precisan que sus detectores estén fríos, para lo que se suele utilizar helio o nitrógeno líquido como refrigerador; cuando se acaba, el satélite deja de ser útil. Antes de los satélites se enviaban **globos sonda**, es decir, globos con detectores que subían a una altura suficientemente grande para evitar, en lo posible, la perturbación de la atmósfera. Después se enviaron cohetes que alcanzaban una cierta órbita. Cuando caían, se analizaba la información de su detector.

Los telescopios varían según el tipo de montura que poseen. En una **montura ecuatorial** el telescopio está montado sobre un plano paralelo al ecuador. El movimiento alrededor de un eje perpendicular a ese plano permite girar en sentido contrario al movimiento de la tierra y en otro eje, paralelo al Ecuador, permite mover el telescopio en altura. Una vez obtenida la posición del objeto, sólo se debe girar en uno de los ejes para mantenerla. Es la montura tradicional.

Un **telescopio altazimutal** está situado sobre el plano del horizonte local. Para poder seguir el objeto, se tiene que hacer simultáneamente un movimiento sobre este plano y un movimiento en altura. Hoy en día, los ordenadores permiten hacer estos movimientos con mucha precisión. Todos los telescopios grandes, incluidos los radiotelescopios, son así; en ellos se puede colocar instrumentación pesada en plataformas laterales, donde sufre menos tensiones y trabaja con más precisión.

La **Astrofísica** siempre ha adoptado la última tecnología muy rápidamente. Por ejemplo, cuando se incorporaron las placas fotográficas; hasta entonces sólo se tenía el ojo y el dibujo. También se ha distinguido por un avance tecnológico. Muchas de las técnicas que desarrolló, después se aplican a la realidad cotidiana, como ocurre con el zerodur, un material utilizado en los espejos de los telescopios y con el que, actualmente, también se hacen las cocinas de vitrocerámica.

Los métodos de observación varían con los avances en instrumentación y según el lugar desde el cual se observe. Es evidente que la observación por satélite no puede ser igual que desde la Tierra. Sin embargo, en los nuevos grandes telescopios, cada vez se observa más como en los satélites, es decir, el programa del astrónomo forma parte de una cola y se ubica según las condiciones atmosféricas, el objeto a estudiar, etc. Asimismo, ya se utiliza la operación remota o robótica de los telescopios: se manda un programa de observación y el telescopio lo sigue solo. La visión tradicional de un astrónomo que se pasa el tiempo mirando por el telescopio ha cambiado mucho. Los astrofísicos vamos a observar durante períodos cortos. Y, probablemente, cada vez vamos menos.



El INT es un ejemplo de telescopio con montura ecuatorial. © ING



El WHT es un telescopio con montura altazimutal. © ING



Detalle de la estructura del GTC, con el espejo primario segmentado. (Imagen: Gabriel Pérez, IAC).



Haz de fibras ópticas alineadas en forma de rendija. © IAC

JEAN RAYROLE, astrónomo del Observatorio de París y "padre" del telescopio solar franco-italiano THEMIS, instalado en el Observatorio del Teide (Tenerife), se ha jubilado tras muchos años dedicados al estudio de los campos magnéticos en el Sol. Este astrónomo francés ha participado, desde 1961, en las investigaciones solares que internacionalmente se han hecho sobre el magnetismo solar.

ENTREVISTA

JEAN RAYROLE:

«Personalmente creo que, en los últimos años, el IAC se ha convertido en el primer laboratorio de física solar de Europa»



Jean Rayrole

¿Qué siente al dejar la dirección del proyecto del telescopio THEMIS?

Satisfacción de ver el instrumento hecho, funcionando y dando resultados como se esperaba. Es un instrumento en el que se han invertido 25 años, durante los cuales ha habido necesariamente momentos duros. Aunque me jubile, continuaré haciendo investigación y viniendo a observar. Lo que pasa es que no puedo tener responsabilidades.

Hay poca gente que conozca el Instituto de Astrofísica de Canarias desde sus inicios como usted...

Cuando yo llegué a Canarias, el Instituto ni siquiera existía. Había un servicio de física solar en casas prefabricadas en el camino que va del aeropuerto a Izaña. En esa época, el Padre Casanovas dirigía el Servicio Solar.

¿Cómo empezó la vinculación entre las islas Canarias y los centros de Astrofísica europeos?

En el inicio de los años 60, todos los laboratorios de física solar europeos se unieron para seleccionar un sitio de gran calidad donde ubicar sus telescopios, en parte para contrarrestar la supremacía norteamericana. En 1969, se seleccionaron las islas Canarias por su calidad de observación. Por la misma época, el profesor Sánchez creó el Instituto Astrofísico de Canarias. En el Roque de los Muchachos se instalaron mayoritariamente los telescopios estelares e Izaña se reservó para la física solar.

Desde su punto de vista, ¿cuál es la situación actual del IAC?

Personalmente, creo que, en los últimos años, el IAC se ha convertido en el primer laboratorio de física solar en Europa. En otros dominios también es muy competente, aunque yo no puedo juzgarlo. Pienso que España supo ver el interés de abrir el Instituto a los extranjeros. Además, actualmente, la investigación no se hace individualmente sino en colaboración internacional. Durante los años 60 y 70, los instrumentos y los laboratorios de referencia eran americanos; en cambio ahora son los del grupo de física solar europeo de Canarias.

Entonces, ¿cree que los objetivos iniciales del Instituto han sido alcanzados?

Diría que en un 100%. El IAC se ha convertido en una referencia mundial.

¿De cuándo data el proyecto de construir THEMIS?

El proyecto data de 1975, la financiación llegó en 1984 y la primera luz tuvo lugar en 1996. Un año más tarde, fue inaugurado por los Reyes de España.

¿Funciona ya normalmente?

El telescopio empezó a funcionar el 10 de mayo de 1998. El primer año estuvo abierto sólo cuatro meses porque todavía había mucho por hacer. Al año siguiente, seis meses, y, este año, ocho meses.

¿Por qué se construyó en colaboración con Italia?

Por razones financieras. Es un telescopio muy caro, ya que por su tecnología necesita un edificio muy complejo. El dinero que Francia podía invertir no era suficiente para terminar su construcción, por lo que se concertó que Italia contribuyera en un 20% de los gastos.

¿Cómo se reparte el tiempo de observación en el telescopio?

Un 20% es para España y un 5% para observación internacional. Del resto, Francia observa un 80% e Italia un 20%. Las horas en el telescopio se distribuyen según el interés científico de la demanda. A pesar de este reparto, se trabaja en equipo, sin valorar demasiado el tiempo, y en colaboración internacional.

¿Qué destacaría de los telescopios solares en comparación con los estelares?

Cada telescopio sirve para observar unos objetos celestes determinados, no hay un telescopio más importante que otro. Los telescopios estelares se utilizan para hacer cosmología. Los telescopios solares, para conocer nuestra historia, ya que el Sol hace posible la vida sobre la Tierra e influye en ella. Son laboratorios de física en los que se estudia la materia en un estado en el que no podría hacerlo un laboratorio en Tierra. Y también se estudia la composición solar con una gran precisión.

¿Qué objetivos de observación tiene THEMIS?

El objetivo del THEMIS es la investigación básica. Cien kilómetros de la superficie del Sol equivalen a una moneda de 5 ptas vista a 10 km de distancia. En los años 60, no había un

**HOMENAJE AL
ASTRÓNOMO FRANCÉS
JEAN RAYROLE,
PADRE DEL
TELESCOPIO SOLAR
"THEMIS",
INSTALADO EN EL
OBSERVATORIO DEL
TEIDE.**

telescopio capaz de observar el Sol con una buena resolución. THEMIS se construyó para observar los detalles pequeños. Asimismo, la óptica de THEMIS fue concebida para compensar la agitación de la atmósfera en tiempo real. En dos años se instalará el aparato que permitirá minimizar residuos y turbulencias y que el telescopio trabaje en toda su potencia.

Se trata de un telescopio con una instrumentación flexible...

Demasiado flexible, ya que permite hacer tantos tipos de observaciones que deben restringirse; si no, no es rentable porque está varios días parado para adaptar la caja de funcionamiento a cada tipo. Sin embargo, es un instrumento que cuesta tan caro, que tampoco puede especializarse; se necesita que mucha gente esté interesada en venir a observar con él. Se debe optimizar su uso.

¿Cuáles son las principales observaciones que se pueden hacer con THEMIS?

THEMIS está pensado para observar el campo magnético solar. Pero también puede hacer lo que hacen los otros telescopios: observar la superficie del Sol sin hacer espectroscopía, determinar su granulación... El Sol emite radiaciones prácticamente en todo el dominio del espectro electromagnético, desde los rayos X a las ondas de radio. Con THEMIS no se puede observar como desde el espacio, ya que hay dominios del espectro que no atraviesan la atmósfera terrestre. Para paliar esto, los laboratorios de física solar colaboran con SOHO, un satélite solar con el que se puede estudiar todo el espectro y con el que la observación es homogénea al no haber ni nubes ni perturbaciones en el espacio. Sin embargo, el espejo de THEMIS (90 cm) da una mejor resolución que el de SOHO (30 cm). En un satélite es difícil poner un espejo muy grande.

¿Cuál es la instrumentación de THEMIS?

Tiene un espectrógrafo que permite obtener

imágenes a mucha velocidad por espectrografía multilarga; se observa todo el espectro de una sola vez. Puede llegar a registrar 4 millones de datos/segundo. Otro espectrógrafo transmite multitud de imágenes de un objeto determinado en diferentes longitudes de onda. El filtro monocromático panorámico, que fue aportado por nuestros colegas italianos, proporciona imágenes de la superficie del Sol de gran resolución. De hecho, suministra datos sobre la atmósfera solar en tres dimensiones. Los diferentes tipos de instrumentación son complementarios. A pesar de no estar terminados, ya están en funcionamiento con el fin de detectar y corregir los fallos. Se trabaja por etapas, puesto que es imposible obtener un telescopio preciso sin trabajar con él.

¿Qué progresión cree que tendrá la Astrofísica en un futuro?

En el progreso siempre hay la parte de teoría y la de observación. Es un ciclo. Hasta los años 50-60 se obtuvieron muchos datos con los telescopios norteamericanos. Entonces no se sabía cómo interpretarlos, así que en los años 70-80 los teóricos intentaron comprenderlos con estudios e hipótesis que las observaciones de la época no podían confirmar. Actualmente, la observación vuelve a proporcionar datos que van a tener que ser interpretados.

Más allá del saber que aporta, ¿cuál es la importancia práctica de la Astrofísica?

A pesar de que es un tipo de investigación muy cara, debe hacerse. A largo plazo siempre tiene aplicaciones prácticas y contrapartidas en la vida diaria. El hecho de que necesite una técnica muy avanzada impulsa la Física fundamental... La Astrofísica es complicada, pero el gran público la adora y recibe una respuesta positiva, cuando normalmente se ve la investigación como una pérdida de dinero.



Jean Rayrole

ANNIA DOMÈNECH

PERFIL

JEAN RAYROLE nació en Brest (Francia), el 22 de agosto de 1932. Estudió en la Universidad París-Sorbonne, donde se doctoró en 1967 con un trabajo sobre mediciones de tres componentes de campo magnético de las manchas solares. Desde 1955 ha formado parte del CNRS francés, vinculado al Observatorio de Meudon (París), del que llegó a ser Director de su Servicio Solar (1969-70) y del Departamento de Astrofísica Solar y Planetaria (1970-77). En el marco de una larga colaboración europea iniciada por JOSO (Joint Organization for Solar Observations), Rayrole fue uno de los científicos que impulsaron la búsqueda del mejor lugar para la instalación de instrumentos de observación solar. El resultado fue la selección del Observatorio del Teide, del Instituto de Astrofísica de Canarias, situado en Izaña, a 2.400 metros de altitud, donde el aire es seco y estable. Paralelamente, Jean Rayrole concibió y participó en todas las fases de construcción del telescopio solar THEMIS (Telescopio Heliográfico para el Estudio del Magnetismo y de las Inestabilidades de la atmósfera Solar): en 1975 presentó al Instituto Nacional de Astronomía y Geofísica francés el primer proyecto para su diseño y construcción. Este telescopio, de 90 centímetros de diámetro (el espejo más grande del mundo para un telescopio solar), está diseñado para medir con precisión la polarización de las líneas del espectro solar con alta resolución espacial, espectral y temporal. Estos datos permiten analizar los campos magnéticos solares, los cuales desempeñan un papel esencial en los procesos energéticos del Sol. En 1984, el INSU (Instituto Nacional de Ciencias del Universo), perteneciente al CNRS (Centro Nacional de Investigación Científica francés), decidió construir este telescopio solar en colaboración con el Observatorio de París, con Jean Rayrole como director científico del proyecto. En 1992 se inició una colaboración entre el CNRS y el CNR (Consejo Nacional de Investigación italiano), lo que permitió, tras la preceptiva firma de los Acuerdos Internacionales de Astrofísica, la construcción del edificio y, posteriormente, la instalación del telescopio y su instrumentación en el Observatorio del Teide. THEMIS recibió la primera luz el 16 de marzo de 1996 y el 30 de junio de ese mismo año fue inaugurado oficialmente por SS.MM. los Reyes de España y otras autoridades españolas, francesas e italianas. Hoy en día, la explotación del telescopio está asegurada por la constitución de una sociedad privada de derecho español. En 1996, el Estado francés otorgó a Jean Rayrole el título de Caballero de la Legión de Honor por su papel en el desarrollo de la investigación solar.



Telescopio THEMIS

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN

JAVIER DÍAZ CASTRO dio la charla titulada "Resplandor luminoso nocturno y protección del cielo", el 4 de julio, en el marco de la Jornada sobre "Resplandor luminoso nocturno" celebrada en Madrid por el Comité Español de Iluminación. También dio la charla "Aplicación de la Ley del Cielo en Canarias", el 29 de noviembre, en el Palacio de Congresos y Exposiciones de Madrid, con motivo del V Congreso Nacional del Medioambiente.

LUIS A. MARTÍNEZ SÁEZ dio la charla titulada "Compartir la ciencia", en el curso de verano "La tercera cultura: ciencia, opinión pública y participación ciudadana", organizado por la Fundación General Universidad Complutense, en El Escorial (Madrid), del 19 al 21 de julio.

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ ESPINOSA dio la charla titulada "Grandes telescopios", el 27 de julio, en la Universidad de Verano de Segovia.

CARMEN DEL PUERTO dio la charla "Un viaje en el tiempo: del miedo pitagórico a la divulgación a la actual necesidad de marketing periodístico", dentro del curso "Las Matemáticas y los medios de comunicación social", organizado por la Universidad de Verano de Adeje (Tenerife), del 24 al 29 de julio. También dio la charla "La rentabilidad de un esfuerzo: de la nota de prensa a la primera página", dentro del Taller "Comunicación Científica e Institucional. Relación con los medios" del Seminario "La comunicación y la proyección institucional en la Universidad", organizado por la Universidad Politécnica de Cataluña, en Barcelona, del 20 al 22 de septiembre.

CARMEN DOLORES BELLO FIGUEROA dio la charla titulada "Improving the image quality of the GTC telescope", el 4 de septiembre, en ONERA, París (Francia).

CASIANA MUÑOZ TUÑÓN dio la charla titulada "Starbursts; hágase la luz", el 18 de septiembre, dentro del ciclo de conferencias "Nuestros científicos", organizado por la Caja de Ahorros del Mediterráneo.

FRANCISCO SÁNCHEZ MARTÍNEZ dio la charla titulada "Origen de la materia", el 18 de septiembre, en el ciclo de conferencias "Ciencia y tecnología, empresa y sociedad para el siglo XXI", organizada por la UIMP, en el Palacio de la Magdalena, Santander. También dio la charla "La Astrofísica en el siglo XXI", dentro del ciclo "Ciencia y Tecnología en el nuevo milenio", organizado por la Sociedad Estatal España Nuevo Milenio, el 17 de noviembre, en la sede del CSIC en Madrid.

MONICA MURPHY dio la charla "The European Northern Observatory", en el XII Certamen de Jóvenes Investigadores Europeos, celebrado en Amsterdam (Países Bajos), del 18 al 23 de septiembre.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO dio la charla titulada "La estrella de nuestra vida", el 16 de octubre, en el Aula de Cultura de la Caja de Ahorros del Mediterráneo en Cartagena (Murcia), invitada por la Asociación Astronómica de Cartagena dentro de las VI Jornadas de Astronomía de esta asociación. También dio la charla "El futuro del Sol y de su conocimiento", el 4 de noviembre, en el Castillo de Castelldefels (Barcelona), invitada por ARP-Sociedad para el Avance del Pensamiento Crítico y la Agrupación Astronómica de Castelldefels. En el mismo marco, participó en la mesa redonda "Las fronteras del conocimiento. ¿Aún nos queda mucho por saber?".

MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO dio la charla titulada "Cambio climático", el 25 de octubre, en el Centro Cultural de CajaCanarias, en Santa Cruz de Tenerife. También participó en la mesa redonda sobre "Vida extraterrestre", dentro del curso "Lo que queda por saber", celebrado en Castelldefels, el 4 de noviembre.

JESÚS BURGOS MARTÍN dio la charla titulada "Programas públicos de apoyo para la financiación de la I+D", el 8 de noviembre, dentro de las I Jornadas de Financiación Empresarial celebradas por FYDE-CajaCanarias, en Santa Cruz de Tenerife.

FERNANDO CABRERA dio la charla titulada "Estudio de objetos extragalácticos detectados en el infrarrojo con el satélite ISO (proyecto ELAIS)", como lección inaugural del curso académico 2000-2001 de la UNED en La Palma, el 16 de noviembre, en el Palacio de Salazar de Santa Cruz de La Palma.

ANTONIA VARELA dio la charla titulada "Caracterización astronómica de los Observatorios canarios", el 21 de noviembre, ante los alumnos de la especialidad de Astrofísica de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna.

JUAN ANTONIO BELMONTE dio la charla titulada «Arqueoastronomía de los Mauros, Númidas y Garamantes en contacto con Roma», el 1 de diciembre en el Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, dentro del ciclo de conferencias «Roma y los Bereberes».

MARK KIDGER dio la charla titulada "La Luna", el 4 de diciembre, en el colegio Mayex (La Laguna, Tenerife), para una clase de Enseñanza Infantil.

IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA dio la charla titulada "La creatividad del Universo", el 14 de diciembre, en el Centro Científico-cultural Blas Cabrera de Arrecife de Lanzarote.

VISITAS ORGANIZADAS A LAS INSTALACIONES DEL IAC

En el segundo semestre del año, entre alumnos de diferentes centros de enseñanza (medias y superiores), así como participantes en congresos, equipos de filmación y particulares, 2.730 personas visitaron el Observatorio del Teide y 4.406 el Observatorio del Roque de los Muchachos, de las que 3.620 lo hicieron con motivo de las Jornadas de Puertas Abiertas celebradas entre los meses de agosto y septiembre.

CURSOS

Curso de Astronomía en la Universidad de Verano de La Gomera

En el marco de los cursos de verano de La Gomera de la Universidad de La Laguna, el IAC organizó, en colaboración con el Departamento de Astrofísica de esta universidad, el curso "Astrofísica: la fascinante aventura del conocimiento del Universo", que se celebró en Valle Gran Rey (La Gomera), del 24 al 28 de julio. El objeto del curso fue proporcionar una visión global de la moderna Astrofísica, desde los diez científicos más relevantes en la historia del pensamiento astronómico y sus aportaciones, hasta las ideas actuales sobre el origen y el destino del Universo. Además de las conferencias impartidas por astrofísicos del IAC, el curso contó con sesiones de campo en Arqueoastronomía y prácticas de observación del cielo.

Relación de conferencias:

- "El mensaje de la luz". CLARA RÉGULO (ULL/IAC).
- "Los instrumentos del astrónomo: cómo ver más y mejor que el ojo humano". CLARA RÉGULO.
- "Las estrellas nacen, viven,...(!)". INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO (ULL/IAC).
- "El Sol, una estrella de película". INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO.
- "...mueren y, finalmente, se reproducen (!)". INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO.
- "500 años de Astronomía en 10 nombres". JUAN A. BELMONTE AVILÉS (IAC).
- "Introducción a la observación astronómica con telescopio de aficionado". DAVID MARTÍNEZ DELGADO (IAC) y PABLO RODRÍGUEZ GIL (IAC).
- "Astronomía y evolución cultural". JUAN A. BELMONTE AVILÉS.
- "Vagabundos del cielo: meteoros y cometas". LUIS BELLOT RUBIO (IAC).
- "El Sistema Solar y otros sistemas planetarios". LUIS BELLOT RUBIO.
- "Más allá de la Vía Láctea". IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA (IAC).
- "Historia del Sol y el cambio climático". MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO (IAC).
- "La creatividad del Universo". IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA.
- "¿Hay alguien ahí? Búsqueda de inteligencia ET". MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO.

V Semana Astronómica de Gran Canaria

Investigadores del IAC participaron en la V Semana Astronómica de Gran Canaria, organizada por la Agrupación Astronómica de Gran Canaria y el Cabildo Insular de esta isla, en la Casa Colón de La Palmas, del 6 al 10 de noviembre.

Relación de conferencias:

- "El universo en expansión". CARLOS GUTIÉRREZ (IAC)
- "Astrofísica de las galaxias". ANTONIA VARELA PÉREZ (IAC)
- "Vida y muerte del cometa Linear S4". MARK KIDGER (IAC)
- "El destino de las estrellas". ROMANO CORRADI (ING)
- "Heliosismología: una ventana hacia el interior del Sol". CLARA RÉGULO (ULL/IAC).
- "Enanas marrones y planetas extrasolares". VÍCTOR SÁNCHEZ BÉJAR (IAC)
- "Starbursts: Hágase la luz". CASIANA MUÑOZ TUÑÓN (IAC).
- "Los grandes telescopios y el desarrollo de la astronomía". JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ ESPINOSA (IAC).
- "Estrellas supergigantes: un sendero al Universo". ARTEMIO HERRERO DAVÓ (ULL/IAC).
- "Observación cielo nocturno". Agrupación Astronómica de Gran Canaria.

Ciclo "Un universo de cine"

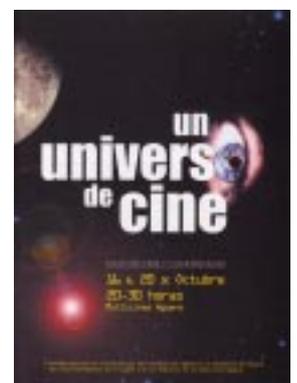
Organizado por el Área de Cultura del Ayuntamiento de La Laguna con la colaboración de la becaria del IAC Noemí Pinilla, se celebró en los Multicines Aguerre de La Laguna (Tenerife), del 16 al 20 de octubre, un ciclo de cine y conferencias titulado "Un universo de cine", que contó con la participación de algunos miembros del IAC. Se proyectaron cinco películas de ciencia-ficción relacionadas con la Astronomía, seguidas de un debate introducido por una presentación a cargo de expertos sobre cada uno de los temas tratados.

Relación de películas y temas tratados:

- *Armageddon*. Tema: impactos de meteoritos y periodismo científico. HÉCTOR CASTAÑEDA (UNAM) y CARMEN DEL PUERTO (IAC).
- *Apolo XIII*. Tema: la carrera espacial. HÉCTOR CASTAÑEDA y MARK KIDGER (IAC).
- *2010, Odisea dos*. Tema: la conquista del Sistema Solar. HÉCTOR CASTAÑEDA y JUAN ANTONIO BELMONTE (IAC).
- *Encuentros en la tercera fase*. Tema: la creencia social en la visita de extraterrestres a la Tierra. HÉCTOR CASTAÑEDA y RICARDO CAMPO PÉREZ.
- *Contact*. Tema: la búsqueda de vida extraterrestre. HÉCTOR CASTAÑEDA y MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO (IAC).

FORMACIÓN DE PERIODISTAS CIENTÍFICOS

En el marco de las becas de verano para periodistas que ofrece el Gabinete de Dirección del IAC, *Annia Gutiérrez Domènech* y *Silbia López de la Calle Ramos* realizaron prácticas de Periodismo Científico durante los meses de verano, en el Instituto de Astrofísica, en La Laguna. (Ver las secciones "A través del prisma" y "Monólogos de Astrofísica")



Portada del folleto dedicado al ciclo "Un universo de cine".

IX edición del curso «El Universo y Yo»

Conscientes del enorme interés que despierta la Astronomía y de la importancia del papel educativo y social de una adecuada formación científica en este tema, sumado al éxito conseguido en cursos anteriores, la Fundación Santa María y el IAC organizaron la IX edición del Curso de Introducción a la Astrofísica para el Profesorado, «El Universo y Yo». El curso, coordinado por *Ángel Gómez Roldán* (IAC) e impartido en su mayor parte por miembros del Instituto, tuvo lugar del 2 al 7 de julio, en el Hotel "Taburiente" de Santa Cruz de Tenerife. En él participaron unos 30 profesores de Enseñanza Secundaria previamente seleccionados por la Fundación Santa María. Según señaló en la presentación del curso *José Joaquín Cerezo*, Director de la Fundación Santa María, "hay que gozar de la ciencia disfrutando del conocimiento, encontrándose con los sabios que logran y han logrado hacernos partícipes de su pensamiento". "El IAC, como centro investigador de vanguardia, no quiere acabar en sí mismo, quiere salir al exterior y pagar la deuda adquirida con la sociedad; y nada mejor para ello que formar a educadores y profesores en estas jornadas", añadió *Francisco Sánchez*, Director del IAC.



Momentos de la presentación del curso "El Universo y Yo"

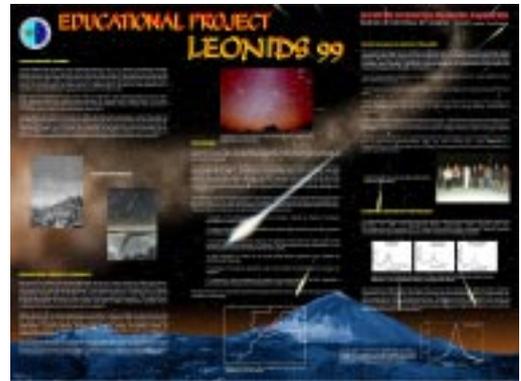
Además de las charlas, hubo sesiones de trabajo teórico/prácticas sobre los temas tratados cada día y su aplicabilidad en un aula de Enseñanza Secundaria, así como visitas al Observatorio del Teide (Tenerife) y al Museo de la Ciencia y el Cosmos, en La Laguna.

Relación de conferencias:

- "Misterios Cósmicos: Cuestiones pendientes para la Astrofísica ante el siglo XXI". ALEJANDRO OSCOZ ABAD (IAC).
- "Enanas marrones y planetas". MARÍA ROSA ZAPATERO OSORIO (Caltech, EEUU).
- "Eclipses y lluvias de estrellas: experiencias educativas". MIQUEL SERRA-RICART (IAC).
- "El Sol, una estrella de película". INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO (ULL/IAC).
- "La búsqueda de vida en el Sistema Solar". MANUEL VÁZQUEZ ABELEDO (IAC).
- "Astronomía y evolución cultural". JUAN ANTONIO BELMONTE AVILÉS (ULL/IAC).
- "Cómo contar la Astronomía a la gente". JAVIER E. ARMENTIA (Director del Planetario de Pamplona. Presidente de la Sociedad para el Avance del Pensamiento Crítico).
- "El nuevo Sistema Solar". MARK. R. KIDGER (IAC).

Participación de investigadores del IAC en la Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología

El proyecto educativo "Leonidas'99" fue seleccionado por la Real Sociedad Española de Física en la fase nacional del programa FÍSICA EN ACCIÓN para participar en la Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología, celebrada en el CERN (Ginebra), del 6 al 12 de noviembre de 2000. Este proyecto fue diseñado con el objetivo de involucrar a los estudiantes en una observación científica real, a través de la observación de la lluvia de meteoros de las Leónidas de 1999. David Martínez presentó en Ginebra los resultados científicos obtenidos por 1.500 estudiantes de Secundaria de toda España que participaron (ver *IAC Noticias* N.2-1999, págs. 44-47), así como los resultados educativos.



Portada del libro de memorias del Congreso Internacional "Oxford VI y SEAC 99"

EDICIONES

Astronomía y diversidad cultural

El IAC ha editado, junto con el Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, perteneciente al Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, el libro de memorias del Congreso Internacional "Oxford VI y SEAC 99", que fue celebrado en el Museo de la Ciencia y el Cosmos en junio de 1999. Los editores de este libro han sido los investigadores del IAC César Esteban y Juan Antonio Belmonte.

Nuevos carteles

El IAC ha editado el cartel anunciador y un tríptico de la exposición "Cielo, Mar y Tierra de Canarias", organizada con motivo de la Semana Europea de la Ciencia

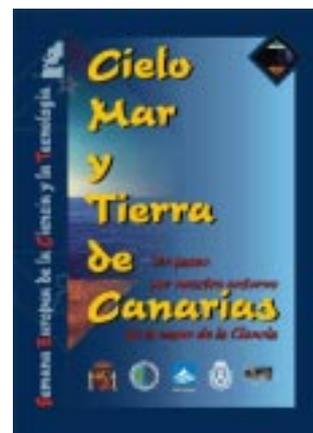
EXPOSICIONES

Exposición "Cielo, Mar y Tierra de Canarias"

Coincidiendo con la Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2000 (*ver página anterior*) y una serie de actos programados por toda Europa, el IAC, a través de su OTRI, con financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología y en colaboración con el Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, el Museo de la Ciencia y el Cosmos y CajaCanarias, organizó una Exposición bajo el título: «CIELO, MAR Y TIERRA DE CANARIAS», en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, del 6 al 11 de noviembre y que se prolongó hasta el 30 de noviembre. El programa, coordinado por Jesús Burgos Martín, del IAC, en colaboración con el Gabinete de Dirección de este Instituto, y diseñado por Gotzon Cañada, incluyó exposición fotográfica, vídeos de nueva realización, talleres, conferencias y otras actividades de divulgación científica. El objetivo de la exposición era demostrar, a través de actividades y de proyectos atractivos, el éxito y la importancia de la ciencia, de una manera accesible a todos los públicos.

La Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología forma parte de una amplia iniciativa de la Unión Europea cuyo fin es, en general, conseguir una mayor concienciación ciudadana en temas científicos y tecnológicos y, en particular, animar a los jóvenes a interesarse por la ciencia, no sólo como futuros científicos o técnicos, sino también desde la perspectiva informativa.

La exposición pudo visitarse también dentro de la página web del IAC, en la dirección <http://www.iac.es/gabinete/cielomarytierra/>. Además, el programa de radio "Canarias Innova", realizado por el IAC en colaboración con Radio Nacional de España en Canarias, emitió en directo un especial dedicado a esta exposición, titulado "Cielo, Mar y Tierra de Canarias – Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología". El material de esta exposición ha iniciado ya su itinerancia por todas las islas, siendo su primera visita el Museo Elder de la Ciencia y la Tecnología, de Las Palmas de Gran Canaria (febrero 2001).



Cartel anunciador de la exposición "Cielo, Mar y Tierra de Canarias"

Relación de conferencias e intervenciones:

- «El Cielo de los Magos y de los Majos: astronomía y cultura en las Islas Canarias». JUAN A. BELMONTE (IAC).
- «Técnicas sencillas y seguras para la observación solar». Miguel C. Díaz Sosa.
- «La Aventura de la Ciencia». MIQUEL SERRA RICART (IAC/Shelios).
- «Caidos del Cielo». LUIS BELLOT RUBIO (IAC).
- «Últimos Eclipses del Milenio». MIQUEL SERRA RICART.
- «El Cielo a tu Alcance». MIGUEL C. DÍAZ SOSA.
- «Más allá de la Vía Láctea». IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA (IAC).
- «El futuro del Sol y de su conocimiento». INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO (IAC).
- «Fotografía y Pensamiento». Debate a cargo de José Carlos Mesa y Carlos A. Schwartz.
- «SHELIOS 2000. La aventura de las Auroras Boreales». MIQUEL SERRA RICART.
- «Aventura y Ciencia». MIQUEL SERRA RICART
- «Viaje a la Luz». Agrupación Astronómica de Tenerife.
- «Fondos marinos de Canarias». CATALINA PERALES (Centro Oceanográfico de Canarias/IEO).
- «El volcanismo canario». JUAN CARLOS CARRACEDO.

Exposición "La tierra de las estrellas"

El IAC participó en la exposición "La tierra de las estrellas", en el marco del foro bianual "Millenium. Encuentros con la imagen". La exposición, celebrada a lo largo de los meses de octubre y noviembre y que tuvo como sedes el Museo de la Ciencia y el Cosmos y la Ermita de San Miguel, en La Laguna (Tenerife), y el Museo de Historia de Tenerife y la sede central de CajaCanarias, en Santa Cruz de Tenerife, fue organizada por la Asociación para la Difusión de la Fotografía (ADF). Entre las actividades realizadas dentro de este foro de debate en torno a la imagen hubo exposiciones, debates, proyecciones de audiovisuales y conferencias.

Relación de conferencias y proyecciones:

- "La aventura de la Ciencia". MIQUEL SERRA RICART (IAC/Shelios)
- "Más allá de la Vía Láctea". IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA (IAC).
- "Viaje a la luz". Audiovisual, a cargo de la Agrupación Astronómica de Tenerife.

Exposición "33 preguntas sobre el calendario"

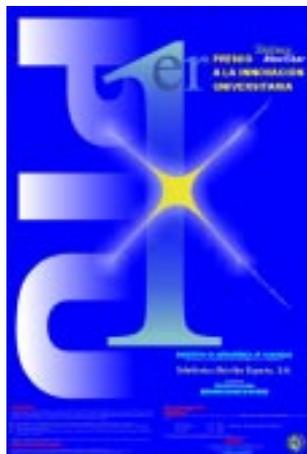
Como celebración del cambio de milenio, el 1 de enero de 2001, y el año 2000 como año internacional de las Matemáticas, el Museo de la Ciencia y el Cosmos organizó la exposición "33 preguntas sobre el calendario", que contó con la colaboración del IAC.



Portada del catálogo sobre la exposición "33 preguntas sobre el calendario".

PRIMER PREMIO A LA INNOVACIÓN UNIVERSITARIA

El IAC ha organizado, a través de su Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) y bajo el patrocinio de TELEFÓNICA MÓVILES ESPAÑA, S.A., el Primer Premio a la Innovación Universitaria (PIU). El objetivo de este premio es apoyar aquellas ideas, proyectos o cualquier otra manifestación original de estudiantes universitarios o recién titulados de las Universidades de La Laguna y de Las Palmas de Gran Canaria encaminados a fomentar el desarrollo de actividades de interés empresarial y que tengan su base en el mundo académico.



Actuaciones de este tipo pueden ser proyectos científicos innovadores basados en resultados de investigación generados en la Universidad; desarrollo de instrumentos o adaptación de los ya existentes que tengan una novedosa utilidad empresarial; publicaciones que analicen la relación entre los entornos científico, tecnológico y empresarial de la Comunidad Autónoma canaria, en cualquier área de conocimiento y/o sector empresarial; y cualquier otra idea innovadora, desarrollada o por desarrollar, encaminada a impulsar un aprovechamiento empresarial de resultados y/o tecnología generados en el mundo universitario.

El Primer Premio a la Innovación Universitaria fue presentado oficialmente en las dos universidades canarias con asistencia de los Vicerrectores de Investigación de ambas universidades, el Director Territorial de Telefónica Móviles España y el responsable de la OTRI del Instituto de Astrofísica de Canarias. El plazo de presentación de candidaturas finaliza el día 15 de abril de 2001.

LA TESIS DOCTORAL DE HÉCTOR SOCAS NAVARRO, Primer Premio de la SEA

La Junta Directiva de la Sociedad Española de Astronomía (SEA) otorgó el Primer Premio SEA a la mejor tesis doctoral española en Astronomía y Astrofísica del período 1998-1999 al Dr. Héctor Socas Navarro, por su trabajo "*Non-LTE Inversion of Spectral Lines and Stokes Profiles*" (Inversión de líneas espectrales y perfiles de Stokes en condiciones alejadas del Equilibrio Termodinámico Local). Esta tesis, realizada en el IAC y dirigida por dos investigadores de este centro –los doctores Javier Trujillo Bueno, Científico Titular del CSIC, y Basilio Ruiz Cobo, Profesor Titular de la Universidad de La Laguna-, fue defendida en la Facultad de Física de esta universidad el 30 de septiembre de 1999, obteniendo la máxima calificación de Sobresaliente "*cum laude*".



Héctor Socas Navarro

En este trabajo de investigación se presenta un novedoso método de diagnóstico de plasmas que permite obtener, a partir de la observación de la polarización de la luz en varias líneas espectrales, las propiedades térmicas, dinámicas y magnéticas de las cromosferas estelares, y en particular de la cromosfera solar. La investigación está basada en eficientes métodos para la simulación numérica del proceso del transporte de radiación en plasmas astrofísicos magnetizados y en técnicas matemáticas para la inversión de líneas espectrales que se forman en condiciones muy alejadas del llamado Equilibrio Termodinámico Local. Este método ha sido además aplicado con éxito a observaciones espectro-polarimétricas realizadas con polarímetros acoplados al telescopio alemán *Gregory Coudé (GCT)*, del Observatorio del Teide, lo que ha permitido investigar con detalle los procesos dinámicos y magnéticos que acontecen en las regiones externas (cromosfera) de las manchas solares.

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO, Premio de divulgación científica

El Concurso de Artículos de Divulgación Científica, de ámbito nacional, convocado por la revista electrónica de divulgación Ciencia Digit@l en colaboración con Nivola Ediciones, otorgó una mención especial al artículo "La familia de Carlos IV y la visita del ET", del que es autora la investigadora del IAC y profesora de la Universidad de La Laguna Inés Rodríguez Hidalgo. El artículo, publicado posteriormente en la revista de divulgación "Tribuna de Astronomía y Universo", recibió una mención especial del jurado "por su excelencia divulgativa".

Programa de Becas Leonardo da Vinci 2001

A través de su Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI), el IAC colabora con la Fundación Universitaria de Las Palmas en la gestión de becas para estudiantes universitarios y recién titulados de las universidades canarias. La OTRI del IAC actuará como unidad gestora para las becas que soliciten estudiantes universitarios y recién titulados de la Universidad de La Laguna.
(Más información: <http://www.iac.es/otri/leonardo.htm>)



ACUERDOS

Acuerdo de constitución de la Red Académica de Astrofísica

El 16 de julio se firmó en la sede del IAC en La Laguna un acuerdo de colaboración para la constitución de la Red Académica de Astrofísica (RAA), de la que forman parte el Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona, el Departamento de Física Moderna de la Universidad de Cantabria, el Departamento de Física Teórica y del Cosmos de la Universidad de Granada, el Instituto de Astrofísica de Canarias, el Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna, el Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid, el Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Complutense de Madrid y el Departament d'Astronomia i Astrofísica de la Universitat de València. En virtud del acuerdo se fijó la sede de la RAA en el Instituto de Astrofísica de Canarias, que se compromete a aportar el apoyo administrativo necesario a la Red. El representante del IAC en el Comité de Coordinación de la Red será el Prof. Francisco Sánchez, Director del centro.

44ª reunión del Comité Científico Internacional de los Observatorios del IAC

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias celebró su 44ª reunión ordinaria el 3 de noviembre, en el Ayuntamiento de San Cristóbal de La Laguna (Tenerife). La anterior reunión tuvo lugar el pasado 6 de junio, organizada por el Instituto Max Planck de Física Extraterrestre, en Múnich (Alemania).

Presidió esta reunión el Dr. René Rutten, del *Isaac Newton Group of Telescopes*. Al cumplirse los dos años de mandato previstos, le sucede en el cargo el Prof. Kaare Aksnes, del Instituto de Astrofísica Teórica de Oslo (Noruega).

Entre otros temas del orden del día, en esta reunión se trataron los detalles relativos a la construcción de la sede del IAC en la Palma (Centro Común de Astrofísica) y se presentaron los respectivos informes sobre los proyectos existentes para la instalación de nuevos telescopios -el Gran Telescopio Canarias (GTC) entre ellos- y, en su caso, la firma de los correspondientes acuerdos internacionales. También se presentó el nuevo proyecto de un telescopio europeo de 50 metros de diámetro que se instalaría en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), a propuesta del Observatorio de Lund (Suecia).

El CCI asignó, como todos los años, el 5% del Tiempo Internacional disponible en los telescopios de los observatorios para proyectos de colaboración internacional y proyectos comunitarios correspondiente al año 2001. En esta ocasión los proyectos fueron: "*Multi-colour taxonomy of Trans-Neptunian Objects*", "*A Photometric Wide-Field Survey of Low-z Clusters: Defining the Local Reference Sample for Distant Cluster Studies*" y "*An XMM-Newton International Survey (AXIS - II), Unveiling the hard X-Ray source populations*".

Estancia en el IAC de los jóvenes premiados por la Comisión Europea

La XI edición de los premios para jóvenes científicos convocados por la Comisión Europea (*EU Contest for Young Scientists*) como parte de su programa de potencial humano (*Improving Human Potential Programme*), celebrada el pasado verano en Salónica (Grecia), recayó sobre tres estudiantes islandeses de Reykjavik: Pall Melsted, Sverrir Guðmundsson y Trygvi Þorgeirsson. Los jóvenes (dos estudiantes de Física y uno de Ingeniería Electrónica), recibieron el premio especial del jurado para participar en proyectos organizados por el ENO, por lo que disfrutaron de dos semanas de estancia en el IAC a lo largo del mes de julio. Durante su permanencia en el Instituto, tuvieron contacto con diferentes proyectos de investigación astrofísica del IAC, así como con las actividades de divulgación de los conocimientos astronómicos y la construcción de instrumentación para la observación astrofísica que se realiza en este centro, visitando además los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos.



Convenio de colaboración con la Universidad Carlos III de Madrid

El IAC ha firmado un Convenio de Colaboración con la Universidad Carlos III de Madrid para la realización de prácticas en el IAC por parte de los alumnos del máster de información y documentación de esta universidad.

FRANCISCO SÁNCHEZ da nombre al Aula de Ciencias del I.E.S. Santa Brígida, de Gran Canaria

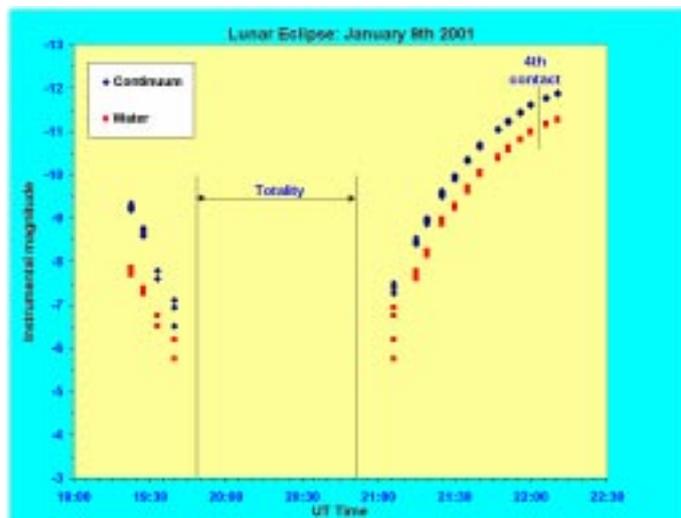
El I.E.S. de Santa Brígida (Gran Canaria), dentro de un proyecto de centro que incluye la exposición permanente titulada "Aulario Premios Canarias", ha decidido cambiar la denominación numérica de sus aulas por el nombre de personas que, por su trayectoria profesional y humana, han merecido el honor de ser galardonadas con el Premio Canarias en sus diferentes modalidades. Una de ellas es desde diciembre el "Aula de Ciencias Francisco Sánchez", en honor del Director del IAC, Premio Canarias 1996.

Pacto Social por la Ciencia y la Tecnología

Francisco Sánchez, Director del IAC, ha sido uno de los redactores del texto del Pacto Social por la Ciencia y la Tecnología, manifiesto en el que se expresa la preocupación por el retraso científico y tecnológico del país. El Pacto ha sido suscrito por numerosos investigadores.

ÚLTIMA HORA

El primer eclipse total de Luna del siglo XXI,
desde el Observatorio del Teide



Curva de luz del eclipse. Los datos han sido obtenidos usando el fotómetro de vapor de agua IAC-2 del Grupo de Vapor de Agua del IAC. Observaciones de Noemí Pinilla (IAC). Reducciones de Mark Kidger (IAC).

Más información e imágenes en:
<http://www.iac.es/gabinete/noticias/2001/ene10.htm>

Composición de imágenes del eclipse sobre las instalaciones del Observatorio del Teide (Tenerife).
Imagen: Miguel Briganti y Gabriel Pérez (IAC).

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS (IAC)

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA (La Laguna, TENERIFE)

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

Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)

Tel.: 34 - 922 605219 and 34 - 922 605186
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)

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

OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE)

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

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (LA PALMA)

Apdo. Correos 303
E38700 SANTA CRUZ DE LA PALMA
Tel.: 34 - 922 405500
Fax: 34 - 922 405501
WWW Home Page: <http://www.iac.es/gabinete/orm/orm.html>

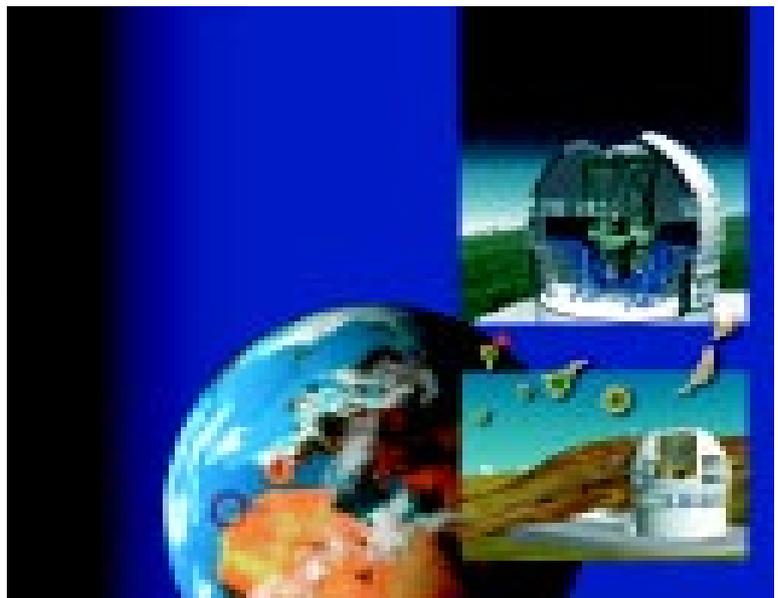


GRAN TELESCOPIO CANARIAS

(GTC)

EEUU y México, socios del Gran Telescopio Canarias

El Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), todos ellos por parte de México, y la Universidad de Florida, por parte de Estados Unidos, han formalizado sendos preacuerdos para participar como socios del Gran Telescopio Canarias (GTC).



El GTC se abre a la participación internacional

EEUU Y MÉXICO SERÁN SOCIOS DEL GRAN TELESCOPIO CANARIAS

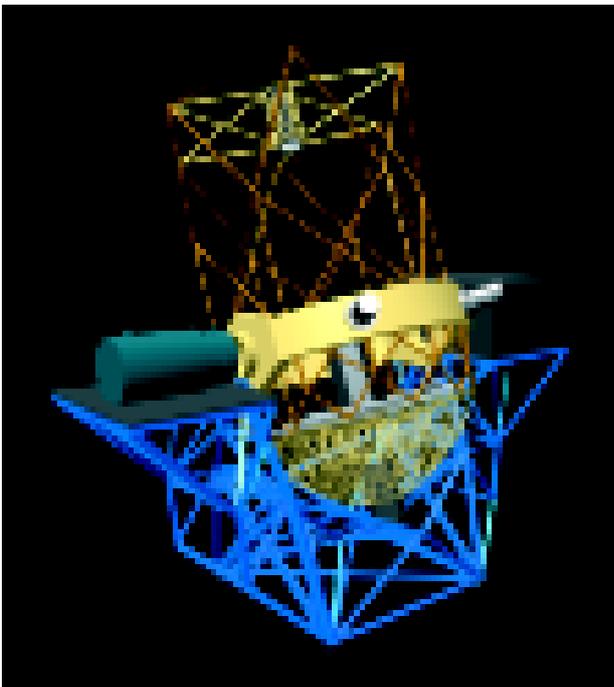
El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), por parte de España, ha suscrito sendos preacuerdos con la Universidad de Florida (UF) y, conjuntamente, con el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), el Instituto de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), por los que estas instituciones participarán en la construcción y operación del Gran Telescopio Canarias (GTC). Los acuerdos también prevén fortalecer la cooperación con España a través de programas tecnológicos, de becas y de desarrollo de instrumentación astronómica. Con sus 10,4 metros de espejo primario, el GTC será el mayor y más avanzado telescopio del mundo una vez quede instalado, a principios del año 2004, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma.

La Universidad de Florida aportará un 5% del presupuesto del telescopio -cuya construcción gestiona la sociedad GRANTECAN-, equivalente a 5,4 millones de euros, y tiene la intención de aumentar a un 10% su aportación final al proyecto. Como contrapartida, obtendrá un 5% del tiempo de observación y contribuirá, también

con un 5%, a los gastos de operación del GTC. La UNAM, el INAOE y el CONACYT aportan conjuntamente otro 5% del presupuesto y se comprometen a contribuir a los gastos de operación en la misma cuantía.

Los documentos de participación de estas instituciones en el GTC son acuerdos amplios de colaboración en los que se ha logrado un programa que incluye becas para estudiantes de doctorado en la Universidad de Florida, contratos postdoctorales en esta universidad así como en la UNAM y el INAOE, y colaboración en proyectos instrumentales, además del intercambio de personal técnico, añadiendo algunas noches complementarias a las que tenían derecho por su 5% de contribución. La colaboración con México incluye también el intercambio de tiempo del GTC por tiempo del GTM (Gran Telescopio Milimétrico), de 50 metros, antena que podrá observar en longitudes de onda de hasta un milímetro con una excelente sensibilidad y que el INAOE construye con la Universidad de Massachusetts.

Líder en el diseño y construcción de instrumentación infrarroja para grandes telescopios, la Universidad de Florida ya participa en la construcción de CANARI-CAM, una cámara-espectrógrafo en el infrarrojo térmico que será instalada en 'día uno' en el GTC.



Modelo 3D de la estructura mecánica del GTC.



De izquierda a derecha: Prof. David Colburn, "Provost" de la Universidad de Florida (UF), Prof. Francisco Sánchez, Director del IAC, Dr. José Miguel Rodríguez Espinosa, Director científico del GTC, Prof. Stanley F. Dermott, Director del Departamento de Astrofísica de la UF, y Prof. Neil Sullivan, Decano de la Facultad de Artes y Ciencias de la UF. © University of Florida (News & Public Affairs)



De izquierda a derecha: Dr. Pedro Álvarez, Director de GRANTECAN, Dr. José Miguel Rodríguez Espinosa, Director científico del GTC, Prof. Francisco Sánchez, Director del IAC, Dra. Elsa Recillas Pishmish, Directora General en funciones del INAOE en el momento de la foto, Dres. Peter Schloerb y James Lowenthal, de la Universidad de Massachusetts (EEUU), y Dr. Luis Carrasco, del INAOE y Director científico del GTM, en el acto de la firma del acuerdo de colaboración previo firmado el 5 de mayo de 1998 entre el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), de México, y el IAC.

También será de 'día uno' el instrumento OSIRIS (*Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy*). En el consorcio para su diseño y construcción, liderado por el IAC, participa el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Con estos acuerdos, el Gran Telescopio Canarias formaliza su apertura a la participación de otros países. Como gran proyecto científico internacional liderado por España, los responsables de la política científica consideraron necesario, desde el principio del proyecto, limitar la participación extranjera a un máximo de un 30%.

MÁS INFORMACIÓN:

Página web de GRANTECAN: <http://www.gtc.iac.es>

Página web del IAC sobre el Gran Telescopio Canarias (GTC): <http://www.iac.es/gabinete/grante/gtc.html>

INSTITUCIONES:

Universidad de Florida: <http://www.ufl.edu/>

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT): <http://www.conacyt.mx/>

Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM): <http://www.astroscu.unam.mx/>

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE): <http://www.inaoep.mx>

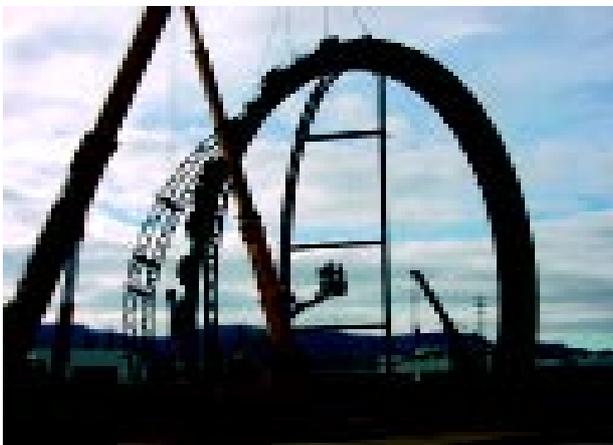
Gran Telescopio Milimétrico (GTM): <http://www.lmtgtn.org/>



LA CÚPULA DEL GTC, EN CONSTRUCCIÓN

Imágenes de la construcción de la cúpula del GTC en las instalaciones de la empresa URSSA, en Vitoria.





A GRANDES PROBLEMAS, SOLUCIONES INTELIGENTES

SILBIA LÓPEZ DE LACALLE RAMOS

Imagínense 350 toneladas de masa móvil distribuidas en acero, motores, espejos, codificadores e instrumentación científica... que se deslizan sin apenas rozamiento y con una precisión microscópica. Todo un reto que el equipo de Mecánica del Gran Telescopio Canarias (GTC) ha superado de modo impecable con el diseño del que será, cuando entre en funcionamiento a principios del 2004, el telescopio mayor y más avanzado del mundo.

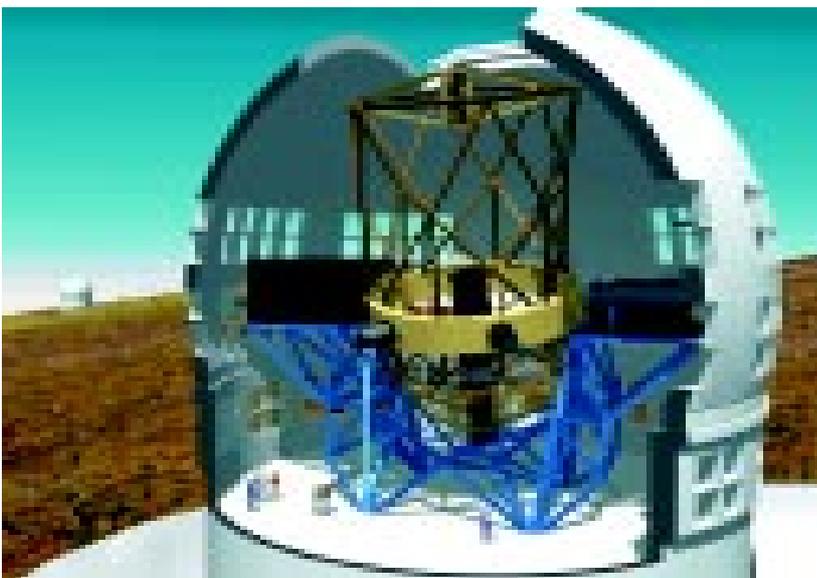
El tamaño del telescopio (27 metros de altura y 13 de anchura) y la segmentación de su espejo principal en 36 piezas hexagonales han determinado en buena medida el diseño de su estructura, que permite tres grados de libertad independientes, es decir, movimientos en tres ejes.

El movimiento de acimut (paralelo al horizonte) combinado con el de elevación (en altura) se encarga de localizar los objetos a observar. Su funcionamiento se asemeja al de los cañones de los barcos que vemos en las películas de guerra; el cañón primero rota sobre su base y luego busca el avión en altura. El telescopio funciona igual, pero su objetivo son las estrellas.

El tercer grado de libertad viene fijado por la necesidad de que el telescopio se adecue a la rotación de la Tierra. Como nuestro planeta rota con respecto a su eje, desde nuestro punto de vista todas las estrellas rotan con respecto a la

Tierra. Si se apuntara a una estrella fija, todas las demás se moverían a su alrededor, un cambio de posición que no interesa en la observación astronómica.

Ya tenemos la estrella localizada en su posición. El siguiente paso consiste en mejorar la calidad de visión, ámbito en el que también interviene la mecánica. Jorge Pan, ingeniero del Grupo de Mecánica de GRANTECAN, lo ilustra así: "Hay multitud de problemas que degradan la calidad final de la imagen que llega a los instrumentos científicos y por tanto al observador. Pero podemos dividirlos en los que tienen como fuente el propio telescopio y los externos a éste. Los originados por el propio telescopio se pueden analizar y controlar con mayor o menor precisión. Podemos paliar incluso los efectos perjudiciales que tienen como origen fuentes externas al telescopio, pero en ningún caso podemos controlar o modificar estas fuentes".



Composición del GTC en su cúpula.

Entre estos problemas se encuentra la deformación de la superficie del espejo primario, que debido a la gravedad y a cambios de temperatura deja de ser un hiperboloide perfecto. La solución está en el sistema de óptica activa, que consiste principalmente en mover y deformar ligeramente cada segmento para recuperar la forma inicial. También podemos citar el movimiento de imagen producido por vibraciones inducidas en la estructura, cuyo efecto es un movimiento de imagen en el plano focal. En este caso, la solución pasa por mover el espejo secundario de forma que corrija este movimiento.

I. Sistemas y subsistemas

"Nuestro grupo -indica Consuelo Asenjo, responsable del Grupo de Mecánica de GRANTECAN- se encarga tanto de la estructura del telescopio, integrada por el tubo, la montura y el anillo de acimut, como de los mecanismos que se utilizan para mover y controlar esa estructura: motores, codificadores, cojinetes, etcétera".

El diseño de la estructura engloba dos objetivos básicos: dilatación reducida y fuerte sujeción. El 90% del telescopio está afectado por alguno de los movimientos y todas sus piezas se hallan interconectadas; la más mínima deformación reduciría la calidad de visión y convertiría el telescopio en un instrumento inútil, de modo que cada elemento deber ser revisado con gran detenimiento.

El tubo es el componente que soporta los espejos, el foco Cassegrain y los Cassegrain doblados. Está constituido, principalmente, por la celda del espejo primario, la torre del terciario, el anillo de elevación y el conjunto del secundario (anillo, araña y estructura de soporte). La celda del primario, formada por un intrincado conjunto de barras, a la vez que sujeta cada segmento del espejo debe mantener todos alineados y modificar su posición para equilibrar los efectos de posibles dilataciones. Sostiene, además, la torre del terciario y el foco Cassegrain, lo que suma un total de 40 toneladas que, según las previsiones, provocarán una deformación máxima de un milímetro.

La torre del espejo terciario tiene la misión de sujetar el espejo que distribuye el haz de luz entre los focos. Para ello, tiene que girar en torno a su eje. "El problema -explica Jorge Pan- estriba en que el foco Cassegrain tiene que recibir la luz desde arriba, para lo que habría que quitar la torre o quitar el espejo, ambas opciones muy aparatosas, además de arriesgadas. La solución que se nos ocurrió fue un espejo de quita y pon, que se desliza automáticamente por unas guías y se aparca". Se le estima una deformación máxima de 500 micras (medio milímetro).



El anillo de elevación es una viga circular de sección cuadrada de 40 toneladas, con dos estructuras radiales a los lados que enganchan los motores y permiten que el tubo gire. El anillo, para el que se prevé una deformación de 1,5 milímetros, soporta todo el peso de la parte superior del tubo y lo transmite a la montura, en cuyas bases se concentra el mayor porcentaje de carga del telescopio.

La araña, una estructura de seis pares de barras, soporta el peso del conjunto del secundario (espejo y anillo): unos 6.500 kilos que sujetan una masa de 2.500 a 20 metros de altura y cuya máxima deformación se reduce a 300 micras. Para reducir la sombra que la araña produce sobre el espejo primario se ha estrechado la sección que cruza el camino de la luz, intentando que coincida con las brechas que quedan entre los segmentos.

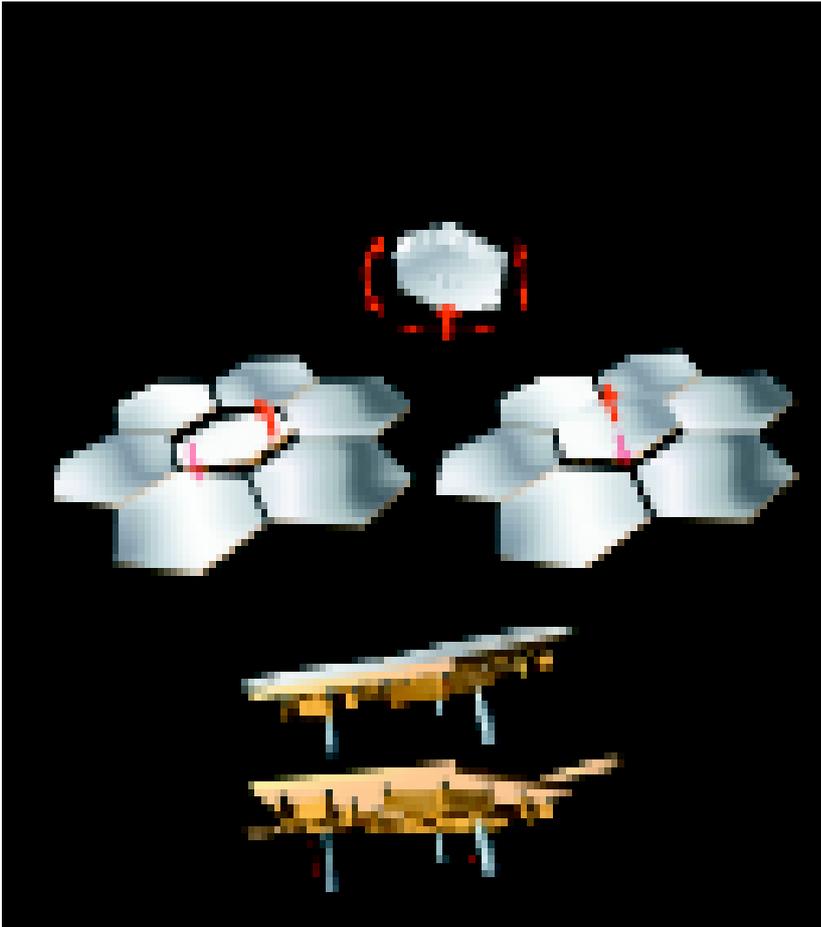
Todo el conjunto del tubo descarga su peso sobre la montura, una unidad estructural formada por un conjunto de barras unidas que evitan que en el movimiento de vibración el tubo pierda el apuntado. Además de soportar el tubo, sostiene las dos plataformas Nasmyth, que albergarán los instrumentos, y transmite las cargas al anillo de acimut, que a su vez las dirige al pilar del telescopio.

Finalmente, la base se compone de un pilar de hormigón y el llamado anillo de acimut, que sirve de elemento de unión entre la montura y el pilar. El anillo de acimut está formado por una viga anular de acero de unos 16 metros de diámetro y sirve de pista al movimiento de acimut.

El espejo terciario dirigirá la luz de manera automática hacia los distintos instrumentos situados en sus focos, para aprovechar el tiempo de observación al máximo.

II. Mecanismos de movimiento y control

"Los motores y codificadores -señala Jorge Pan- van integrados en el mismo sistema. Tenemos la estructura del telescopio; ahora se trata de hacerla apuntar hacia donde queremos y con la precisión requerida. El funcionamiento de este sistema es similar al que sigue cualquier persona para moverse: saber dónde estas, a dónde quieres llegar y activar los mecanismos de movimiento. En el caso del telescopio, la información de posición es ofrecida por los codificadores y el movimiento es provisto por los motores, conjunto que constituye el servosistema del telescopio".



Cada espejo hexagonal se moverá individualmente para conseguir una calidad óptima de imagen en todo momento.

Los codificadores, o sistemas de posición del telescopio, se componen de cabezas lectoras colocadas sobre cintas metálicas grabadas. Se encuentran en los anillos de acimut y de elevación, y son capaces de registrar movimientos de centésimas de micra. La información que suministran sirve para dirigir el movimiento de los motores. A diferencia de otros telescopios, accionados mediante fricción, el GTC empleará motores directos. Este tipo de motor, que funciona con imanes y requiere poco mantenimiento, elimina las posibles imprecisiones debidas a la existencia de varios componentes mecánicos; además, la falta de rozamiento disminuye la cantidad de calor producida y permite prescindir de sistemas de enfriamiento.

Para hacer que los movimientos sean suaves se emplean cojinetes hidrostáticos. A diferencia de los tradicionales cojinetes de rodamientos (o bolas), éstos funcionan mediante un bombeo constante de aceite a alta presión; de este modo se logra un movimiento suave y preciso con un esfuerzo mínimo. Los cojinetes de elevación soportan el tubo y fijan la posición del eje de elevación con respecto a la montura; por su parte, los cojinetes de acimut soportan el peso del tubo y la montura y establecen la posición del eje de acimut con respecto al pilar. Es decir, los primeros permiten el movimiento en altura y los segundos en paralelo al horizonte (acimut).

III. Conexiones

El telescopio contiene gran cantidad de canalizadores y cables que tienen que comunicar elementos con movimiento relativo entre sí, lo que genera el problema de que los cables se entrecrucen, desordenen o retuerzan. Los rotadores de cables compensan el movimiento, mantienen su correcta disposición y atenúan las posibles tensiones. Existía el mismo problema en relación con los instrumentos de las plataformas Nasmyth, que debían compensar de algún modo la rotación de campo producida por los movimientos del telescopio y la rotación de la Tierra. Para ello se han diseñado rotadores de instrumentos, que adecuan la posición de los focos al movimiento continuo del telescopio.

La mecánica del GTC, hace poco sometida a examen en congresos internacionales, atrajo la atención de los expertos por el empleo de la más avanzada tecnología que, como afirma Jorge Pan, "al fin y al cabo es de lo que se trata, valorando en todo momento su coste y riesgo tecnológico".

OSIRIS, "EL OJO DEL CIELO"

El Consejo de Administración de GRANTECAN ratifica la propuesta de contratación con el IAC para el diseño y la construcción del instrumento OSIRIS

El Gran Telescopio Canarias incorporará, entre otros, este potente instrumento de observación que permitirá contemplar el Universo desde sus primeros instantes

JOSÉ MANUEL ABAD LIÑÁN

El Gran Telescopio Canarias (GTC), que comenzará su operación a principios del 2004, contará con instrumentos de observación para contemplar la formación y evolución de las galaxias en la infancia del Universo y aclarar dudas sobre los cuásares lejanos, las enanas marrones, los planetas fuera del Sistema Solar o la composición del medio interestelar, que ocupa la mayor parte del espacio. Del primero de ellos, OSIRIS, acaba de ratificarse la propuesta de contratación del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) para su construcción y diseño. El instrumento estará instalado en el GTC para el 'Día Uno', el comienzo de la operación científica.

Un telescopio no sería nada sin sus instrumentos de observación. Es más, la fabricación de estos instrumentos se justifica en satisfacer programas científicos que sin ellos serían irrealizables. Por eso, el GTC ha tenido en cuenta desde el principio de su diseño los objetivos científicos que pretende culminar. Y los instrumentos para alcanzarlos.

No hablamos del dios del Más Allá, aunque quizá se convierta en un ídolo de la visión ultraterrena. El instrumento OSIRIS (*Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy* o sistema óptico para imagen y espectroscopía integrada de resolución baja e intermedia) obtendrá una imagen directa del cielo, podrá realizar espectroscopía de varios objetos a la vez y trabajará en el rango visible, el que es capaz de percibir el ojo humano.

Entre otros resultados, proporcionará nuevos datos a los científicos en áreas de conocimiento punteras de la Astrofísica, como las atmósferas de los planetas del Sistema Solar, los objetos compactos emisores de rayos X -posibles agujeros negros-, las supernovas muy lejanas -que sirven de referente para conocer la edad del Universo-, las llamadas *explosiones de rayos gamma*, unas tremendas emisiones de energía cuyo origen se desconoce y que es preciso identificar, o asuntos astronómicos tan candentes como la formación y evolución de las galaxias y los cúmulos de galaxias.



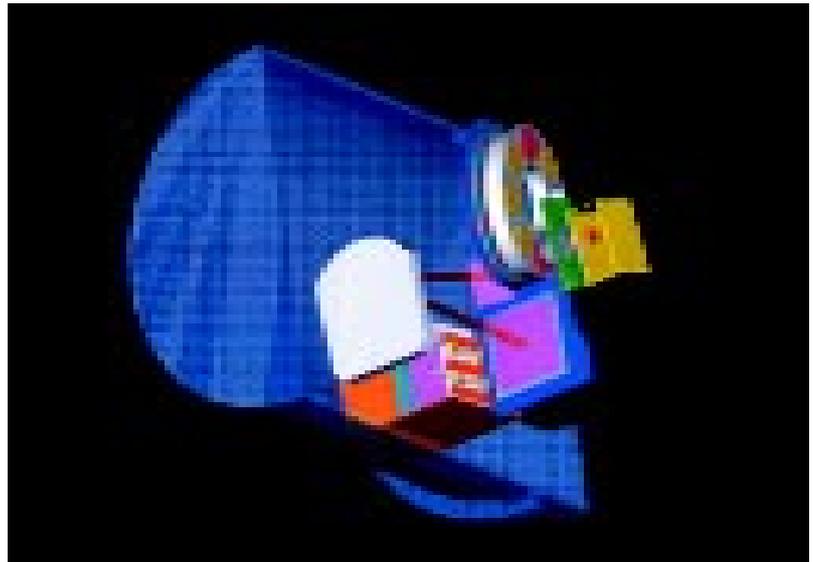
"OSIRIS incorpora varias características interesantes -señala José Miguel Rodríguez Espinosa, Director científico del GTC-, como el uso de filtros variables". Estos filtros permiten observar de manera muy precisa una línea determinada del espectro de luz, situada en cualquier posición dentro del rango visible. "Así sorteamos fenómenos como el desplazamiento al rojo del espectro, que afecta a objetos muy lejanos", añade el científico. Tan lejanos, que vemos ahora cómo eran en la infancia del Universo, cuando tenía sólo entre 1.200 y 1.500 millones de años, un 10% de su edad actual.

Si hubiera que destacar sólo dos de las características de este instrumento, Rodríguez Espinosa subrayaría la gran resolución de imagen y la elevada magnitud límite, es decir, su capacidad de alcanzar a ver estos débiles objetos. OSIRIS, cuya propuesta de contratación con el IAC para su diseño y construcción ratificó en noviembre el Consejo de Administración de GRANTECAN, incorporará unos detectores de muy alta calidad, con

la que se reduce a la mitad el 'ruido' asociado a la observación. De esta manera podrán verse más nítidamente fuentes más lejanas. Además, con este *ojo* se observarán varios objetos a la vez, en un campo de visión mayor y con una eficacia entre un 80% y un 90%.

Si hubiera que destacar sólo dos de las características de este instrumento, Rodríguez Espinosa subrayaría la gran resolución de imagen y la elevada magnitud límite, es decir, su capacidad de alcanzar a ver estos débiles objetos. OSIRIS, cuya propuesta de contratación con el IAC para su diseño y construcción ratificó en noviembre el Consejo de Administración de GRANTECAN, incorporará unos detectores de muy alta calidad, con

Dos vistas de OSIRIS desde la parte posterior y muestra del carenado externo. Procediendo de los elementos más próximos a los más alejados en la imagen, el espejo colimador, el cargador de máscaras, las ruedas de filtros y de grismas, el obturador, la cámara y el termo que contiene el detector. (Se trata de imágenes 'idealizadas' que muestran dichos elementos «en el aire», cuando todos ellos estén debidamente anclados y afianzados a la estructura soporte. Los elementos de anclaje y la estructura soporte no se han representado a fin de que la imagen sea más clara.)



El dispositivo que hace posibles estos logros es un cilindro de unos dos metros de diámetro por 1,70 de largo y dos toneladas de peso, pero muy delicado y al que, paradójicamente, hay que proteger de la luz. Para ello, OSIRIS se recubrirá con un carenado con puertas para mantener y cambiar los elementos internos. A pesar de la complicación, todas las operaciones se dirigirán por control remoto. "Y para efectuar una simple observación hay que mover hasta diez mecanismos distintos de manera sincronizada", apunta el investigador principal del proyecto, Jordi Cepa, astrofísico del IAC y profesor titular del Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna.

Para que los astrónomos disfruten de este instrumento, ha habido que reunir a científicos y tecnólogos de puntos muy distantes en el globo. El consorcio para su diseño y construcción se compone del IAC, con participación mayoritaria y responsable del desa-

rollo del instrumento, y del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM). El equipo de ingeniería se compone de unas 30 personas de ambas instituciones, a las que hay que añadir más de 40 científicos de 21 instituciones de ocho países que forman el equipo científico del proyecto.

No es tarea fácil coordinar a tantas personas en 'reuniones' semanales, por teléfono; en persona, cada dos o tres meses; reuniones de progreso del proyecto; y a través de cientos de correos electrónicos desde que el proyecto comenzó a gestarse en octubre de 1997, "cuando GRANTECAN organizó una reunión para que la comunidad nacional de astrónomos definiera sus intereses científicos", recuerda Jordi Cepa. De ella surgieron dos grandes campos de interés en la observación: en el rango óptico y en el infrarrojo. Y distintos grupos que ofrecieron varias posibilidades de diseño que respondieran a las exi-

gencias de calidad del Gran Telescopio Canarias. Entre ellas, las recogidas en los requerimientos de mantenimiento, bajo la consigna "máxima duración de las piezas, mínimo tiempo de reparación".

Un instrumento, como cualquier otro elemento de los que conforman el GTC, desde su cúpula hasta el pulido de los espejos, ha de pasar varios exámenes y revalidar continuamente su calidad. OSIRIS no va a ser menos. El instrumento ya ha superado uno de estos tests, el *Conceptual Design Review* o Revisión del Diseño Conceptual, en el que un comité de expertos evaluó la marcha del instrumento y le dio su visto bueno.

En esencia una revisión es superada si se considera que se puede pasar a la siguiente fase sin mayores cambios. Las fases de desarrollo de un instrumento, cada una de ellas ligada a una revisión, pueden resumirse en: *Diseño Conceptual, Diseño Preliminar, Diseño Detallado, Fabricación y Pruebas* (en fábrica y en telescopio). La siguiente 'gran revisión' será la de Diseño Preliminar, prevista para el primer cuatrimestre del 2001.

¿Y a partir de ahora? La fabricación de la óptica comenzó el pasado verano. Parte de las lentes se fabrican en México, a través de la UNAM. ¿Por qué México? "Tiene mucha experiencia en el diseño óptico y la fabricación de lentes. Ha intervenido por ejemplo en el instrumento LRS [del *Hobby Eberly Telescope*, de la Universidad de Texas], conceptualmente parecido a OSIRIS", aclara Jordi Cepa.

La óptica es un elemento fundamental del instrumento. OSIRIS dispondrá de un espejo cuasi-parabólico de 70 centímetros de diámetro, que constituye casi un telescopio aparte. Jordi Cepa pone como ejemplo de la relevancia de estos 70 centímetros que "proporcionalmente, en un telescopio de 100 metros, este espejo supondría en sí un telescopio de ocho metros". Además, "el uso de los filtros sintonizables y las redes de difracción, ventajosas por tantas razones, complican sin embargo el diseño óptico", matis-

za el astrónomo. El peso comporta problemas: se trata de una carga pesada y, por tanto, con riesgo de flexiones mecánicas y de deformaciones que desvirtúen la calidad de la imagen.

De evitarlo se encargarán el IAC -que además de la mecánica también desarrollará la electrónica y el control- y la Universidad de La Laguna. "Y queda aún por adjudicar el diseño detallado y la fabricación de la mecánica, probablemente a una empresa española". Ya que los detectores del instrumento tienen que mantenerse a la friolera de 123 grados centígrados bajo cero, la criogenia se ha confiado de nuevo a empresas de prestigio, como lo son las estadounidenses *Infrared Labs* y *GL Scientific*. Ambas empresas han realizado multitud de trabajos relacionados con la criogenia de detectores para varios instrumentos en telescopios de gran tamaño.

Hablábamos de control remoto porque con OSIRIS, como con el resto del GTC, el astrónomo no necesitará estar en el telescopio. Gracias a un programa informático y al envío de datos por Internet, se generará una secuencia de operaciones, "y eso es lo que se manda al instrumento", explica Jordi Cepa. "Este instrumento -añade- funcionará *por colas*, es decir, se esperará a tener unas condiciones de observación apropiadas para que el telescopio ejecute la secuencia de operaciones y, después, un astrónomo de soporte corregirá posibles pequeños errores. Tras efectuar las observaciones, se enviarán al astrónomo los datos y así se logrará la máxima velocidad".

El recibimiento de este instrumento en la comunidad científica internacional ha sido excelente. Como señala el astrofísico, "en el simposio de 'Telescopios e Instrumentación Astronómica 2000' (SPIE), que se celebró el pasado marzo en Múnich para reunir a los representantes de los mayores telescopios del mundo, vimos que el instrumento es muy competitivo". Muchos instrumentos en proyecto para telescopios de 8 y 10 metros tomarán el modelo de OSIRIS, una nueva manera de abrir los ojos al Universo.

El equipo que desarrolla OSIRIS:

Investigador Principal:

Jordi Cepa (IAC-Universidad de La Laguna)

Co-investigadores principales:

Jesús González (IA-UNAM)

Jonathan Bland-Hawthorn (Observatorio Anglo-Australiano)

Equipo de definición:

Ignacio González-Serrano (Instituto de Física de Cantabria)

Emilio Alfaro (IAA)

Héctor Castañeda (IA-UNAM)

Miguel Sánchez (VILSPA)

Jorge Casares(IAC)

Equipo técnico del IAC*:

Ángeles Pérez (Project Manager)

Víctor G. Escalera (Ingeniero de Sistemas)

José Luis Rasilla (Óptica)

Ana B. Frago (Óptica)

Javier Fuentes (Mecánica)

Lorenzo Peraza (Mecánica)

Carmelo Militello (Mecánica)

José A. Ballester (Mecánica)

Jaime Pérez (Mecánica)

Santiago Correa (Mecánica)

Enrique Joven (Detectores)

Marta Aguiar (Control)

Antonio Cruz (Control)

José V. Gigante (Control)

Equipo técnico de la UNAM:

Beatriz Sánchez (Local Manager)

Francisco Cobos (Óptica)

Carlos Tejada (Óptica)

Jesús González (Óptica)

Salvador Cuevas (Óptica)

Fernando Garfias (Óptica)

Carlos Espejo (Recubrimientos)

Rosalía Langarica (Mecánica)

Silvio Tinoco (Mecánica)

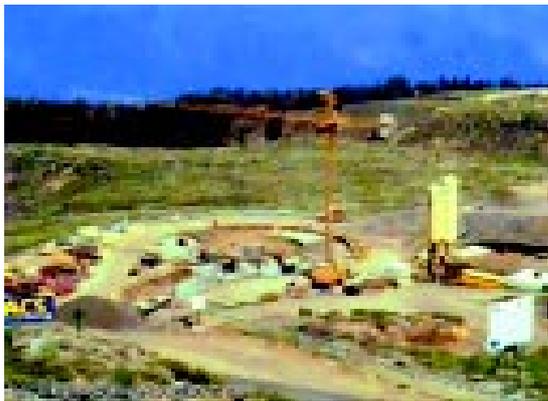
Vicente Cajero (Taller de Mecánica)

Franco Pérez (Taller de Óptica)

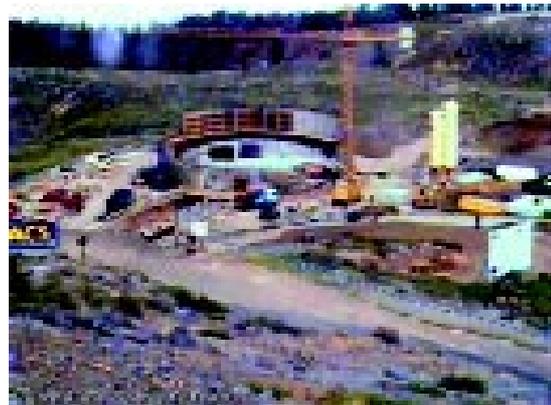
Oscar Chapa (Taller de Óptica)

* Con la colaboración del Área de Instrumentación.

El GTC, día a día



Agosto 2000



Septiembre 2000



Octubre 2000



Noviembre 2000



Diciembre 2000

Imágenes del lugar de ubicación del GTC obtenidas en distintos meses con la cámara digital (*webcam*) que toma imágenes cada 5 minutos para que estén disponibles en la red inmediatamente después.

Las imágenes sucesivas muestran el progreso en la construcción del GTC. La cámara está situada en el edificio del Telescopio Nacional Galileo (TNG), a unos 400 m del sitio del GTC, y elevada sobre la cota de éste unos 90 m.

Fuente del texto y Webcam: Web del Proyecto GTC

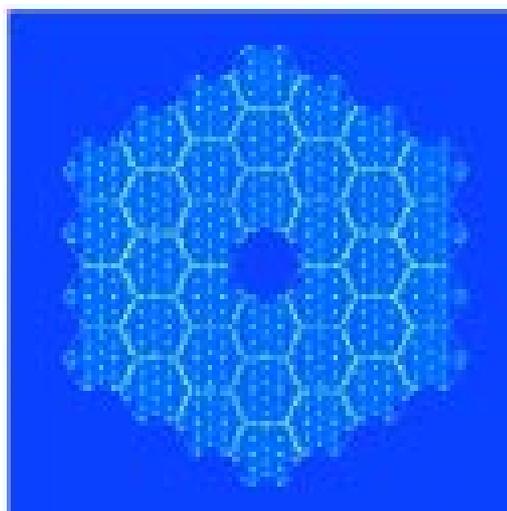
TESIS DOCTORAL SOBRE TELESCOPIOS SEGMENTADOS

Los astrónomos requieren telescopios cada vez mayores para poder observar objetos más débiles. Los telescopios con espejos segmentados se han propuesto como una solución al problema de incrementar el diámetro del espejo primario. Esta solución es relativamente nueva, y sólo tres telescopios que hayan adoptado esta tecnología están ahora en operación (Keck I, Keck II y el telescopio Hobby Eberly). El Gran Telescopio Canarias (GTC), que será instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, será un telescopio con espejo primario segmentado. Uno de los requerimientos de este telescopio es que debe proporcionar una excelente calidad de imagen de forma que pueda aprovechar las excelentes condiciones atmosféricas de la Isla de La Palma. Existen ya planes para la próxima generación de telescopios extremadamente grandes, con espejos primarios de hasta 100 m de diámetro. Estos telescopios emplearán tecnología de espejos segmentados.

CARMEN DOLORES BELLO FIGUEROA presentó su tesis doctoral titulada "Mejora de la calidad de imagen de un telescopio grande segmentado", en el aula magna de la Facultad de Físicas de la Universidad de La Laguna, el 29 de noviembre de 2000, obteniendo la máxima calificación de Sobresaliente "cum laude".

Esta tesis fue dirigida por los doctores Nicholas Devaney (GTC) y José Miguel Rodríguez Espinosa (GTC/IAC). En esta tesis se ha estudiado el efecto de la segmentación en el rendimiento de sistemas de óptica adaptativa, y se ha demostrado que estos sistemas operando en telescopios segmentados no demandan una solución muy diferente de la de aquellos que lo hacen en telescopios monolíticos, y que el sistema de óptica adaptativa puede además corregir parte de los errores de "pistón" del espejo. La idea de construir telescopios extremadamente grandes basados en espejos primarios segmentados y utilizando óptica adaptativa parece por tanto factible.

Nacida en La Orotava (Tenerife), el 18 de diciembre de 1973, Carmen Dolores Bello Figueroa se licenció en Ciencias Físicas (especialidad de Óptica) por la Universidad de Zaragoza en junio de 1996. Fue becaria de verano de instrumentación en el Departamento de Óptica del IAC durante los veranos de 1995 y 1996. Durante el curso 1995-1996 disfrutó de una beca de colaboración en el Departamento de Óptica de la Universidad de Zaragoza. En octubre de 1996 obtuvo un contrato como astrofísico residente al IAC, donde ha permanecido hasta ahora. En enero de 2001 se incorporará como ingeniero post-doctoral a ONERA, en París.



Una de las geometrías de lentes del sensor de frente de onda que se han estudiado para un posible sistema de óptica adaptativa operando en un telescopio segmentado tipo GTC. Dado que alguna de las lentes cruzan segmentos, el sistema formado por el sensor de frente de onda junto con el espejo deformable es capaz de medir y corregir en cierto grado los errores de "pistón" residuales en el espejo.



Espejo primario (mosaico de 36 espejos hexagonales)

JUNTA GENERAL EXTRAORDINARIA DE GRANTECAN



Imágenes de la reunión de la Junta General Extraordinaria y del Consejo de Administración de GRANTECAN, el pasado 6 de octubre, en La Laguna.

El pasado 6 de octubre, se reunió en La Laguna (Tenerife) la Junta General Extraordinaria y el Consejo de Administración de GRANTECAN. En esta reunión, la Junta General Extraordinaria nombró al nuevo Presidente de la sociedad, Ramon Marimon Suñol, Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica, que sustituye en el cargo a Pascual Fernández Martínez, actual Secretario de Estado de Aguas y Costas. También se nombraron nuevos Consejeros (ver organigrama de GRANTECAN, en la última página). El Consejo de Administración ratificó en esta reunión la propuesta de contratación con el IAC para el diseño y la construcción del instrumento OSIRIS .

NUEVOS CONTRATOS

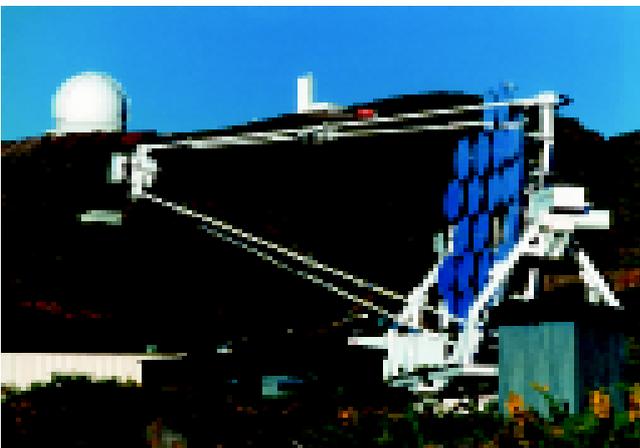
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ACTUADORES DEL ESPEJO PRIMARIO, LA PLANTA DE RECUBRIMIENTOS Y EL INSTRUMENTO DE PRUEBAS DEL GTC

El pasado 8 de noviembre, se reunió en la sede del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en Madrid, el Consejo de Administración de GRANTECAN. En esta reunión, se adjudicaron el diseño y la fabricación de los sistemas de accionamiento del espejo primario del GTC a la empresa española "Construcciones Españolas de Sistemas Aeronáuticos" (CESA). Estos sistemas, también denominados actuadores, son una parte fundamental del sistema de óptica activa del telescopio, que permite corregir los efectos negativos en la calidad de la imagen producidos por defectos y perturbaciones sobre la óptica y la mecánica del telescopio. Actualmente, CESA construye los sistemas de soporte pasivo de los 36 segmentos. La empresa "ImasDé Canarias", de Las Palmas de Gran Canaria, participará en el desarrollo de la electrónica de estos sistemas.

El Consejo de Administración también adjudicó la planta de recubrimientos, una cámara de vacío en la que serán recubiertos de aluminio los segmentos del espejo para hacerlos reflectantes. La empresa adjudicataria es la alemana "Vakuumtechnik Dresden" (VTD), emplazada en la ciudad de Dresde, con cuarenta años de experiencia en tecnologías del vacío.

Asimismo, el instrumento de pruebas del GTC fue asignado a la Universidad Autónoma de México (UNAM). Este instrumento es un útil técnico que permite comprobar el correcto funcionamiento de los distintos sistemas que conforman el telescopio antes de la instalación de los instrumentos científicos. La UNAM participa en el desarrollo óptico de uno de ellos, OSIRIS (*Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy*), de cuyo diseño y construcción se encarga el IAC.

Tras la revisión del proyecto, la construcción del GTC sigue cumpliendo rigurosamente los planes y plazos previstos y el presupuesto estimado. Se mantiene así la fecha de principios del 2004 para el comienzo de la explotación científica del telescopio.



FIRMADO EL CONVENIO PARA LA INSTALACIÓN DEL GTC EN EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS

Previamente a la reunión del 8 de noviembre, la Ministra de Ciencia y Tecnología y Presidenta del Consejo Rector del IAC, Anna Birulés, y el presidente de GRANTECAN, Ramon Marimon, firmaron el convenio para la instalación del GTC en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en el término municipal de Garafía (La Palma).

En la imagen, vista parcial del Observatorio del Roque de los Muchachos.

Empresas participantes en el proyecto GTC

Empresas y centros que trabajan para el GTC:

SCHOTT (Maguncia, Francfort, Alemania). Fabrican los 42 bloques de ZERODUR que formarán el espejo primario. Es la empresa que ha desarrollado este material con el que se han construido los espejos primarios de muchos telescopios modernos (KECK, VLT, NTT, etc.).

UTE GMU, formada por las empresas **GHESA** (Madrid), **URSSA** (Vitoria) y **MONCAINSA** (Las Palmas de Gran Canaria). **GHESA** es una empresa de ingeniería de Madrid que pertenece al grupo de Empresarios Agrupados. **URSSA** es una empresa de construcción metálica de Vitoria. **MONCAINSA** es una empresa de instalaciones industriales con sede en Las Palmas de Gran Canaria y que pertenece al grupo nacional COBRA. Diseñan y construyen la Cúpula.

MANNESMANN Demag (Alemania). Su factoría en A Coruña trabaja bajo subcontrato con la UTE GMU para la construcción de los mecanismos de movimiento de la cúpula.

LV Salamanca Ing. (Madrid). Realizó el Diseño de Detalle (o proyecto constructivo) del edificio del GTC. Actualmente actúa como dirección facultativa en la fase de construcción de la Obra Civil. Es una empresa de ingeniería de sistemas industriales.

ACS (Madrid). Realiza la construcción de la Obra Civil. Es una empresa de construcción de Obra Civil. Tiene delegación en la Isla de La Palma.

CEP Ibérica (Madrid). Controla la calidad de la Obra Civil.

UTE SG, formada por las empresas **GHESA** (Madrid) y **SCHWARTZ-HAUTMONT** (Tarragona). Diseñan y construyen la estructura metálica del telescopio y sus mecanismos de movimiento. **SCHWARTZ-HAUTMONT** es una empresa de construcción metálica de Tarragona. Construyó la estructura metálica del Keck I, de las cúpulas de los telescopios del proyecto Magellan y de múltiples antenas parabólicas de seguimiento de satélites.

PHASE (Italia). Bajo subcontrato con la UTE SG, construye los motores de movimiento del telescopio.

HEINDENHAM (Suiza). Bajo subcontrato con la UTE SG, construye los codificadores ópticos para el telescopio.

SKF (Suecia). Bajo subcontrato con la UTE SG, construye los sistemas de cojinetes hidrostáticos del telescopio.

TEKNIKER (Bilbao). Bajo subcontrato con la UTE SG, diseña y construye el sistema de rotación de instrumentos para los focos Nasmyth del GTC.

REOSC (París, Francia). Realizan el pulido de los segmentos del espejo primario y la fabricación del espejo secundario en soporte de berilio. Pertenecen al grupo francés SAGEM. Esta empresa realizó el pulido de los cuatro espejos del proyecto VLT (*Very Large Telescope*), instalados en Chile, del Observatorio Sur Europeo (ESO), y para los dos telescopios Gemini, instalados en Hawái y Chile, respectivamente, del consorcio internacional dirigido por AURA (*Association of Universities for Research in Astronomy*).

CESA (Construcciones Españolas de Sistemas Aeronáuticos) (Madrid). Construye los actuadores de los segmentos del espejo primario y los sistemas de soporte pasivo de los segmentos. Es una empresa de diseño y fabricación de sistemas para aviación.

ImasDé Canarias (Las Palmas de Gran Canaria). Realiza el desarrollo de los prototipos de los sensores de borde de los segmentos del espejo primario y es subcontratista de CESA para la electrónica de los accionamientos del espejo primario. Es una empresa que diseña y construye sistemas electrónicos en general, con sede en Las Palmas de Gran Canaria.

RAMEM (Madrid). Bajo subcontrato con CESA participa en la construcción de los sistemas de soporte pasivo de los segmentos del espejo primario.

IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias) (Tenerife). Realiza el Diseño Preliminar de los instrumentos OSIRIS y EMIR, actuando como líder de amplios consorcios internacionales en estos dos instrumentos. Lidera la participación española en el instrumento CANARI-CAM. Desarrolla un sistema automático para la medida del contenido en vapor de agua en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Da soporte científico y técnico específico en diversas actividades del proyecto. También se responsabiliza, a través de su Gabinete de Dirección, de la difusión cultural del GTC.

Universidad de Florida (Gainesville, Florida, EEUU). Realiza el Diseño Preliminar del instrumento CANARI-CAM. Posee experiencia reconocida mundialmente en el desarrollo y construcción de instrumentación astrofísica en el infrarrojo térmico.

AMOS (Advanced Mechanical and Optical Systems) (Lieja, Bélgica). Realiza el diseño y fabricación de los núcleos de adquisición, guiado y calibración del GTC. Estos sistemas permiten mantener el telescopio en el objeto observado corrigiendo los posibles fallos en el seguimiento. También diseña y construye el espejo terciario del GTC. Bajo subcontrato con la UTE SG diseña y construye la torre de soporte y mecanismos del espejo terciario. Esta firma belga cuenta con experiencia en esta área y ha desarrollado trabajos similares para los cuatro telescopios del VLT y para los dos telescopios Gemini.

ZEISS (Jena, Alemania). Bajo subcontrato con AMOS participa en la fabricación del espejo terciario del GTC.

NTE (Nuevas Tecnologías Espaciales) (Barcelona). Diseña y construye los mecanismos de movimiento del espejo secundario, que permiten corregir la influencia de las vibraciones de la estructura del telescopio en la imagen del cielo.

CSEM (Suiza). Bajo subcontrato con NTE participa en el diseño de los mecanismos del espejo secundario.

UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) (México DC). Construye la cámara de pruebas del GTC y colabora con el IAC en la construcción del instrumento OSIRIS.

VTD (Vakuumechnik Dresden GmbH) (Dresden, Alemania). Construye la planta de recubrimientos reflectantes de los espejos. Es una empresa de gran experiencia en el desarrollo y construcción de este tipo de plantas.

SESO (Société Européenne de Systèmes Optiques) (Aix-en-Provence, Francia). Realiza el desarrollo de recubrimientos ópticos especiales para los elementos ópticos de los instrumentos científicos.

Marconi Applied Technologies (Reino Unido). Suministra los detectores para el subsistema de Calibración, Adquisición y Guiado, para la Cámara de Pruebas y para el instrumento OSIRIS.

Rockwell Science Center (Los Angeles, EEUU). Suministra los detectores de infrarrojo próximo para el instrumento EMIR.

MIT Lincoln Lab. (EEUU). Desarrolla detectores especiales de grado científico para el instrumento OSIRIS.

Empresas y centros que han trabajado para el GTC:

TENO Ingenieros (Tenerife). Realizó la prospección del subsuelo del Observatorio del Roque de los Muchachos, donde se ubicará el edificio del GTC.

HIBERESPACIO (Madrid). Realizó el Diseño Preliminar de la estructura metálica del GTC y de sus mecanismos de movimiento y del edificio. Es una empresa de ingeniería de sistemas industriales y espaciales que pertenece al grupo de Empresarios Agrupados.

NFM Technologies (París, Francia). Realizó parcialmente el Diseño Preliminar de la estructura metálica del GTC y de sus mecanismos de movimiento. Es la empresa que diseñó y construyó similares elementos de los telescopios Gemini.

Departamento de Óptica y Optometría de la Universidad Politécnica de Cataluña (Tarrasa, Barcelona). Construyó el prototipo de un interferómetro para la medida de la posición de los segmentos del espejo primario.

KODAK (Rochester, Nueva York, EEUU). Realizó un programa de demostración de las posibilidades de pulir los segmentos del espejo primario. Realizó el pulido final de los segmentos de los telescopios Keck. También pulió los segmentos del telescopio HET.

Galileo Ingeniería y Servicios (Tenerife). Desarrolló el sistema de control de un banco de pruebas de los prototipos de actuadores y sensores del espejo primario.

Departamento de Física Aplicada de la Universidad de La Laguna, Sección Departamental de Computadoras y Control (Tenerife). Estudió diferentes algoritmos para el control de los segmentos del espejo primario.

STZ Leuchtentechnik (Alemania). Realizó los estudios de luz difusa en la instalación del GTC.

IKERLAN (Bilbao). Estudió diferentes alternativas para los accionamientos del espejo secundario.

Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona). Realizó las simulaciones aero-termodinámicas de la cúpula para optimizar su diseño.

Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (Madrid). Realizó las primeras modelizaciones de la estructura mecánica del GTC.

SENER (Bilbao). Realizó el estudio de diferentes alternativas de los sistemas de movimiento de la estructura mecánica del GTC.

Optical Lab. de la Universidad de Arizona (Tucson, Arizona, USA). Diseñó un sistema de verificación del pulido de los segmentos del espejo primario.

MTORRES Diseños Industriales, S.A. (Pamplona). Estudió diferentes alternativas para los accionamientos del espejo secundario.

Desarrollo de Sistemas Logísticos (DSL) y POAS Mantenimiento, S.L. (Madrid). Desarrolló un sistema logístico informático de aplicación para el diseño y mantenimiento del GTC.

ADAMICRO (Madrid). Colaboró con GRANTECAN en la búsqueda de empresas nacionales y canarias con capacidad de participación en el proyecto.

TELSTAR (Barcelona). Realizó un estudio de las posibilidades de desarrollo y construcción de los sistemas de recubrimiento de los segmentos.

INTECSA (Madrid). Realizó la dirección y estudios de laboratorio de los sondeos en el subsuelo del Observatorio del Roque de los Muchachos para el edificio del GTC.

MEDIA Consultores (Madrid). Realizó el modelado por elementos finitos del pilar del telescopio.

