



# IAC NOTICIAS

Revista del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) **N. 1-2001**



**Canibalismo galáctico**

## Presentación



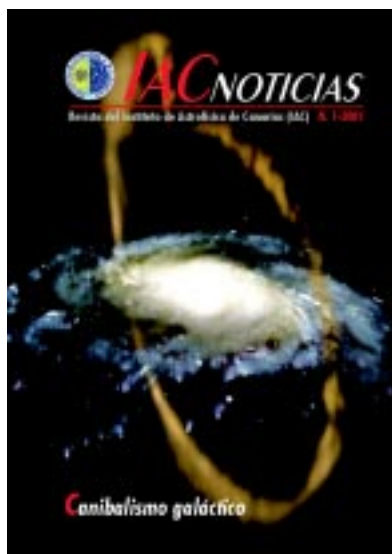
**Francisco Sánchez**  
Director del IAC

Los comienzos de siglo y de milenio son buenas fechas para los cambios. *IAC Noticias* inicia una nueva etapa como revista del Instituto de Astrofísica de Canarias, con un nuevo diseño –esperamos que más atractivo– y con indudables mejoras en su contenido, donde las secciones habituales como, por ejemplo, los artículos firmados o las entrevistas se presentan dando un mayor énfasis a la ilustración. También se incorporan secciones nuevas, como “Noticias astronómicas”, “La jerga de las estrellas”, “Astrocultura” y “La realidad de la ficción”.

El año mítico en el que nos encontramos era un buen pretexto no sólo para introducir mejoras en nuestras publicaciones periódicas, sino también para crear otras nuevas. Dada su periodicidad semestral, *IAC Noticias* no puede atender las exigencias de actualidad en lo que concierne a la múltiple actividad del centro, para lo cual existen otros canales de información (notas de prensa, página web, ...), además de nuevas ediciones en proyecto que esperamos ofrecer en breve plazo.

La revista *IAC Noticias* seguirá acompañada de los suplementos especiales que resulten de eventos organizados por el IAC: Escuelas de Invierno, Suplementos especiales del GTC, .... Todas estas publicaciones tendrán, como hasta ahora, su correspondiente edición digital en la siguiente dirección de Internet: <http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>.

En esta nueva andadura, *IAC Noticias* pretende algo más que recoger la información generada sobre la actividad del Instituto de Astrofísica de Canarias y sus Observatorios en todos sus ámbitos. También espera convertirse en una revista de interés interdisciplinar, abierta a la comunidad científica y con vocación de difusión cultural. Desde sus orígenes, esta sencilla publicación es una respuesta de un centro de investigación a la sociedad que lo sustenta.



Director del IAC: *Francisco Sánchez*  
Jefe del Gabinete de Dirección: *Luis A. Martínez Sáez*  
Jefa de Ediciones: *Carmen del Puerto*  
Redacción y confección:  
*Carmen del Puerto, Begoña López Betancor y Annia Domènech*  
Asesoramiento científico: *Luis Cuesta*  
Asesoramiento técnico: *Juan Calvo*  
Directorio y distribución: *Ana Quevedo y Fabiola Rodríguez*  
Diseño original: *Gotzon Cañada y Carmen del Puerto*  
Edición digital: *M.C. Anguita*  
Dirección web: <http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>  
Fotografías: *Servicio Multimedia del IAC (SMM), Gabinete de Dirección y otros*  
Tratamiento digital de imágenes: *Gotzon Cañada y SMM del IAC*  
Edita: *Gabinete de Dirección del IAC*  
Preimpresión e Impresión: *Producciones Gráficas*  
Depósito Legal: TF-335/87 ISSN: 0213/893X. Núm. 49.

*Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en esta revista, citando como fuente el autor y el Instituto de Astrofísica de Canarias.*

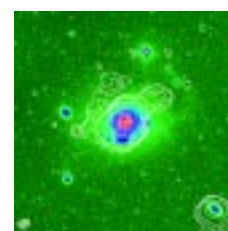
FOTO DE PORTADA: Galaxia enana de Sagitario alrededor de la Vía Láctea. Composición: *Gabriel Pérez (SMM/IAC)*

## Las fusiones de galaxias

Desde los años setenta, los astrónomos aceptan que muchas peculiaridades morfológicas observadas en las galaxias son el resultado de procesos gravitatorios durante aproximaciones o colisiones entre ellas. El descubrimiento de que las colisiones galácticas son *disipativas* (las órbitas de las galaxias pierden energía durante la colisión) nos llevó a comprender que las galaxias pueden fusionarse. ¿Cuán frecuentes son las fusiones galácticas? ¿Dónde están, o cuáles son, los productos de estas fusiones? ¿Cómo afectan a la morfología de las galaxias? La fusión de estructuras gravitatorias está en la base de los modelos cosmológicos aceptados actualmente de tipo *bottom-up*, por lo que es un aspecto fundamental de la formación galáctica. El descubrimiento de que las fusiones galácticas causan brotes muy intensos de formación estelar ha ligado estas fusiones a la historia de la formación estelar de las galaxias. El estudio de la fusión galáctica engloba gran cantidad de procesos físicos todavía por explorar, lo que lo hace un campo atractivo de la astrofísica actual.



**Marc Balcells**  
(IAC)

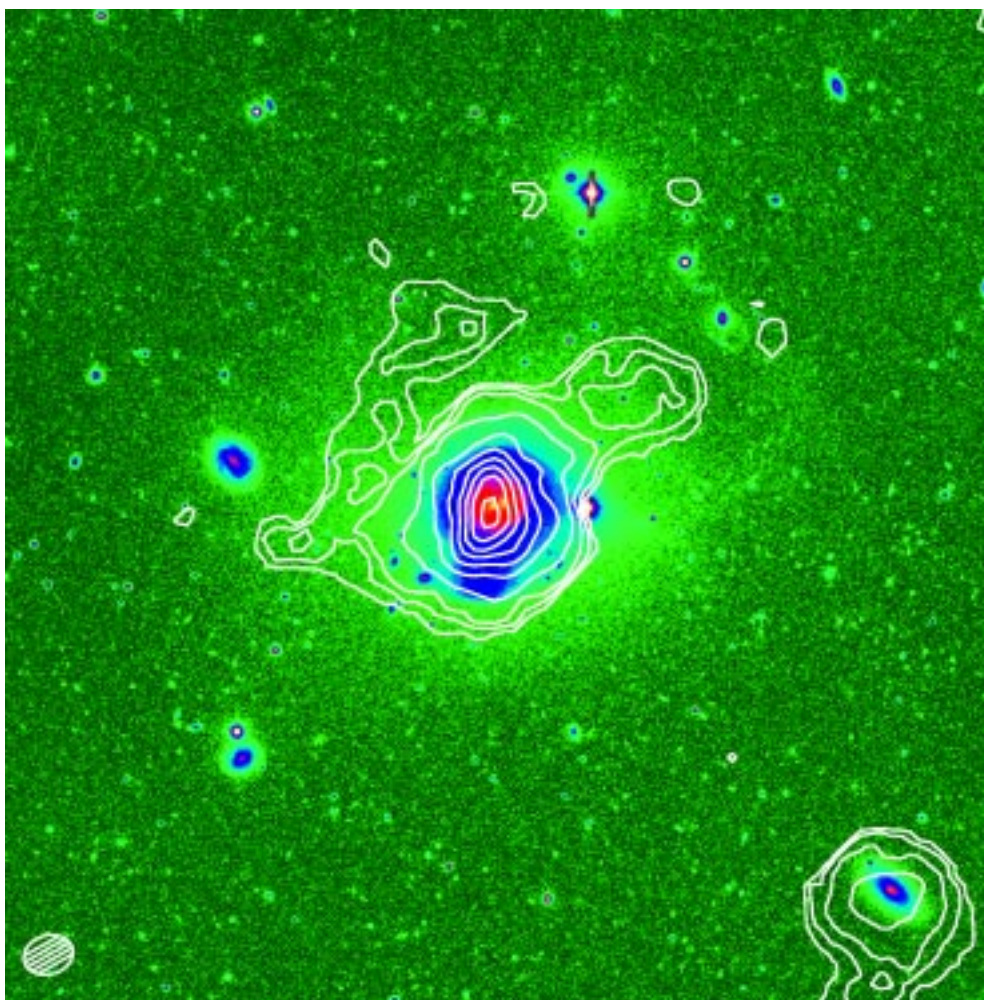


Fritz Zwicky, en los años cincuenta, y después Halton Arp, en 1967, publicaron catálogos de galaxias con peculiaridades morfológicas, es decir, sin la simetría central característica de las galaxias más conocidas. Entre las peculiaridades más sorprendentes estaban las *colas y puentes*, filamentos luminosos que emanan de galaxias perturbadas. Fred Hoyle arguyó que la fuerza gravitatoria es demasiado isotrópica para generar tales colas y puentes, y que éstos debían de ser el resultado de procesos magnéticos. Sin embargo, en un artículo seminal publicado en 1972, los hermanos Toomre demostraron, usando sencillas simulaciones por ordenador, que el campo gravitatorio entre galaxias de disco genera colas y puentes, consecuencia de la resonancia entre el campo de marea y la rota-

ción interna de los discos. Los Toomre arguyeron también que la energía necesaria para la eyección de las colas y puentes provenía de la energía orbital de las dos galaxias, por lo que las colisiones galácticas debían ser *disipativas*, lo que llevaría las galaxias a su fusión. Alar Toomre propuso posteriormente que las galaxias elípticas podían ser el resultado de tales cataclismos: galaxias elípticas como “hijas” de las galaxias de disco -una inversión respecto al orden aceptado generalmente en el que las elípticas eran galaxias viejas- y las espirales jóvenes.

### **Galaxias peculiares**

El carácter revolucionario de la conjetura de Toomre desató el interés en el estudio de las pe-



*Una fusión reciente: la galaxia elíptica peculiar NGC 3656 contiene grandes cantidades de hidrógeno neutro en su núcleo y envoltorio, y está formando estrellas en sus regiones centrales. La presencia de hidrógeno neutro, su distribución inusual, además de otras peculiaridades como son las conchas fotométricas y sus dos tenues colas de marea, son indicativas de procesos recientes de fusión galáctica. NGC 3656, que se encuentra a 125 millones de años luz de nosotros, es la galaxia más brillante de un grupo que contiene al menos cinco galaxias enanas ricas en gas, una de las cuales se observa en la esquina inferior derecha de la imagen. NGC 3656 puede haber crecido por fusiones de galaxias ricas en gas como las que observamos actualmente en su grupo. La imagen cubre un área del cielo de 320.000 años luz a la distancia de NGC 3656.*

cularidades estructurales en galaxias. Ejemplos son las galaxias elípticas con *conchas*, tenues capas luminosas aproximadamente concéntricas que se observan en un 30% de las galaxias elípticas; los *anillos polares*, discos o anillos estelares y/o gaseosos de gran extensión perpendiculares a su galaxia madre de tipo S0; los *núcleos contrarrotantes* en galaxias elípticas; y los *discos de gas* neutro o ionizado en galaxias elípticas. Los estudios de estas galaxias se centran en dos cuestiones. En primer lugar, ver si tales peculiaridades son consecuencia de procesos de fusión entre galaxias. Y, en segundo lugar, ver si, a partir del estudio de estos restos fósiles de procesos de fusión, podemos aprender sobre la historia de las fusiones en la vida de las galaxias.

Las conclusiones de tales estudios han sido hasta la fecha sólo parcialmente satisfactorias: si bien se han desarrollado modelos que explican el origen en una fusión de la mayoría de las peculiaridades, estos modelos no suelen ser únicos, por lo que resulta difícil deducir con precisión la historia de las fusiones de las galaxias. Las fusiones, asimismo, como puros procesos de dinámica gravitatoria, no pueden producir las altas densidades de los núcleos de elípticas a partir de discos estelares, debido a una propiedad de la dinámica estelar llamada la conservación de la densidad en el espacio de las fases. Una dificultad importante radica en que las peculiaridades morfológicas más evidentes dejan de ser visibles tras uno o dos giga años, un lapso de tiempo corto en relación con la edad del Universo. La observación directa del universo primitivo, recientemente hecha posible por el Telescopio Espacial Hubble (HST) y por los telescopios de la clase de 10 m, aporta herramientas para abordar este problema. Una segunda dificultad radica en que resulta altamente complejo modelar con precisión los procesos de formación de estrellas en fusiones de galaxias.

### **Formación estelar**

En 1983 fue puesto en órbita el satélite IRAS (*Infrared Astronomical Satellite*) por Estados Unidos, el Reino Unido y Países Bajos. IRAS llevó a cabo un cartografiado completo del cielo a cuatro longitudes de onda del infrarrojo medio y

lejano. Entre los muchos hallazgos de esta fructífera misión, IRAS identificó una clase de galaxias con una fuerte emisión infrarroja, de luminosidad bolométrica cercana a la de los cuásares. Las imágenes ópticas de estas galaxias revelaron morfologías características de galaxias en avanzado estado de fusión, así como grandes cantidades de polvo. La emisión infrarroja provenía de la re-radiación por polvo de la luz ultravioleta de estrellas recién formadas. Con este descubrimiento, las fusiones de galaxias dejaron de ser un problema de dinámica gravitatoria: comparar modelos con objetos reales requeriría incluir dinámica gaseosa y formación estelar. La fusión ya no se consideraba una mera *reorganización* estructural y dinámica de las estrellas de una galaxia, sino uno de los procesos que llevan a la *formación* de las estrellas de una galaxia.

Desde entonces, hemos aprendido que la formación estelar durante las fusiones es sobre todo

«En la cosmología actual, las estructuras que vemos del Universo serían el resultado de la fusión progresiva de estructuras menores y la dinámica de este colapso estaría dominada por la materia oscura.»

nuclear, llevando a las galaxias a aumentar su densidad central, con lo que podemos explicar las altas densidades centrales de las galaxias elípticas, y en menor medida extra-nuclear: parece demostrado que las fusiones llevan a

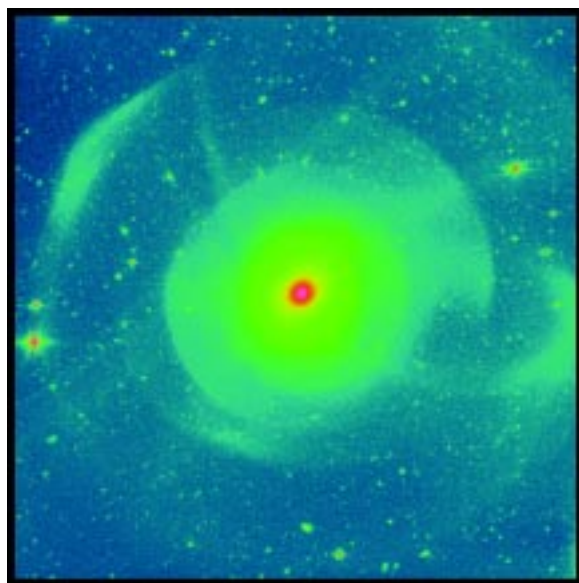
la formación de generaciones de cúmulos globulares y que pueden llevar a la formación de galaxias satélites a partir de condensaciones en las colas de marea. La importancia de este proceso puede determinarse comparando la estadística de satélites en galaxias peculiares y normales (si se asume que las galaxias "normales" no fueron en su día resultados de fusiones).

Estudiar la formación estelar en fusiones ha resultado complejo, y no disponemos actualmente de respuestas firmes a las preguntas básicas. Los modelos indican que, durante la fusión, el campo de marea genera barras transitorias que mandan gran cantidad de gas hacia el centro. Se supone que la formación estelar es una consecuencia de la compresión resultante del gas. Pero la dependencia del ritmo de formación estelar en la densidad es desconocida. Y la intensidad de la distorsión de barra depende de los detalles estructurales de las galaxias en fusión: galaxias sin bulbos sufren una fuerte reacción inicial de barra, que causa un primer brote de

formación estelar durante la aproximación de las galaxias, seguido de un brote menor en la fusión final de los núcleos. En las galaxias con bulbos centrales ya conformados, el bulbo estabiliza parcialmente el disco, y se da un brote único en la fusión final de los núcleos. Extraer conclusiones genéricas acerca de la historia de fusiones de las galaxias a partir de estos resultados presenta la dificultad inherente al hecho de que los modelos usan galaxias iguales a las actuales como ingredientes de la fusión. En el pasado, las galaxias pudieron ser distintas de las actuales, en su relación bulbo-disco, en su contenido en gas y polvo, en su metalicidad, en su masa luminosa y oscura, etc., y cada uno de estos parámetros afectaría a la eficiencia de formación estelar durante la fusión.

Progresar en el conocimiento de los mecanismos de formación estelar en fusiones es esencial para relacionar las medidas de la evolución de la densidad de formación estelar en el Universo en función del corrimiento al rojo, obtenidas de muestreos profundos con el HST, con los modelos de crecimiento de estructuras en el Universo.

«La formación estelar durante las fusiones es sobre todo nuclear, llevando a las galaxias a aumentar su densidad central.»



La galaxia NGC 474 es un prototipo de galaxia con conchas. En base a estudios mediante simulaciones por ordenador, se cree que las conchas están compuestas por estrellas que pertenecieron a una pequeña galaxia que fue engullida por la galaxia principal, o a estrellas capturadas de otra galaxia durante una colisión galáctica que no llevó a fusión. Entre un 30% y un 50% de las galaxias elípticas poseen conchas, lo que indica que las colisiones y fusiones fueron comunes en la vida de estas galaxias.

## Crecimiento de estructuras en el Universo

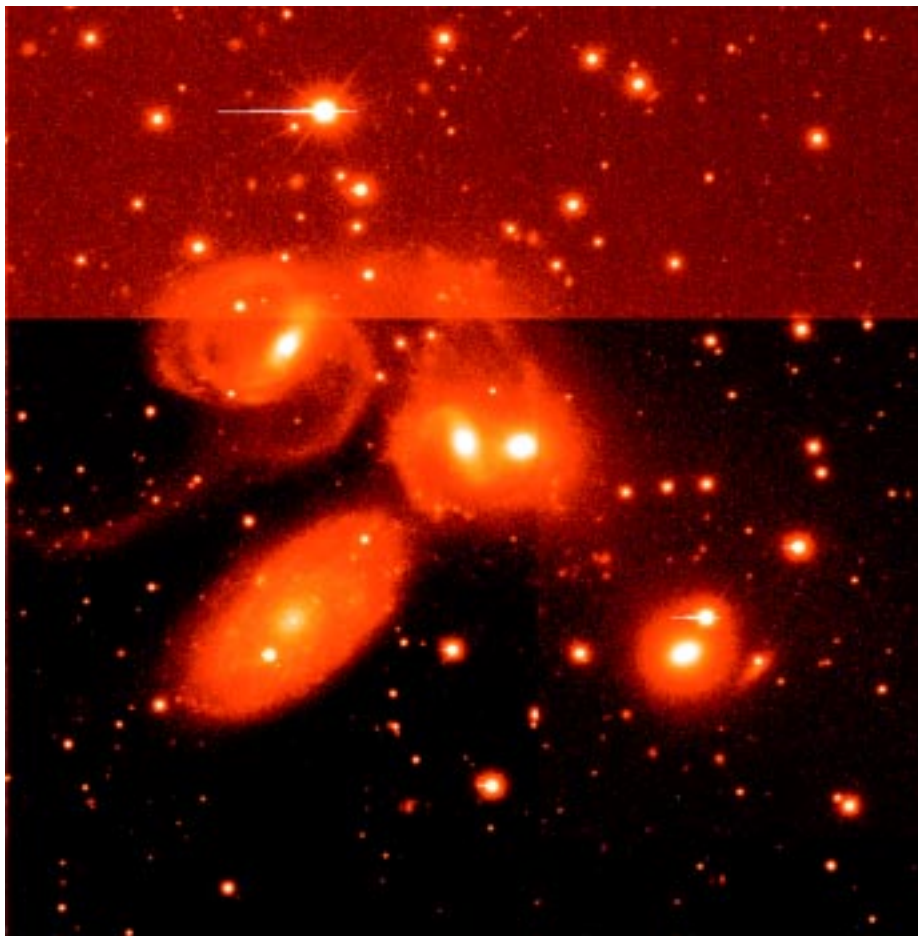
La cosmología actual asume que la distribución de materia en el Universo, altamente inhomogénea, se conformó por colapso gravitatorio a partir de fluctuaciones de densidad primordiales en el universo primitivo, y tenemos argumentos fehacientes de que el colapso procedió primero en escalas espaciales pequeñas. Las estructuras actuales serían pues el resultado de la fusión progresiva de estructuras menores. La dinámica de este colapso estaría dominada por la materia oscura, que no es colisional ni disipativa, por lo que su evolución puede estudiarse mediante modelos puramente gravitatorios. En los pozos de potencial resultantes caería la materia

bariónica, principalmente gas ionizado, para formar la componente luminosa de las galaxias en procesos de formación estelar. Esta hipótesis sobre

la formación galáctica puede estudiarse mediante simulaciones gravitatorias para la materia oscura y estelar, que incorporan hidrodinámica para la componente de materia gaseosa. Introduciendo recetas para la formación estelar, y usando modelos de síntesis evolutiva de poblaciones estelares, estos modelos proporcionan observables para comparar directamente con observaciones, tales como funciones de luminosidad, colores, distribuciones de razones bulbo-disco, fracciones gaseosas y frecuencia de satélites. Varios grupos trabajan en la actualidad en este tipo de modelos, costosos en tiempo de cálculo, y esperamos un progreso notable en el campo. El poder predictivo de estos modelos está limitado por la cantidad de parámetros libres. Estos incluyen la cosmología usada, la receta de formación estelar y la función inicial de masas de la población estelar. Sin embargo, estos modelos proporcionan actualmente la mejor herramienta para establecer los límites de la actividad de fusiones en la formación de las galaxias actuales.

## La “época de formación de las galaxias”

La estructura disco-bulbo-halo de la Vía Láctea y la edad de las poblaciones más viejas del disco y del halo llevaron a Olin Eggen, Donald Linde-Bell y Alan Sandage en 1962 a proponer su



Grupo de galaxias en interacción, conocido como el "Quinteto de Stefan". Imagen tomada con el mosaico de detectores desarrollado por la Universidad de Tokio en el foco primario del telescopio WHT (4,2m) del Observatorio del Roque de los Muchachos.  
© H. Deeg, G. Tenorio-Tagle, C. Muñoz-Tuñón, M. Sekiguchi, S. Okamura, M. Yagi.

modelo de colapso monolítico para la formación de la Vía Láctea. Este modelo constituyó durante muchos años el paradigma de la formación galáctica, y los datos sobre la edad de las poblaciones más viejas, similares a la edad del Universo, apuntaban a un colapso rápido y temprano. Datos recientes sobre la homogeneidad de las poblaciones estelares en galaxias elípticas apuntan también a una edad alta y uniforme para la formación de estas galaxias. Se han dedicado grandes esfuerzos observacionales y teóricos a encontrar esta "época de formación de las galaxias", una fase temprana del Universo en que las galaxias estarían formando gran parte de sus estrellas. Los modelos cosmológicos de formación de estructura, por su parte, predicen una formación gradual extendida en el tiempo, con un máximo de actividad que, en las últimas décadas, ha variado entre corrimientos al rojo de  $z < 1$  a  $z \sim 5$  o más.

Para solucionar este dilema, se han realizado cartografiados sucesivamente más profundos, que, mediante conteo de fuentes y mediciones de colores, ponen límites a la actividad de formación estelar. La clave en esta 'industria' es en-

contrar galaxias azules, indicativas de poblaciones jóvenes, y así han surgido en las dos últimas décadas sucesivas poblaciones de 'galaxias azules'. Varias de éstas han resultado ser falsas alarmas. Las primeras fueron las galaxias de los cúmulos «Butcher-Oemler», cúmulos a  $z \sim 0,4$  con una fracción de galaxias azules más elevada que en los cúmulos actuales. Con la puesta en funcionamiento del HST se comprobó que las galaxias azules de estos cúmulos son en su mayoría espirales bastante normales sólo ligeramente perturbadas, y no galaxias en formación. Posteriormente, muestreos profundos con telescopios de 4 m revelaron una población abundante de galaxias azules de campo: las *faint blue galaxies*. Si su corrimiento al rojo resultaba elevado, estas galaxias representarían una población de galaxias luminosas con altos ritmos de formación estelar. Pero los muestreos espectroscópicos de estas galaxias llevados a cabo en los años noventa colocaron las *faint blue galaxies* a corrimientos al rojo moderados, menores que 1, correspondientes a luminosidades moderadas, de galaxias irregulares y enanas con una contribución baja al ritmo de formación estelar del Universo.

El muestreo más profundo realizado hasta la fecha es el *Hubble Deep Field* (HDF) realizado en 6 bandas visibles e infrarrojas con el HST. El HDF ha permitido medir la densidad de formación estelar hasta corrimientos al rojo de  $\sim 3$ , basados en la medición de la emisión de las galaxias en el continuo ultravioleta. Comparando con las mediciones en el Universo local, establecidas por un muestreo realizado en la Universidad Complutense de Madrid, aparece un pico de formación estelar entre  $z=1$  y  $z=3$ . La realidad de este pico está debatida en la actualidad, tanto en su existencia como en su amplitud: el ritmo de formación estelar medido en el ultravioleta podría ser subestimado debido a extinción por polvo. El ritmo de formación estelar puede estimarse a partir de mediciones en el infrarrojo medio y lejano, que detectan la re-radiación por polvo del flujo ionizante de las estrellas jóvenes. La colaboración ELAIS, en la que participan científicos del IAC, analizando cartografiados obtenidos con el satélite ISO de la Agencia Espacial Europea, obtiene ritmos de

«En las zonas más densas del Universo, el colapso y todos los procesos dinámicos, incluidos los de fusión, ocurren más rápidamente.»

formación estelar varias veces superiores a los derivados del HDF. Estos estudios infrarrojos aumentarán en profundidad y precisión con el uso del satélite SIRTFF que la NASA pondrá en órbita a mediados de 2002.

Los telescopios de la clase de 10 m, recientemente operativos, permiten el estudio espectroscópico de fuentes hasta  $z=3$ , seleccionadas con la técnica del *UV dropout*. La combinación HST+10m ha llevado a la identificación de la última generación de galaxias azules, las *Luminous Blue Compact Galaxies*: galaxias con la luminosidad de M 31, con tamaños comparables a los de NGC 205, satélite de M 31, y con colores azules indicativos de un alto ritmo de formación estelar. El estudio de estas galaxias precisa de espectrógrafos multiobjeto en el rango infrarrojo cercano, rango espectral que contiene la emisión visible intrínseca de las galaxias. Con estos instrumentos, actualmente en construcción para el GTC -EMIR- y otros grandes telescopios, podremos dilucidar si finalmente hemos detectado una población trazadora de la época de

formación de las galaxias o si, por el contrario, debemos esperar a tener telescopios más potentes para encontrarla.

### **Claves submilimétricas y el NGST**

Debemos esperar todavía 10-20 años para disponer de telescopios que permitan ver la emisión estelar de las galaxias en el Universo a  $z\sim 5$  y mayores. Hasta entonces, disponemos de otros modos de observación de estas épocas, usando observaciones en el rango submilimétrico. En el Universo Local, sabemos que las galaxias con brotes de formación estelar más intensos, que como vimos son galaxias en fusión, emiten casi toda su energía radiante en el infrarrojo lejano por re-radiación por polvo de la luz estelar. Si queremos detectar los episodios más violentos de formación estelar en el universo lejano, deberemos buscar este pico de emisión por polvo. Y debido al corrimiento al rojo cosmológico, este pico entra progresivamente en el rango submilimétrico del espectro. En realidad, la fracción de radiación que entra en la banda submilimétrica aumenta con el corrimiento al rojo, debido a la forma de la distribución espectral de energía de estas galaxias, un fenómeno conocido como "corrección K negativa". Por todo ello, esperamos que los cartografiados del cielo usando bolómetros en antenas submilimétricas sensibles detectarán las fases de formación estelar intensa en las galaxias primitivas, hasta corrimientos al rojo de 5 y mayores. Este trabajo ha comenzado ya con el bolómetro SCUBA en la antena *James Clerk Maxwell* (JCMT) del Reino Unido y Holanda en Hawai, y sin duda alcanzará su apogeo con las antenas del *Atacama Large Millimeter Array* (ALMA), actualmente en fase de diseño para su construcción a 5.000 m de altura en la altiplanicie de Chajnantor, en Chile, por un consorcio internacional que incluye a EEUU, Japón, Reino Unido, Francia, Holanda, Suecia, España y ESO (Observatorio Europeo del Sur). El gran desafío para estos programas será determinar el corrimiento al rojo de las fuentes detectadas, un dato que la observación submilimétrica no aporta y que precisará de espectrógrafos infrarrojos en el rango de 2 a 5 micras en telescopios de apertura mayor que 10 m – o con el *New Generation Space Telescope* (NGST) que NASA y ESA esperan poner en órbita heliocéntrica alrededor de 2010. Instrumento clave en este observatorio será un espectrógrafo multiobjeto que operará en las bandas de 1 a 5 micras, principal aportación europea a la misión, y que estará basado en la nueva tecnolo-





*Las galaxias de las Antenas (NGC 4038 y NGC 4039). La interacción entre las dos galaxias ha provocado la mezcla de las poblaciones estelares de ambas y la formación de unos arcos de materia expulsada. Este tipo de sucesos ocurre con relativa frecuencia en el Universo y generalmente dan lugar a violentos brotes de formación estelar. Estas galaxias se encuentran en la constelación del Cuervo a unos 90 millones de años luz.*

© IAC. Autores de las placas: M. Briganti, J. M. Vilchez, L. Cuesta, G. Pérez y G. Rodríguez. Tratamiento de las imágenes: M. Briganti (SMM-IAC). Origen: Telescopio Isaac Newton, del Observatorio del Roque de los Muchachos, La Palma.

gía de los MEMS, o *microelectro-mechanical systems*, máscaras multi-rendija configurables remotamente mediante un dispositivo electro-mecánico.

### **Fusiones, gravitación y relojes cósmicos**

Una objeción común a la teoría del origen de las galaxias elípticas por fusiones de espirales es ante todo intuitiva: las espirales son jóvenes, así pues no pueden dar lugar a galaxias elípticas, que son viejas. La respuesta es simple: ¡déjenlas envejecer! La clave estriba en determinar si allí donde se observan más galaxias elípticas, es decir en los cúmulos ricos de galaxias, las fusiones ocurrieron hace un tiempo suficientemente largo para explicar la homogeneidad de sus estructuras y poblaciones estelares. No

tenemos respuesta a esta pregunta. Pero sí podemos aportar razonamientos basándonos en una propiedad del colapso gravitatorio: en las zonas más densas del Universo, el colapso y todos los procesos dinámicos, incluidos los de fusión, ocurren más rápidamente, siendo los tiempos inversamente proporcionales al cubo de la sobredensidad media. Así, el crecimiento de las estructuras sigue relojes dispares con compases distintos según la densidad del entorno. En las regiones más densas, ocupadas actualmente por los cúmulos ricos de galaxias, la evolución dinámica tuvo que ser mucho más rápida que en el campo, y esto podría estar relacionado con la abundancia de elípticas en cúmulos. Posiblemente los mismos procesos tengan lugar, a su ritmo más lento, en las regiones menos densas, llevándonos a un universo poblado únicamente por galaxias elípticas. Pero para esto falta todavía mucho tiempo.

## Reunión científica sobre fusiones de galaxias

Tras la firma en la sede central del IAC, en enero de 1999, del correspondiente protocolo, el IAC se ha constituido como el quinto socio de EARA (Asociación Europea para la Investigación en Astronomía). Esta Asociación agrupa a cinco grandes instituciones astronómicas europeas: el Instituto de Astronomía de Cambridge, el Instituto de Astrofísica de París, la Universidad de Leiden, el Instituto Max Planck de Astrofísica de Garching y el IAC.

La actividad central de EARA es la promoción de la colaboración y el intercambio entre los grupos científicos de sus Institutos, y de forma especial de sus investigadores jóvenes, los investigadores postdoctorales y los estudiantes de doctorado. Estos intercambios son útiles para la fertilización de la ciencia, para enriquecer los proyectos de tesis, para conocerse mutuamente y para establecer posibles futuros proyectos conjuntos. Con el fin de desarrollar esta actividad, EARA lleva a cabo tres tipos de acciones: las visitas de trabajo de corta duración, las estancias prolongadas de estudiantes de doctorado en otros centros dentro del programa *Marie Curie Training Site*, financiado por la Comunidad Europea, y la organización de reuniones científicas (*workshops*). Estas reuniones se organizan por iniciativa de los propios investigadores y convocan a un número reducido de científicos, alrededor de treinta, para abordar un tema concreto de investigación astrofísica. Están dirigidas específicamente a investigadores postdoctorales y a estudiantes de doctorado de los centros de EARA y de sus colaboradores de otras instituciones.

El 22 y 23 de enero de 2001, el IAC organizó una reunión científica sobre el tema de fusiones de galaxias. Coordinada por los Drs. *Marc Balcells* y *Juan Carlos Vega*, del IAC, y por *Rachel Somerville*, del Instituto de Astronomía de Cambridge, y contando con la inestimable asistencia logística de *Eva Bejarano*, del IAC, el workshop reunió a 35 investigadores de los cinco Institutos de EARA y de otras instituciones con las que existen colaboraciones, europeas y americanas, tales como las universidades de Oxford, de Liverpool-John Moores, de Groningen, de Basilea y de Wisconsin. El programa científico cubrió desde claves observacionales en el universo cercano, pasando por estudios teóricos, hasta las claves en el universo lejano a alto corrimiento al rojo.

Así, se presentaron estudios sobre diagnósticos clásicos de fusión, como son las conchas en galaxias elípticas y los anillos polares, la cinemática peculiar en núcleos de elípticas, los brotes de formación estelar y la formación de galaxias satélite en colas de marea. Especial atención recibieron los estudios de evidencias de fusiones en nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, basados en la detección de grupos de estrellas con cinemática peculiar en el halo estelar. En el apartado de estudios teóricos, se debatieron cálculos analíticos de la frecuencia de fusiones en galaxias, y diversos estudios basados en simulaciones a N cuerpos. Entre ellos destacan: los estudios sobre el efecto de las fusiones en la estructura de las galaxias y en su evolución a lo largo de la secuencia morfológica de las galaxias, la secuencia de Hubble; los modelos que incorporan gravedad e hidrodinámica para seguir la evolución de las estrellas, materia oscura y gas durante una fusión galáctica y durante la evolución y crecimiento de estructuras en simulaciones cosmológicas. Clave central del estudio de fusiones es poder comprender la historia de fusiones en el Universo Local. Esta historia es inevitablemente compleja si las fusiones jugaron un papel en la formación de las galaxias. Por esto, a veces planteamos la pregunta en términos más simples, y nos preguntamos, cuántas fusiones ha sufrido una galaxia típica durante su historia. Números bajos, digamos 1, implicarían que las fusiones son poco relevantes, mientras que números altos, digamos 5 ó 10, corresponderían a que las fusiones sean el proceso dominante en el crecimiento y morfogénesis galácticas. En el workshop se presentaron estudios sobre el tema llevados a cabo por investigadores de EARA. Entre los estudios basados en simulaciones a N cuerpos, se presentaron análisis de simulaciones cosmológicas, que miden la historia de fusiones y los efectos en las galaxias resultantes siguiendo la formación de estructuras gravitatorias a partir de las fluctuaciones de densidad que creemos existieron en el Universo primitivo y que proporcionaron las semillas para el colapso gravitatorio que creó las estructuras que vemos actualmente.

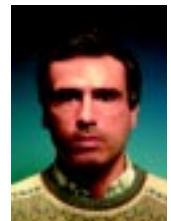
Organizamos el programa dando a cada participante un amplio espacio de tiempo para presentar sus proyectos y resultados, incluyendo asimismo tiempo para discusiones, que en algunos casos fueron dilatadas. La reunión científica cubrió la función esperada de permitir a los investigadores junior de los institutos de EARA presentar su investigación en un entorno menos formal del que se encuentra en las grandes reuniones científicas, en las que los límites de tiempo requieren ponencias condensadas y con poco margen para discusión y aclaración de dudas.

El programa incluyó, como no podía faltar, una cena obsequiada por el IAC, que permitió a la gente conocerse más y disfrutar de la cocina canaria.

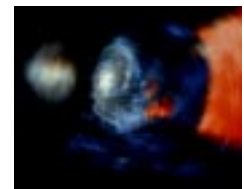
M.B.

# El modelo del colapso esférico y sus generalizaciones

Todos los modelos cosmológicos modernos -entre ellos el del *Big Bang*- se basan en el llamado *Principio Cosmológico*, que establece que el Universo a gran escala es *homogéneo* (la distribución de la materia es la misma en cualquier parte) e *isótropo* (parece el mismo en todas las direcciones). Pero este principio no puede aplicarse en sentido estricto porque el universo que observamos está lleno de estructuras (galaxias, cúmulos, supercúmulos y vacíos). Dado que la mayor parte de estas estructuras presentan formas más o menos esféricas, el modelo de colapso esférico que se desarrolla en este artículo permite entender su formación. Este modelo se usa para introducir modificaciones en las fórmulas para la evolución gravitatoria de fluctuaciones de densidad de forma arbitraria propuestas por el astrónomo ruso Yakov Zeldovich, quien predijo la existencia de la radiación de fondo años antes de su descubrimiento.



**Juan Betancort**  
(IAC)





*Imagen del campo profundo obtenida con el Telescopio Espacial Hubble.*

En los modelos de Universo basados en el Principio Cosmológico se supone que éste es homogéneo e isótropo. La distribución de materia en el Universo actual no es exactamente homogénea, encontrándose las galaxias concentradas en cúmulos y supercúmulos. Sin embargo, cuando se considera la densidad promedio en escalas mayores que 30 megaparsecs (Mpc), las fluctuaciones de densidad son porcentualmente pequeñas y progresivamente menores a medida que aumenta la escala. Esta evidencia observacional sugiere que el Universo satisface el Principio Cosmológico en escalas suficientemente grandes.

El Principio Cosmológico fue introducido por Einstein en 1917, en un trabajo que inaugura la cosmología moderna, por razones estrictamente teóricas. Su intento de resolver el problema del origen de la inercia dentro de la teoría de la Relatividad General le condujo a proponer modelos cosmológicos homogéneos e isótropos que estaban en franca contradicción con la evidencia observacional disponible en esa fecha. Ésta parecía sugerir, o al menos así se interpretaba generalmente, un modelo en el que una aglomeración de estrellas, polvo y gas (básicamente nuestra galaxia) se encontraba "en medio" del espacio infinito y vacío.

El hecho de que la validez del Principio Cosmológico fuera finalmente establecida puede, por tanto, considerarse un notable triunfo

de las consideraciones teóricas en Cosmología; consideraciones que son usualmente calificadas como prejuicios teóricos y que, en honor a la verdad, no siempre resultan tan exitosas. Una vez establecida la validez del Principio Cosmológico, cabe adoptar dos posturas acerca de su estatus dentro de la Física.

Según la opinión mayoritaria, este principio no es propiamente un principio de la Física, sino más bien una descripción aproximada de las condiciones iniciales del Universo. En la descripción de un sistema físico entran, por un lado, las leyes de la Física y, por otro lado, las condiciones iniciales. Las propias leyes no dicen nada sobre estas últimas (excepto la determinación de su rango posible), que tienen un carácter contingente, es decir, pueden ser unas o pueden ser otras. Con respecto a esta opinión cabe observar -como ha hecho el astrónomo austríaco Hermann Bondi (1951)-, que cuando el sistema es el Universo las condiciones iniciales deben tener un carácter necesario antes que accidental. La consecuencia lógica de esta observación es que el Principio Cosmológico debe considerarse un principio físico fundamental. Esta opinión es recogida de forma articulada en el modelo cosmológico del astrofísico británico Edward Milne (1934), conocido como «Relatividad Cinemática».

Si se adopta la opinión mayoritaria, la homogeneidad e isotropía observadas a gran escala se

presentan como cuestiones que requieren una explicación. En un primer intento de resolver este problema (Misner, 1967) se mostraba cómo puede generarse homogeneidad a partir de condiciones iniciales "caóticas".

Sin embargo, estas condiciones iniciales, aunque altamente irregulares, están lejos de ser realmente caóticas, pues la gravedad a partir de condiciones iniciales "naturales" genera inhomogeneidad y no lo contrario.

Otra posibilidad, que en la actualidad está más ampliamente aceptada, consiste en suponer que, partiendo de condiciones iniciales realmente caóticas, procesos difusivos han producido homogeneidad dentro de pequeñas zonas del Universo (inhomogéneo) que posteriormente, durante una fase de expansión muy rápida denominada "inflación" (Linde, 1982), crecerían hasta un tamaño mayor que el de nuestro universo observable. En esta visión, cualquier observador, sea cual sea su posición, vería en torno suyo un universo homogéneo e isótropo, pero las condiciones físicas serían diferentes para observadores que se encuentren cada uno fuera del horizonte (distancia recorrida por la luz desde el comienzo del Universo) del otro.

Tanto si se adopta la opinión mayoritaria, en cuyo caso la homogeneidad observada requiere explicación, como si consideramos el Principio Cosmológico como un principio físico básico, en cuyo caso la homogeneidad sería una consecuencia inmediata de éste, el hecho de que el Universo sólo sea aproximadamente homogéneo también ha de explicarse.

En el Universo, la materia se concentra en estrellas, éstas en cúmulos estelares y galaxias y

éstas últimas, antes que estar uniformemente distribuidas, se concentran en grupos, cúmulos y supercúmulos de galaxias. Solamente en escalas mayores que 30 Mpc se aproxima la distribución de galaxias a la uniformidad (los tamaños típicos de los supercúmulos son de 15 Mpc).

Una distribución homogénea de materia puede volverse rápidamente inhomogénea cuando el

«El hecho de que la validez del Principio Cosmológico fuera finalmente establecida puede considerarse un notable triunfo de las consideraciones teóricas en Cosmología; consideraciones que son usualmente calificadas como prejuicios teóricos y que, en honor a la verdad, no siempre resultan tan exitosas.»

«Una distribución homogénea de materia puede volverse rápidamente inhomogénea cuando el sistema desarrolla algún tipo de inestabilidad.»

sistema desarrolla algún tipo de inestabilidad. Cuando un sistema se vuelve térmicamente inestable, se producen condensaciones que, a medida que aumenta su densidad, se enfrían más

rápidamente, lo cual conduce a que se acelere la condensación y que de ello resulte un proceso de crecimiento de las inhomogeneidades exponencial en el tiempo. En un proceso de este tipo, la más pequeña inhomogeneidad será rápidamente amplificada hasta producir in-

homogeneidades considerables. Hay que señalar que en una distribución de materia, por muy homogénea que sea, hay siempre presentes pequeñas fluctuaciones térmicas, así como las inherentes al carácter discreto de la materia, y son estas pequeñas fluctuaciones las que resultarán amplificadas. Sin embargo, este tipo de inestabilidades, aunque pueden explicar la formación de estrellas y otras estructuras hasta el tamaño de un cúmulo estelar ( $10^6$  masas solares), no puede explicar la estructura del Universo a gran escala.

La acción de la gravedad también conduce a inestabilidades: si se tiene un ligero exceso de densidad en una zona, el resultante exceso de atracción gravitatoria conducirá a un ulterior aumento de la densidad en dicha zona. Pero en un universo en expansión, a diferencia de en un universo estático, el proceso no es exponencial en el tiempo, sino mucho más lento. Debido a esto, para que se hayan formado las estructuras que observamos no bastan las pequeñas fluctuaciones térmicas antes mencionadas, siendo

necesaria la presencia de fluctuaciones iniciales de un cierto tipo.

Durante mucho tiempo el origen de estas fluctuaciones iniciales fue bastante problemático. Hoy se piensa que las teorías inflacionarias, en las que el Universo experimentó una fase temprana ( $t=10^{-33}$ s) de expansión muy rápida, proporcionan de forma natural un mecanismo de generación de las inhomogeneidades iniciales, aunque sus propiedades estadísticas no estén aún totalmente determinadas debido a algunas

incertidumbres en las teorías físicas que subyacen a los modelos inflacionarios.

Una vez tenemos las propiedades estadísticas de las fluctuaciones iniciales, podemos seguir la evolución de éstas a través de los procesos a que se ven sometidas

para obtener las propiedades estadísticas de la distribución actual de materia. Comparando esta distribución con la observada, podemos juzgar la validez de los modelos para la estructura a gran escala.

### **Materia oscura**

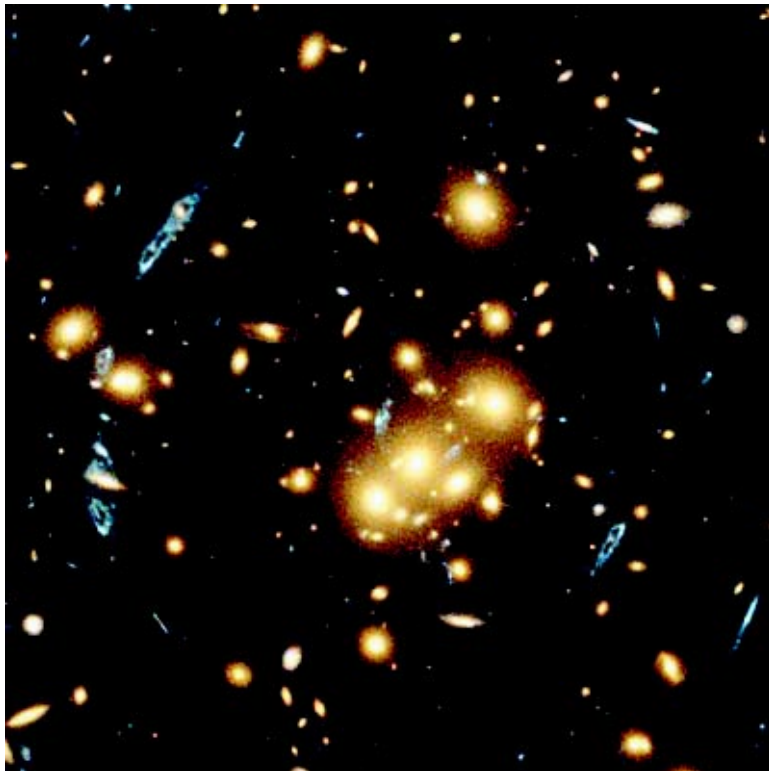
Si la materia ordinaria (básicamente hidrógeno y helio) constituyese la mayor parte del contenido en masa del Universo, las presiones presentes en el plasma (materia totalmente ionizada), fuertemente acoplado a la radiación electromagnética durante los primeros  $3 \times 10^5$  años, tendrían un papel importante en la evolución de las fluctuaciones de densidad. Sin embargo, varias líneas argumentales apuntan a que el 90% de la masa del Universo debe estar en la forma de una materia hipotética muy débilmente acoplada consigo misma y con la materia ordinaria y

«Una distribución homogénea de materia puede volverse rápidamente inhomogénea cuando el sistema desarrolla algún tipo de inestabilidad.»

el campo electromagnético, por lo cual se la denomina «materia oscura». Esta materia no ha sido detectada de forma directa y, en realidad, no hay ninguna partícula de las postuladas por los esquemas de unificación de la física actualmente considerados que sea un candidato obvio a

materia oscura. Por tanto, no puede saberse cuál es la mejor estrategia para su detección ni cuánto tiempo ha de pasar para que se detecte al menos una partícula de dicha materia con los experimentos actualmente en operación. En consecuencia, no debe extrañarnos el que no se haya producido detección directa, a pesar de que la evidencia sobre su existencia es, en mi opinión, considerable.

En los modelos en los que la materia oscura constituye la mayor parte en masa del Universo, las presiones son dinámicamente irrelevantes y, consecuentemente, las inhomogeneidades crecen principalmente por la acción de la gravedad. En escalas pequeñas, la acción de otros procesos, que varían de unos modelos a otros, puede conducir a la supresión de las inhomogeneidades o a la ralentización de su crecimiento gravitatorio. Pero estos procesos tienen lugar



«La amplificación de las fluctuaciones térmicas por las inestabilidades, aunque puede explicar la formación de estrellas y otras estructuras hasta el tamaño de un cúmulo estelar ( $10^6$  masas solares), no puede explicar la estructura del Universo a gran escala.»

*Imagen que muestra el efecto de lente gravitatoria en el cúmulo de galaxias espirales y elípticas 0024+1654, obtenida con el Telescopio Espacial Hubble. Autores: W.N. Colley y E. Turner (Univ. Princeton), J.A. Tyson (Bell Labs, Lucent Technologies) y NASA.*

sólamente hasta que la edad del Universo es aproximadamente  $3 \times 10^4$  años; la acción de la gravedad es la única relevante para tiempos posteriores. La presión desempeña un papel importante en la evolución de la materia ordinaria (denominada «bariónica»); de hecho, impide el crecimiento de las inhomogeneidades en esta componente hasta el momento en que los protones se combinan con los electrones para formar hidrógeno neutro (tiempo de recombinación =  $3 \times 10^5$  años). Pero, puesto que la materia oscura domina la distribución de materia, el hecho de que las inhomogeneidades en un componente minoritario no puedan crecer por efecto de la presión apenas ralentiza el crecimiento de las inhomogeneidades en la materia oscura. La evolución de esta materia, básicamente por acción de la gravedad, producirá la distribución de potencial gravitatorio que determinará el movimiento de la materia ordinaria una vez disminuya la presión (en el momento de la recombinación) que le impedía contraerse. Vemos por tanto que la distribución de materia a gran escala está determinada esencialmente por las inhomogeneidades iniciales y la acción de la gravedad. De aquí la importancia que tiene la comprensión más detallada posible de este proceso.

### Modelos teóricos

En el primer modelo usado para la descripción del crecimiento gravitatorio de inhomogeneidades (Mc Crea y Mc Vittie, 1931) se consideraba un universo homogéneo en toda parte excepto en el interior de una esfera donde la densidad inicial es un poco superior a la media. Debido a la simetría esférica puede demostrarse (teorema de Birkhoff) que la evolución de la materia dentro de la esfera no se ve afectada por la materia fuera de ella. Por tanto, aquélla evolucionará como un modelo cosmológico homogéneo con la misma densidad y ritmo de expansión que ella. La evolución del defecto o exceso de densidad dentro de la esfera puede consecuentemente obtenerse substrayendo las densidades correspondientes a dos modelos que tienen a un tiempo dado (el de generación de las fluctuaciones iniciales) el mismo ritmo de expansión y diferente densidad. Esta diferencia tiene una parte decreciente y otra creciente. Esta última es la rele-

vante, pues es la que dará lugar a que pequeñas fluctuaciones se vuelvan lo suficientemente grandes para originar las estructuras observadas.

Cuando la «fluctuación fraccionaria de densidad» (el exceso o defecto de densidad dividido por la densidad promedio), que se representa por  $\delta$ , es mucho menor que uno (régimen lineal) puede obtenerse la evolución de cualquier distribución espacial de fluctuaciones (Lifshitz, 1946). En particular, para una fluctuación esférica, la teoría lineal conduce a la misma evolución que el modelo esférico, siempre que  $\delta$  sea

«La materia oscura no ha sido detectada de forma directa y, en realidad, no hay ninguna partícula de las postuladas por los esquemas de unificación de la física actualmente considerados que sea un candidato obvio a materia oscura.»

mucho menor que uno. La ventaja del modelo esférico es que nos da la evolución exacta para cualquier valor de  $\delta$ , a u n q u e sóloamente para fluctuaciones con

simetría esférica, mientras que la teoría lineal es válida para cualquier fluctuación, pero sóloamente para un valor de  $\delta$  pequeño. En el universo real, las fluctuaciones no tienen simetría esférica ni están aisladas, ya que la distribución es muy irregular, formando lo que se denomina un «campo aleatorio».

Sin embargo, las concentraciones de materia que darán lugar a objetos astronómicos conspicuos (galaxias, cúmulos de galaxias, etc.) no son concentraciones típicas, sino concentraciones relativamente raras (menos del 1% en volumen) y éstas son más o menos esféricas y están bastante separadas unas de otras en relación a su tamaño. Por tanto, el modelo esférico resulta adecuado para entender, al menos cualitativamente, la formación de estos objetos.

En el modelo esférico, el exceso de masa dentro de la esfera produce una desaceleración de la expansión más fuerte en el interior que en el exterior. En consecuencia, la densidad dentro de la esfera disminuye más lentamente que en el resto del Universo y la fluctuación fraccionaria aumenta. Mientras  $\delta < 1$ , la evolución de ésta se aproxima a la calculada con la teoría lineal (que representaremos por  $\delta_{\text{lineal}}$ ) pero, al aproximarse a la unidad, su crecimiento se acelera con respecto al lineal. Esto hace que la velocidad de expansión de la esfera se frene más de lo que predice la teoría lineal, lo cual conduce a una mayor aceleración del crecimiento del exceso de densidad.



*Simulación artística del modelo de colapso esférico del Universo. (Autor: Gotzon Cañada)*

El resultado de este proceso con realimentación positiva es una muy fuerte aceleración del crecimiento de  $\delta$  con respecto a su valor lineal, al crecer ésta por encima de la unidad. Así, cuando  $\delta_{\text{lineal}} = 1,06$ , que corresponde al momento en que la expansión de la esfera se detiene,  $\delta$  es aproximadamente igual a 4,5. Cuando  $\delta_{\text{lineal}} = 1,68$ ,  $\delta$  será infinito; es decir, la esfera se habrá contraído a un punto. Esto último sólo ocurre si la fluctuación es estrictamente esférica y homogénea. Si la fluctuación tiene simetría esférica, pero no es homogénea, el modelo esférico y la relación entre  $\delta$  y  $\delta_{\text{lineal}}$  es igualmente válido, entendiendo  $\delta_{\text{lineal}}$  como la fluctuación promedio dentro de la esfera. Para un perfil de densidad decreciente, estas cantidades serán, a un tiempo dado, mayores para radios más pequeños. Esto supone que  $\delta_{\text{lineal}}$  alcanza el valor 1,68 antes para radios más pequeños y, por tanto, mientras que para esferas interiores ya se habrá producido el colapso en un punto surgiendo las partículas a partir del centro (para

partículas sin colisiones) con movimiento radial hacia fuera, las capas esféricas más externas estarán aún contrayéndose hacia el centro. Cuando el flujo dirigido hacia fuera cruza una cierta capa esférica, se dice que se ha producido cruce de capas para la esfera contenida en ella, y el modelo esférico, en la versión simple considerada aquí, deja de ser válido para dicha esfera, aunque continúe siendo válido para esferas más externas. Las fluctuaciones reales son, a lo sumo, sólo aproximadamente esféricas. Sin embargo, se ha comprobado, mediante simulaciones numéricas, que el modelo esférico describe muy bien la evolución no sólo hasta la detención de la expansión ( $\delta_{\text{lineal}} = 1,06$ ), sino también durante parte del recolapso. Antes de que la fluctuación se contraiga a la mitad de su tamaño máximo (el que ha alcanzado cuando se detiene la expansión), el cruce de capas se vuelve importante, conduciendo a un rápido proceso de intercambio de energía entre las partículas. Este proceso no es aún bien entendido desde un pun-



to de vista teórico, aunque personalmente pienso que el modelo esférico con cruce de capas puede ayudar bastante, pero sí ha sido extensamente estudiado mediante simulaciones numéricas. En estas simulaciones se encuentra que cuando  $\delta_{\text{lineal}} = 1,68$ , la fluctuación se ha contraído aproximadamente a la mitad de su tamaño máximo y ha alcanzado una configuración prácticamente estable (se ha virializado), siendo el valor de  $\delta$  de aproximadamente 200. A partir de este momento podemos considerar que el objeto ya se ha formado, manteniéndose fijas sus dimensiones, mientras el resto del Universo continúa expandiéndose.

El modelo esférico analítico (válido hasta el cruce de capas), completado con esta última información proveniente de las simulaciones numéricas, proporciona un instrumento imprescindible para los modelos analíticos de la estructura del Universo a gran escala. El objeto de éstos es obtener las propiedades estadísticas de la distribución actual de materia (distribución de masa de los objetos astronómicos y sus correlaciones) a partir de las propiedades del campo inicial, que vienen dadas por el modelo que se esté considerando, y, puesto que la distribución actual resulta del crecimiento gravitatorio no lineal de las fluctuaciones iniciales, se requiere un modelo de este proceso que nos diga que donde inicialmente tenemos una fluctuación de un cierto tipo se encontrará en el presente un objeto astronómico determinado. El modelo usado normalmente a este efecto es el del colapso esférico, que ha resultado ser bastante eficaz. En realidad, los resultados obtenidos con él son, en muchos casos, tan buenos (más de lo que a priori cabría esperar), que se ha planteado como cuestión teórica el explicar esta aparentemente "excesiva" bondad del modelo, pues, de hecho, los protoobjetos a los que se aplica no están aislados y tienen una considerable subestructura (están constituidos por muchos grumos de múltiples tamaños), siendo esféricos solamente *grosso modo*.

«Las concentraciones de materia que darán lugar a objetos astronómicos conspicuos (galaxias, cúmulos de galaxias, etc.) no son concentraciones típicas, sino concentraciones relativamente raras (menos del 1% en volumen) y éstas son por lo general esféricas y están bastante separadas unas de otras en relación a su tamaño. Por tanto, el modelo esférico resulta adecuado para entender, al menos cualitativamente, la formación de estos objetos.»

## Aproximación de Zeldovich

En un trabajo reciente (Betancort-Rijo y López-Corredoira, 2000), no sólo se da una explicación de este hecho, sino que se usa el modelo esférico para desarrollar una aproximación para la evolución no lineal que es válida para puntos cualesquiera dentro de la distribución de materia, no sólo dentro de las raras fluctuaciones de gran amplitud de forma aproximadamente esférica.

Para desarrollar esta aproximación se ha partido de la aproximación de Zeldovich (Zeldovich, 1970). En ella, para obtener la densidad en un punto se estudia la evolución del volumen de una celdilla infinitesimal en torno a dicho punto. Si antes de que se generen las fluctuaciones iniciales (durante la inflación) hacemos un reticulado cúbico del Universo, cada celdilla, que podemos tomar de arista la unidad, contiene la misma

masa. El proceso de generación de las fluctuaciones puede imaginarse como debido a que las celdillas son ligeramente alargadas o contraídas a lo largo de sus ejes después de haberlas reorientado arbitrariamente, de forma que la arista a lo largo del eje  $i$  pase a medir  $1-\lambda_i$ , siendo  $\lambda_i$  tres números

que caracterizan la perturbación en la celdilla en cuestión. Este proceso se realiza manteniendo constante la masa dentro de las celdillas, de forma que la densidad en cada celdilla será inversamente proporcional al volumen de ésta:  $(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)(1-\lambda_3)$  y como  $\lambda_i < 1$  es fácil ver que  $\delta_{\text{lineal}}(\text{inicial}) = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$

Debido a la acción del campo gravitatorio generado por las fluctuaciones, éstas comenzaran a crecer, pudiendo demostrarse en la aproximación lineal que para todo tiempo el eje  $i$  mide  $1-D(t)\lambda_i$ , siendo  $D(t)$  la misma función del tiempo (factor de crecimiento) que determina la evolución de  $\delta$  en la aproximación lineal dado el  $\delta_{\text{lineal}}$  inicial:  $\delta_{\text{lineal}} = D(t)\delta_{\text{lineal}}(\text{inicial})$ .

En la aproximación de Zeldovich se toma el tamaño de los ejes calculados linealmente para obtener el volumen de las celdillas y, por tanto, el valor de  $\delta$  en esta aproximación, que representamos por  $\delta_{\text{Zeldovich}}$  viene dado por el siguiente producto:

$$\delta_{\text{Zeldovich}} = \prod_i (1 - D(t)\lambda_i)^{-1} - 1$$

Esta aproximación es válida para puntos arbitrarios y da resultados bastante buenos pero los  $\lambda_i (= D(t)\lambda_i)$  y, consecuentemente, el campo de velocidades de la materia son los dados por la aproximación lineal.

La idea esencial de la aproximación que hemos desarrollado y que denominamos «aproximación de Zeldovich completa» consiste en intentar encontrar unas funciones  $r_i(\lambda_i)$  que nos den la deformación de las celdillas sobre el ritmo lineal en puntos cualesquiera, donde las  $\lambda_i$  son distintas entre sí. La aproximación se escribe en la forma:

$$\delta_{\text{Zeldovich completa}} = \prod_i (1 - r_i(\lambda_i)\lambda_i)^{-1} - 1$$

y difiere de la de Zeldovich por la presencia de  $r_i(\lambda_i)$  que son próximos a la unidad para  $\lambda_i$  pequeños. Para determinar  $r_i$ , se ha exigido que cuando los tres  $\lambda_i$  sean iguales coincida con el modelo esférico y que sean compatibles con las ecuaciones que determinan la evolución gravitatoria de las fluctuaciones. Con las  $r_i$  así determinadas, la expresión para la *aproximación de Zeldovich completa* puede considerarse como una generalización de la expresión del modelo esférico que nos da exactamente la evolución de una fluctuación homogénea de forma elipsoidal. Por otro lado, también podemos verla como una generalización de la expresión de la *aproximación de Zeldovich*. Ésta da, en general, muy buenos resultados, pero sólo es exacta a primer orden en  $\lambda_i$ , mientras que en nuestra propuesta es exacta hasta segundo orden y “casi” exacta hasta tercer orden, dando por consiguiente resultados sustancialmente mejores que la clásica. Esto por cuanto concierne al valor de la densidad en un punto; para el cálculo de cantidades estadísticas, que entrañan promedios espaciales, esta aproximación es exacta hasta cuarto orden.

La *aproximación de Zeldovich completa* es la más precisa que puede obtenerse únicamente con

los  $\lambda_i$ . Hemos desarrollado generalizaciones más precisas de esta aproximación, pero incluyen variables adicionales a los  $\lambda_i$ , que nos dan una información más detallada de cómo está distribuida la materia en torno al punto en el cual queremos calcular la densidad.

«En el modelo de colapso esférico, el exceso de densidad dentro de la esfera conduce a que la expansión dentro de ella se frene más que en el resto del Universo.»

Nuestra fórmula proporciona una explicación de la bondad de la aproximación esférica, pues dentro de un protoobjeto astronómico es siempre posible encontrar un punto en el que los tres sean iguales, en cuyo caso nuestra expresión se reduce a la del modelo esférico. Esto es así aunque la distribución de materia dentro de la esfera no sea exactamente esférica, pues son los  $\lambda_i$  los que determinan la evolución y éstos dependen también de la distribución de materia fuera de la esfera que compensa la falta de simetría esférica en el interior.

## Conclusión

En conclusión puede decirse que de ser estrictamente válido el Principio Cosmológico, el Universo carecería de toda estructura, pero las fluctuaciones generadas durante el periodo inflacionario hacen que este principio no pueda aplicarse de forma exacta (punto a punto), aunque continúe siendo válido de forma estadística. Estas fluctuaciones crecen por acción de la gravedad para formar las estructuras observadas. Las más destacadas de estas estructuras tienen formas más o menos esféricas por lo que puede entenderse su formación mediante el modelo de colapso esférico. En este modelo, el exceso de densidad dentro de la esfera conduce a que la expansión dentro de ella se frene más que en el resto del Universo. En consecuencia, la esfera alcanza una expansión máxima y vuelve a contraerse terminando, después de un proceso complicado, con un tamaño fijo aproximadamente igual a la mitad del de máxima expansión. Las aproximaciones a la evolución gravitatoria desarrolladas recientemente explican por qué la aproximación esférica da tan buenos resultados para estructuras que sólo son en líneas generales esféricas y permiten tratar estructuras fuertemente no esféricas para las cuales el modelo esférico no tiene mucho que decir.

# Astro Cultura

## Sobre pirámides y estrellas

La «asombrosa» orientación hacia los cuatro puntos cardinales de las pirámides de Egipto sigue siendo un tema de interés que nos remonta a uno de los primeros momentos en la historia de la civilización en que la astronomía se puso al servicio de la cultura, en este caso, de la arquitectura monumental. Desde el siglo XIX, numerosos investigadores se han ocupado de buscar una explicación al supuesto nivel astronómico de los egipcios postulando diversas teorías. Recientemente, la revista *Nature* publicó en portada una nueva idea propuesta por la egiptóloga británica Kate Spence. En el siguiente artículo se analiza dicha propuesta y se mejora con la aportación de nuevas hipótesis.

Es bien sabido, puesto que el asunto es redundante en libros, revistas, prensa y televisión, que



Juan Antonio Belmonte  
(IAC)



las pirámides de Egipto, y en particular las de los reyes de la IV Dinastía Jufu, Jafra y Menkaura (Keops, Kefren y Micerinos), erigidas en la Meseta de Giza hace probablemente unos 4.500 años, están orientadas con una precisión «asombrosa» hacia los cuatro puntos cardinales.

Se ha entremetido asombrosa porque el corolario suele decir: ¿cómo una gente tan «atrasada» pudo ser capaz de obtener una orientación tan precisa? Y las conclusiones pasan por la existencia en el pasado ignoto de grandes civilizaciones desaparecidas, como por ejemplo la Atlántida, cuando no que son las obras de visitantes de lejanos planetas.

**LA ORIENTACIÓN DE LAS PIRÁMIDES, SIGUIENDO LA LÍNEA MERIDIANA, PODRÍA HABERSE CONSEGUIDO MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DEL TRÁNSITO MERIDIANO DE LAS ESTRELLAS PHEKDA Y MEGREZ, DEL CARRO DE LA OSA MAYOR, CUYA LÍNEA DE UNIÓN APUNTABA HACIA THUBAN, LA ESTRELLA POLAR DE AQUELLA ÉPOCA.**



Como siempre, en ciencia, la respuesta suele ser mucho más sencilla de lo que parece y, en este caso, bastan unos conocimientos astronómicos relativamente sencillos para conseguir orientar una estructura con cierta precisión.

Numerosos investigadores desde mediados del siglo XIX se han ocupado de este problema postulando diversas teorías centradas unas veces en la observación del Sol y otras en la de las estrellas. Zinner en 1931 y Chatley en 1948 apoyaron la idea de una determinación del eje norte sur (la línea meridiana) a través de la sombra más corta producida a mediodía por un gnomon. Mucho más recientemente, Gallo ha propuesto en 1998 que se podría haber usado la salida y puesta de sol en un día determinado para fijar la línea meridiana a través de la bisectriz del ángulo formado por estas dos posiciones.

Sin embargo, ninguno de estos métodos podría dar la precisión requerida.

Por ello, la mayoría de los autores, desde Piazzi Smyth en el siglo XIX, han preferido un método de alineación estelar como una orientación a la estrella polar de aquella época, **Thuban** ( $\alpha$ Dra), o al tránsito meridiano de alguna estrella circumpolar, en especial de la Osa Mayor. Así, Romieu en 1902 sugería **Alkaid** ( $\eta$ UMa) y Pogo, en 1930, **Mizar** ( $\zeta$ UMa).

Sin embargo, nuevamente este sistema no permitía la precisión requerida, por lo

que Edwards, uno de los mayores especialistas en el estudio de las pirámides, sugirió en 1947 el uso de la salida y la puesta de una estrella cercana al polo, sobre un horizonte artificial, como un método fiable y preciso para determinar la línea meridiana mediante la bisectriz del ángulo formado por ambas posiciones.

Éste había sido el método más aceptado hasta que Haack descubrió en 1984 que los errores en la orientación de las pirámides parecían seguir una cierta evolución temporal (de menor a mayor precisión, para luego disminuir de nuevo), en lugar de mostrar un patrón aleatorio como se esperaría de la teoría de Edwards. Por ello, Haack sugirió el uso del orto u ocaso de una determinada estrella ( $\beta$ Sco), posición que se iría desplazando a lo largo del tiempo sobre el horizonte, debido a la precesión de los equinoccios. Sin embargo, se ha demostrado que es muy difícil determinar la posición del orto u ocaso de una estrella sobre el horizonte con un error menor de  $1^\circ$ , por lo que la teoría de Haack nunca fue considerada.

Hay que esperar al año 2000 para que el hallazgo de Haack (la evolución temporal) fuera redescubierto por la egiptóloga británica Kate Spence y reinterpretado con una nueva propuesta revolucionaria que fue publicada en la revista *Nature*, el uso del tránsito meridiano no de una sola estrella sino de una pareja de estrellas, una de ellas en su culminación superior y la otra en la inferior, cuya línea vertical de unión habría pasado por el polo en un momento determinado y que, debido a la precesión, habría dado alineaciones cada vez más imprecisas antes y después de ese instante. Tras realizar numerosas pruebas,

Spence ha propuesto el par formado por **Mizar** ( $\zeta$ UMa) y **Kochab** ( $\beta$ UMi) con un corolario muy singular: la gran pirámide de Keops se habría comenzado a construir en torno al 2478 a.C., unos 80 años más tarde de las fechas menos antiguas admitidas hoy día por los egiptólogos.

Llegados a este punto, quizás sería interesante preguntarnos qué nos dicen los propios egipcios a este respecto. Desde la Dinastía I (h. 3050 a.C.) se tienen noticias de la existencia de una ceremonia conocida como "Tensado de la Cuerda", en que el rey y la diosa Shesat determinaban el eje principal de una construcción mediante el tensado de una cuerda entre dos jalones.

Para ello, el faraón observaba un objeto celeste (una estrella o asterismo) en la posición diametralmente opuesta a la que él se encontraba. No tenemos referencias contemporáneas a la IV Dinastía sobre qué objetos astronómicos se usaban en esta ceremonia, pero lo que sí que es cierto es que las referencias que tenemos, procedentes del Periodo Ptolemaico, sólo mencionan un asterismo como referente *Mesjetiu* (El Muslo), equivalente a nuestro Carro de la Osa Mayor. Teniendo en cuenta todas estas premisas,



**EN ESTA NUEVA HIPÓTESIS,  
LA MÁXIMA PRECISIÓN EN LA  
ORIENTACIÓN SE HABRÍA  
CONSEGUIDO EN TORNO AL AÑO  
2562 A.C. Y, EN CONSECUENCIA,  
LA GRAN PIRÁMIDE PODRÍA  
HABERSE ALINEADO EN FECHAS  
CERCANAS AL 2568 A.C. O AL 2556  
A.C., EN UN MOMENTO INTERMEDIO  
ENTRE LAS DOS FECHAS EXTREMAS  
PROPUESTAS POR LOS  
EGIPTÓLOGOS PARA EL COMIENZO  
DEL REINADO DE KEOPS,  
2589 Y 2551.**

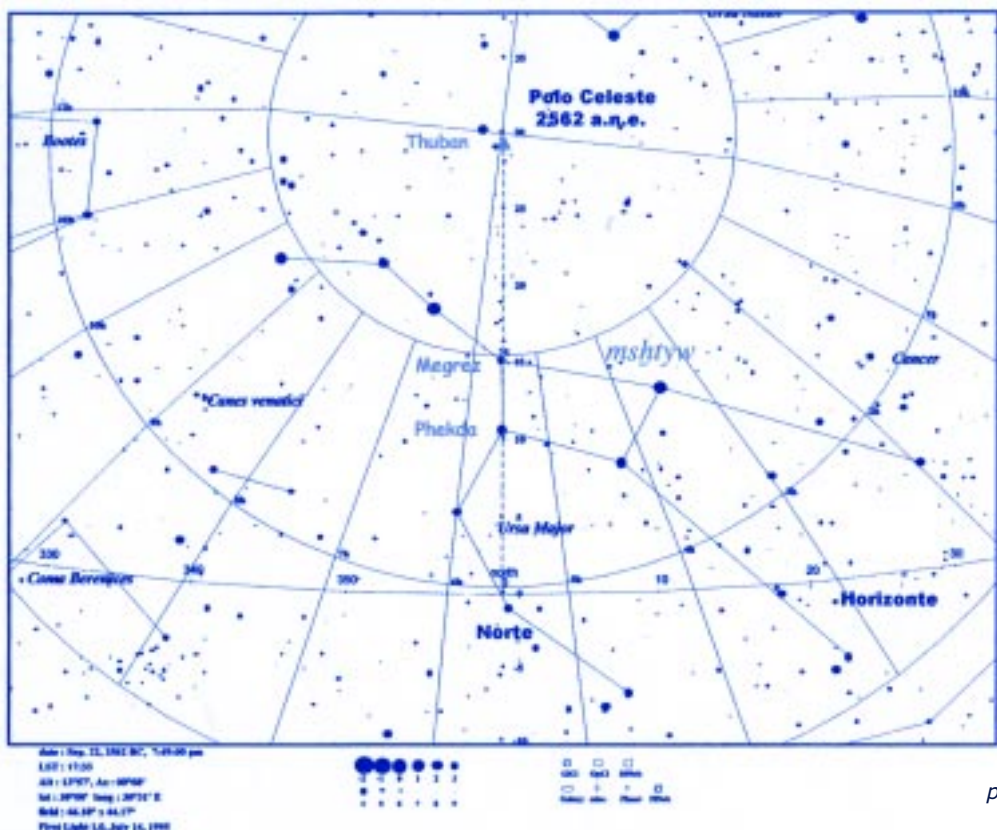


Las Pirámides de Giza, llamadas la Divina, la Grande y la del Horizonte, pertenecientes a los reyes Micerino, Kefren y Keops, respectivamente.

decidimos verificar la teoría de Spence, pero desde un punto de vista diferente, inspirándonos en cómo se encuentra la **Estrella Polar** en la actualidad mediante la prolongación hacia el norte de la línea que une las estrellas **Merak** y **Dubhe**,  $\beta$ UMa y  $\alpha$ UMa, respectivamente. Casualmente, en la primera mitad del tercer milenio a.C., la línea que unía otra pareja de estrellas del Carro, **Phekda** ( $\gamma$ UMa) y **Megrez** ( $\delta$ UMa), apuntaba más o menos hacia la estrella polar de aquella época, **Thuban**. Esto nos llevó a plantearnos una nueva hipótesis de trabajo por la que la orientación, siguiendo la línea meridiana, podría haberse conseguido mediante la observación del tránsito meridiano de esta pareja de estrellas, descubriendo en el proceso que la idea ya había sido sugerida por Polak en 1952, aunque sin verificarla matemáticamente. Esta hipótesis recoge lo mejor de las ideas de Haack y Spence, pero de una manera más sencilla, haciendo uso de la información histórica (observación de estrellas en *Mesjetiu*) y simplificando especialmente la observación del fenómeno, ya fuese mediante los jalones mencionados en la ceremonia del Tensado de la Cuerda o mediante instrumentos algo más sofisticados como el Merjet y el Bai. Además, esta teoría no plantea problemas cronológicos. Este último punto es especialmente delicado ya que la máxima precisión se habría conseguido en torno al año 2562 a.C. y, en consecuencia, la gran pirámide podría haberse alineado en fechas cercanas al 2568 a.C. o al 2556 a.C., en un momento intermedio entre las dos fechas extremas propuestas por los egiptólogos para el comienzo del reinado de Keops, 2589 y 2551.



Esta nueva hipótesis posee importantes implicaciones cronológicas e históricas, incluyendo las mitológicas, que estamos investigando actualmente y que pueden ayudar a una mejor comprensión de cómo los egipcios de la civilización faraónica entendían el Cosmos y se servían de él para, entre otras muchas cosas, orientar adecuadamente sus monumentos más importantes.



*Culminación inferior de la estrella Megrez y Phekda, pertenecientes a la constelación del Muslo (Mesjetiu), indicando con precisión el norte en el año 2562 a.n.e. Las pirámides de la IV Dinastía podrían haberse orientado por este sistema.*

## La polarización de la luz en Astrofísica

La radiación electromagnética que recibimos del Universo guarda múltiples secretos. Parte de ellos se esconden en su estado de «polarización», un parámetro físico relacionado con la orientación del campo eléctrico de las ondas. El conocimiento de la polarización de la luz es muy útil para analizar diferentes fenómenos como, por ejemplo, manchas solares, poros y regiones activas del Sol y, en general, para medir el campo magnético del Universo, una información tan importante como desconocida hasta el momento. Los polarímetros, haciendo uso de los espectrógrafos de los telescopios, obtienen imágenes espectrales en distintas longitudes de onda y permiten el estudio de las diversas manifestaciones del campo magnético en la atmósfera de las estrellas. El IAC ha desarrollado con éxito dos polarímetros solares de última generación para uso de la comunidad científica: uno visible (LPSP, *La Palma Stokes Polarimeter*), para el Telescopio Solar Sueco, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), y otro infrarrojo (TIP, *Tenerife Infrared Polarimeter*), para los telescopios solares VTT y Gregory, del Observatorio del Teide (Tenerife). Ahora, el IAC estudia presentar varias propuestas de instrumentación para *Sunrise* y *Solar Orbiter*, dos nuevos proyectos espaciales para el estudio del Sol.

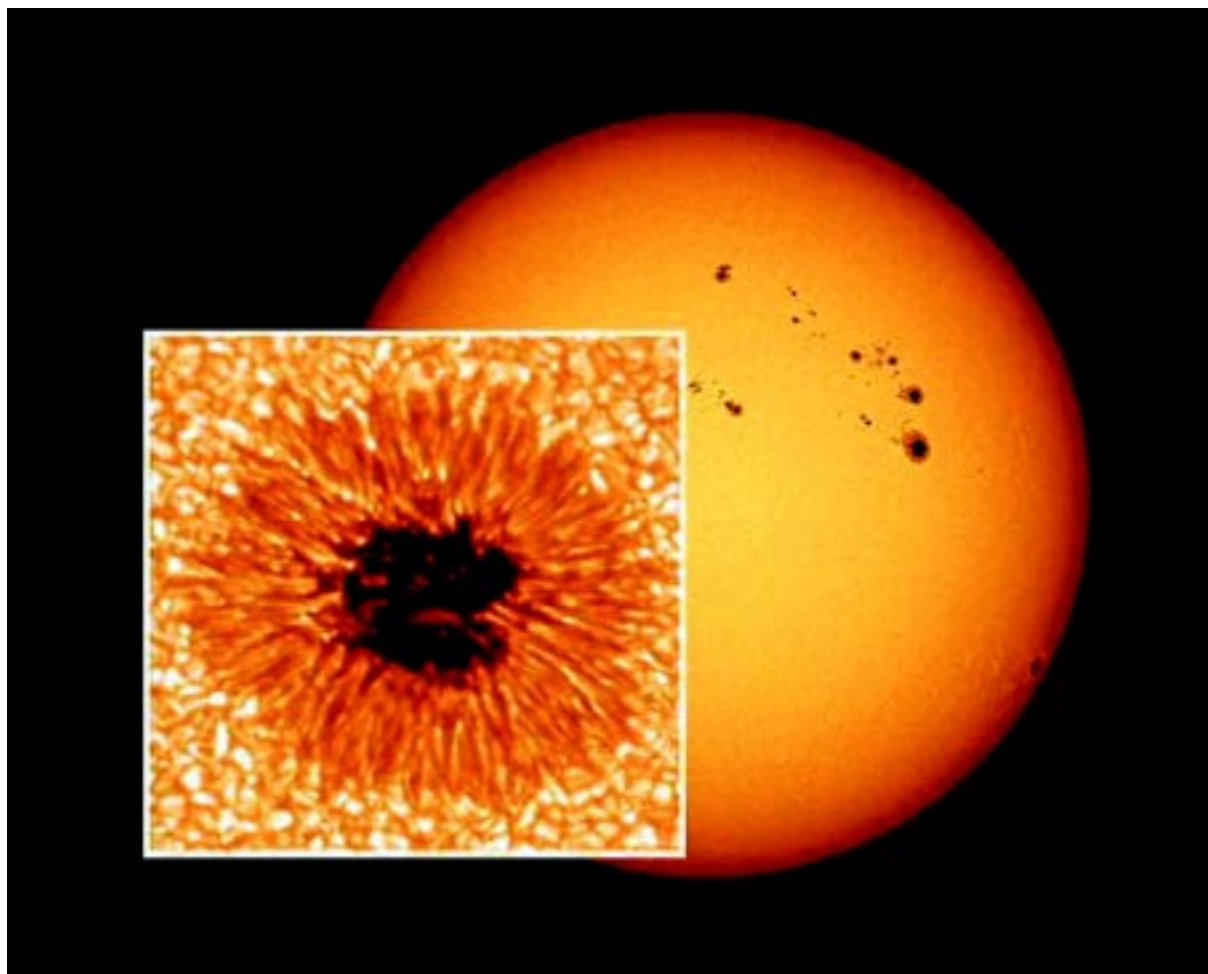


**Manuel Collados**  
(ULL/IAC)



**Valentín Martínez Pillet** (IAC)





*Montaje de una mancha solar (© J. A. Bonet, A. Hanslmeier, M. Sobotka y M. Vázquez) sobre una imagen de la fotosfera solar (© Th. Pettauer y J. A. Bonet.).*

Los astrónomos obtenemos información sobre el universo que nos rodea a partir del análisis detallado de la luz proveniente de otros astros que nos llega desde el espacio. Excepto en algunos casos, como los experimentos de detección de neutrinos, son los fotones los encargados de transportar la información de unos lugares del cosmos a otros. Los fotones están caracterizados por su energía (o, equivalentemente, por su frecuencia, su longitud de onda o, más vulgarmente, su color) y el ojo humano es sensible solamente a un rango muy pequeño de longitudes de onda del espectro electromagnético (éste abarca desde los muy energéticos rayos X y gamma hasta las familiares ondas de radio).

Un estudio profundo de la distribución espectral de la radiación revela que, sobre un continuo que varía de manera suave con la longitud de onda, se encuentran rasgos estrechos denominados «líneas espectrales». Éstas pueden aparecer tanto en absorción como en emisión dependiendo de las condiciones físicas del entorno en el que se generan. Quizás uno de los descubrimientos más importantes de la Astrofísica haya sido el hallazgo de que el resto del Universo está formado por los mismos elementos químicos que se encuentran en la Tierra. Así, las líneas espectrales que aparecen en los espectros de estrellas y otros objetos celestes son el resultado de absorciones y emisiones de fotones por

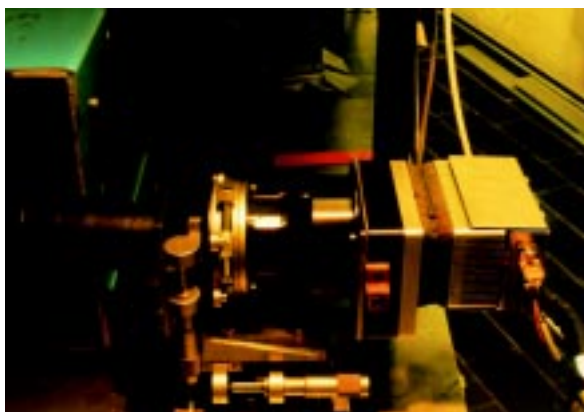
«Quizás uno de los descubrimientos más importantes de la Astrofísica haya sido el hallazgo de que el resto del Universo está formado por los mismos elementos químicos que se encuentran en la Tierra.»



parte de átomos y moléculas y son las huellas que éstos nos dejan para que podamos identificarlos. Cada átomo o molécula tiene su conjunto de líneas espectrales propias y que lo hacen distinguible de los demás. Pero no todas las líneas espectrales son iguales. Unas son más profundas, otras más estrechas, otras tienen alas muy extendidas, etc. Algunas aparecen en determinadas condiciones físicas pero están ausentes en otras. Gran parte de los estudios realizados por los astrónomos está dedicada a averiguar por qué estos rasgos espectrales existen y tienen las formas que se observan. A partir de ellos se puede inferir parámetros físicos tan importantes como la abundancia de los diferentes elementos, o la temperatura, presión, densidad o velocidad del medio donde se han generado. Esta es la denominada «espectroscopía clásica», que estudia la cantidad de energía absorbida o emitida en las líneas espectrales.

### **Luz polarizada**

Sin embargo, una onda electromagnética no solamente está caracterizada por su longitud de onda. Como toda onda, lleva asociada una magnitud física que oscila y se propaga. En el caso de la luz, esta magnitud es un campo electromagnético. La dirección de vibración del campo eléctrico asociado puede mantenerse constante

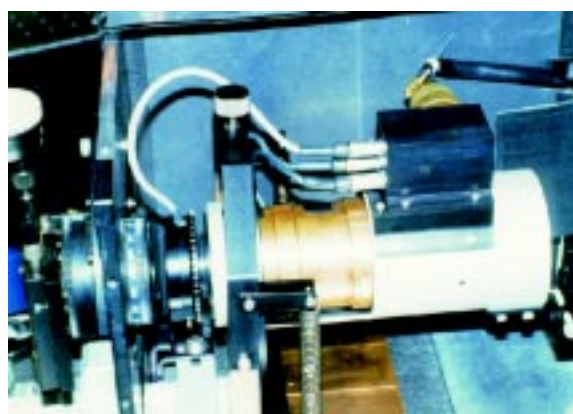
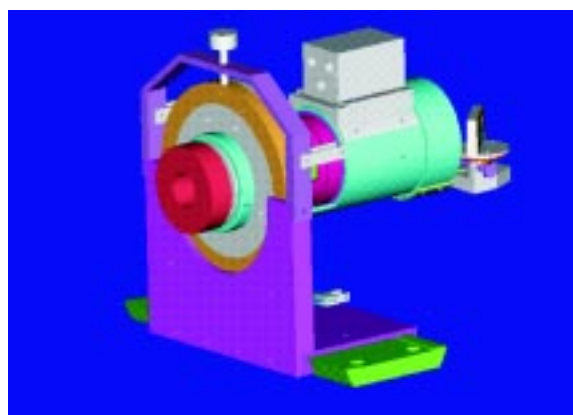


*Detector usado en LPSP (La Palma Stokes Polarimeter) para la detección de la polarización en las imágenes espectrales. Para adaptar las escalas espacial y espectral al tamaño de los elementos del detector, se le ha acoplado óptica cilíndrica, diseñada y construida en el IAC.*

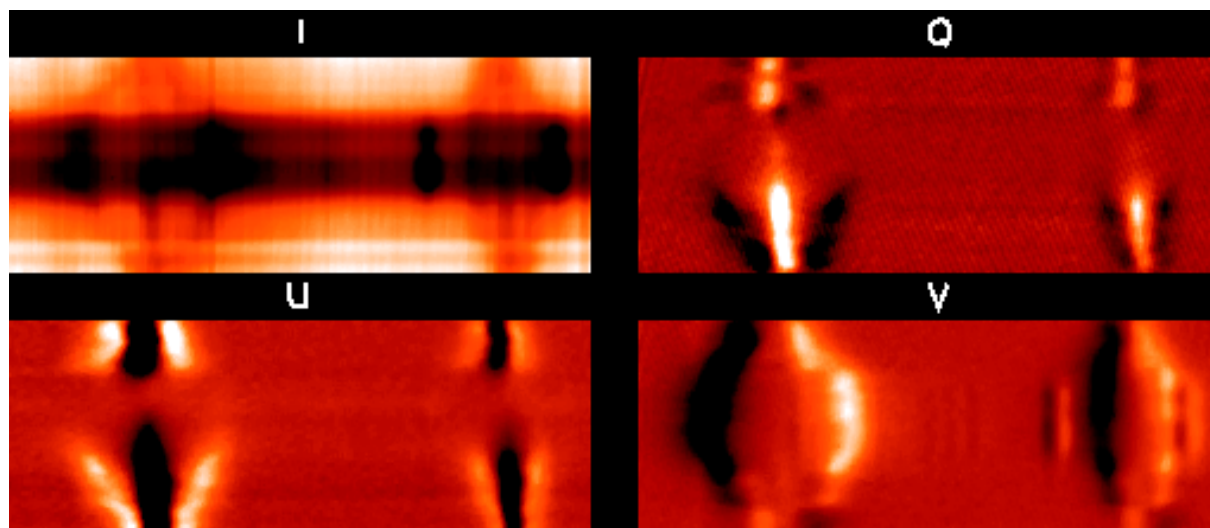
«La espectropolarimetría es la rama de la espectroscopía que analiza no solo los perfiles de intensidad de las líneas espectrales, sino también su grado de polarización y es la herramienta fundamental para la determinación de las propiedades de los campos magnéticos.»

a medida que la onda avanza, en cuyo caso se habla de «ondas linealmente polarizadas». Por el contrario, se dice que una onda está circularmente polarizada cuando ese plano rota en el tiempo. La polarización más general es la elíptica, que es una mezcla de la lineal y la circular. La luz natural, o no polarizada, es simplemente un conjunto de ondas electromagnéticas de la misma frecuencia en el que la probabilidad de encontrar ondas con una determinada polarización es la misma.

Existen procesos físicos que dejan una huella muy prominente en la polarización, mientras que no lo hacen tanto en intensidad. Entre ellos se encuentra la presencia de campos magnéticos en la zona donde se forman las líneas espectrales o de procesos de dispersión anisótropos. Cuando



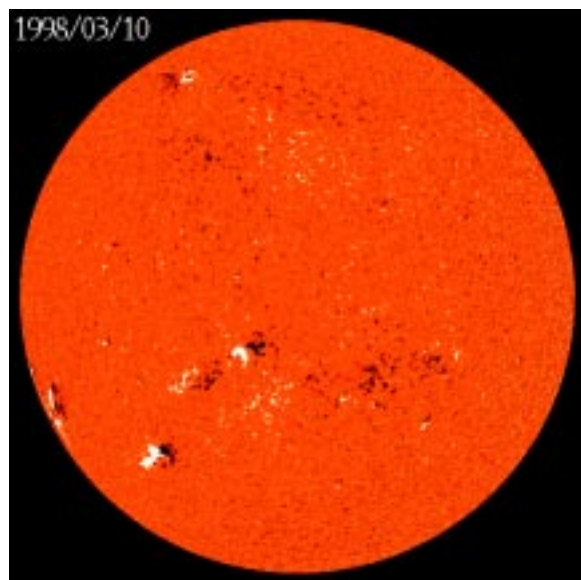
*Diseño del analizador de polarización del LPSP (arriba) e imagen de él una vez construido (abajo). Este dispositivo incluye, entre otros elementos, cristales líquidos que actúan como moduladores ultrarrápidos de la polarización de la luz.*



*Ejemplo de imágenes espectrales de los cuatro parámetros de Stokes. En horizontal se tiene longitud de onda y en vertical diferentes puntos a lo largo de la rendija de entrada del espectrógrafo. Ésta se dispuso de tal manera que cruzaba el centro de una mancha solar. El desdoblamiento de las líneas espectrales, como consecuencia del efecto Zeeman inducido por el campo magnético, es evidente. La forma exacta del perfil espectral en los cuatro parámetros de Stokes permite determinar la orientación e intensidad del campo magnético.*

se somete un átomo a la acción de un campo magnético, determinados niveles de energía rompen su degeneración dando lugar a lo que se denomina el «efecto Zeeman». Como consecuencia, donde originalmente había una línea espectral no polarizada, en presencia de un campo

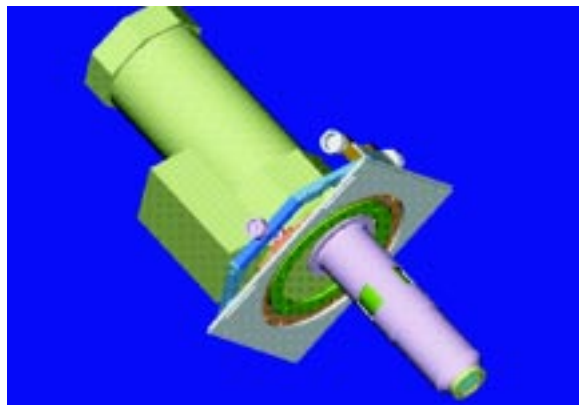
magnético ésta se desdobra en varias componentes de longitudes de onda ligeramente diferentes. Pero quizás el aspecto menos popular del efecto Zeeman sea que esas componentes están polarizadas de una manera que depende directamente de la intensidad y orientación del campo magnético aplicado. La espectropolarimetría es la rama de la espectroscopía que analiza no solo los perfiles de intensidad de las líneas espectrales, sino también su grado de polarización y es la herramienta fundamental para la determinación de las propiedades de los campos magnéticos.



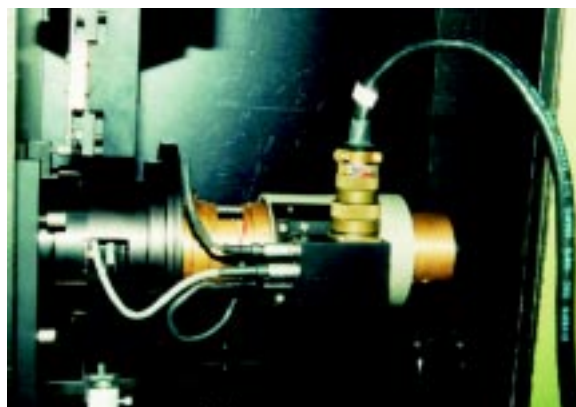
*Magnetograma del disco entero obtenido por MDI en el satélite SOHO. En color gris se muestran zonas sin campos magnéticos. Las regiones blancas y negras corresponden a zonas con intensos campos magnéticos de ambas polaridades. La instrumentación desarrollada por el IAC sirve para obtener con precisión el valor de los campos magnéticos en la superficie solar.*

### **Analizadores de polarización**

Al igual que el ojo humano, los detectores utilizados en los telescopios no son sensibles a la polarización de la luz (son sólo sensibles a la intensidad o energía que transportan). Es necesario recurrir a técnicas especiales para poder medir el grado y el tipo de polarización que tiene la radiación electromagnética. Para ello se recurre a polarizadores lineales y retardadores. Un polarizador lineal es un elemento óptico que transmite solamente aquella luz cuyo campo eléctrico vibra en un determinado plano. Así, si se hace incidir luz linealmente polarizada sobre él, la intensidad de la luz transmitida será máxima cuando el eje de transmisión del polarizador esté alineado paralelo al de la luz incidente. Será mínima cuando esté orientado perpendicularmen-



*Detalles del diseño del criostato utilizado en TIP (Tenerife Infrared Polarimeter). Lleva acoplada una óptica especialmente construida en el IAC para adaptar la escala al tamaño de los elementos del detector.*



*Modulador de polarización utilizado en TIP. Mecánica y electrónicamente es muy similar al de LPSP, para facilitar la compatibilidad de los elementos de los dos polarímetros construidos en el IAC.*

te. Un polarizador lineal rotante es, en consecuencia, un analizador de polarización lineal.

Por su parte, un retardador es un elemento óptico que modifica el estado de polarización de la luz que incide sobre ella, sin variar la intensidad transmitida. Por esa razón a veces se suele hablar de ellos como moduladores de polarización. Un retardador está caracterizado por la orientación de su eje principal, y por el retardo que introduce entre dos componentes del campo eléctrico de la luz incidente, una de ellas paralela al eje y la otra perpendicular. El cambio neto del estado de polarización depende de los valores concretos de estos parámetros. Usados en combinación con un polarizador lineal, se pueden construir analizadores de polarización no lineal.

## **El Sol**

Aunque son muchos los objetos celestes que generan radiación polarizada, es en el Sol donde más importancia está adquiriendo su estudio y donde más precisas son las técnicas de detección. La presencia de campos magnéticos repartidos por toda su superficie, en manchas solares, en fáculas, en la red fotosférica, etc., hace que la radiación que proviene de prácticamente todos sus puntos esté polarizada en mayor o menor grado. Los procesos de dispersión cerca del borde solar (donde existe una fuerte asimetría del campo de radiación) son también fuentes de luz polarizada en líneas espectrales cuidadosamente seleccionadas. En algunos casos, solamente de manera neta uno de cada diez mil

fotones recibidos en una determinada longitud de onda está polarizado (el resto tienen polarizaciones aleatorias que se cancelan entre sí). Por ello, las técnicas de medida, así como los



*Detalle del criostato que contiene el detector infrarrojo de TIP, instalado en la VTT del Observatorio del Teide.*



*Detalle del telescopio sueco SVST del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Se puede apreciar la presencia de un polarizador lineal, utilizado para calibrar polarimétricamente dicho telescopio.*

métodos de diagnóstico, deben ser extremadamente precisos.

### **LPSP y TIP**

Las mejores soluciones clásicas de medidas de polarización involucran la rotación de algún elemento óptico del analizador de polarización (típicamente uno o varios retardadores). A pesar de su simplicidad, estas soluciones llevan consigo problemas inherentes a la rotación como son el movimiento indeseado de la imagen, dificultades en la calibración, etc.

Durante los últimos cinco años, el IAC ha estado desarrollando y construyendo dos polarímetros de última generación, uno para el rango visible del espectro (*LPSP, La Palma Stokes Polarimeter*) y otro para el infrarrojo cercano (*TIP, Tenerife Infrared Polarimeter*), para los telescopios solares de los observatorios del IAC. Si bien conceptualmente son similares a los polarímetros

clásicos, su principal novedad estriba en que todos sus elementos ópticos son fijos. Utilizan celdas de cristal líquido. Éstos son retardadores variables cuyo comportamiento viene determinado por un voltaje externo aplicado. Los cristales líquidos pueden ser de dos clases: nemáticos y ferroeléctricos. Los nemáticos se comportan como retardadores de eje fijo y su retardo

«Aunque son muchos los objetos celestes que generan radiación polarizada, es en el Sol donde más importancia está adquiriendo su estudio y donde más precisas son las técnicas de detección.»

de se puede sintonizar de manera continua en un amplio rango de valores en función del voltaje aplicado. Por el contrario, los ferroeléctricos tienen un retardo fijo y su eje puede alternar entre dos posiciones. Estos últimos son los utilizados en LPSP y TIP. Tienen menos ver-

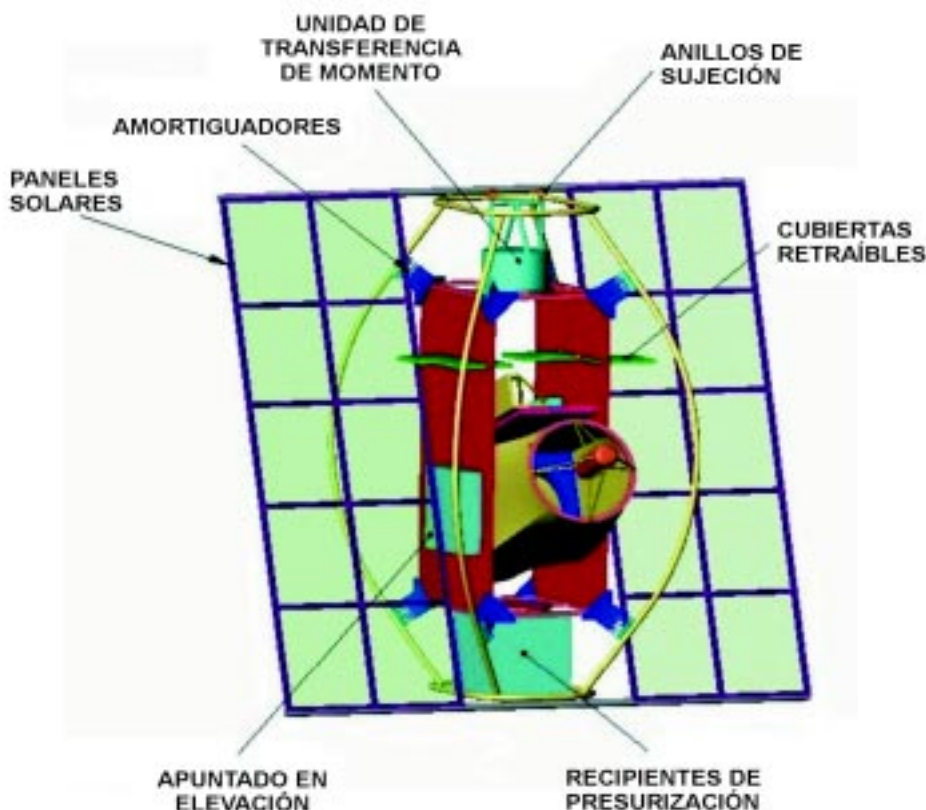
satilidad que los primeros, pero, por contra, son mucho más fáciles de controlar y de calibrar. Cabe destacar también que la respuesta temporal de una celda ferroeléctrica es 1.000 veces más rápida que la de una celda nemática, lo cual es importante para observaciones afectadas por las turbulencias atmosféricas.

Los polarímetros del IAC se pusieron a disposición de la comunidad internacional en la campaña de observación del año 1999. A pesar de ser dos instrumentos muy recientes, han sido numerosos los grupos de investigación que los han utilizado, y algunos de sus resultados más relevantes ya han sido presentados en diferentes reuniones científicas y han aparecido en revistas especializadas. Conviene mencionar aquí la detección de: oscilaciones del campo magnético en manchas solares, material volviendo hacia el interior del Sol en la penumbra de manchas solares, débiles señales de polarización por procesos de dispersión en regiones activas y en calma cerca del borde solar, la concentración y posterior destrucción de una estructura magnética, etc.

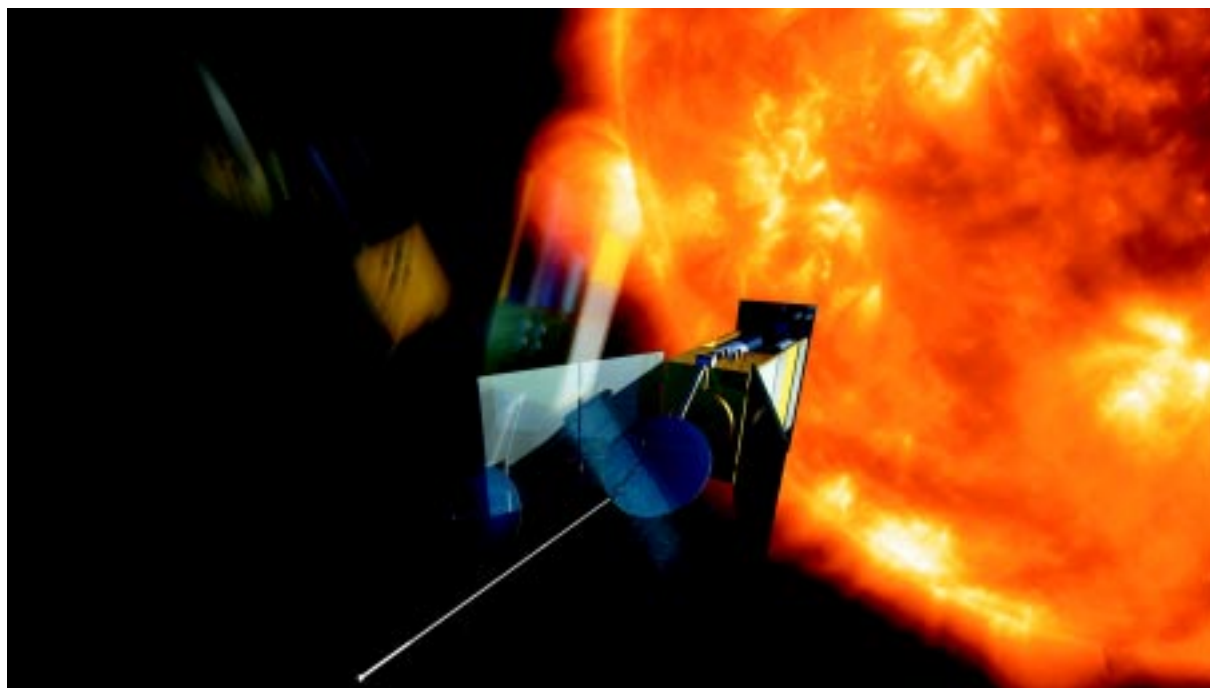
«Si bien conceptualmente son similares a los polarímetros clásicos, la principal novedad de los diseñados y construidos en el IAC (LPSP y TIP) estriba en que todos sus elementos ópticos son fijos, utilizando celdas de cristal líquido.»

### **Futuro**

Como consecuencia de la experiencia adquirida a partir del desarrollo de TIP y LPSP, el IAC se ha involucrado en el desarrollo de otros experimentos de gran relieve. El objetivo último es presentar en el año 2006 una propuesta a la Agencia Europea del Espacio (ESA) para construir un magnetógrafo que forme parte de la misión espacial *Solar Orbiter*. Se trata de un experimento múltiple para realizar medidas in situ (a 0,2 unidades astronómicas de distancia del Sol) de la heliosfera y el viento solar así como observaciones remotas de la atmósfera solar con una resolución espacial sin precedentes (mejor que 100 km). Como paso previo, se han realizado con-



Impresión artística de la Góndola del experimento Sunrise. En la parte central se puede ver el telescopio de 1 metro de diámetro y encima de este los instrumentos de plano focal.



*Impresión artística del satélite Solar Orbiter a su paso por el perihelio en modo de observación (con los paneles solares recogidos). Composición: Gabriel Pérez (SMM/IAC).*

tactos con la industria española para desarrollar cristales líquidos que puedan ser utilizados en el analizador de polarización. La empresa TECDIS Ibérica (Valladolid) fabrica pantallas de cristal líquido que son usadas en los populares teléfonos móviles (probablemente fue la empresa que construyó la del móvil que lleva encima). Una celda de cristal líquido para uso científico es, en cierto sentido, más simple que las pantallas de los teléfonos móviles (y de las calculadoras, ordenadores portátiles, etc).

La complicación surge por los fortísimos requisitos de calidad óptica que se les deben imponer, pero es precisamente en este punto donde el IAC apoyará a TECDIS para poder construir las celdas retardadoras. Estas celdas de cristal líquido desarrolladas por la colaboración IAC+TECDIS serán probados en los polarímetros de Tierra ya existentes, TIP y LPSP, para confirmar su buen comportamiento. Finalmente, y como paso anterior a la propuesta espacial, se realizará un diseño de un magnetógrafo similar para el experimento *Sunrise*. Se trata éste de un telescopio de 1 metro de diámetro que volará en el año 2006 en un globo a varias decenas de kilómetros de altura

«En los experimentos propuestos para los futuros proyectos espaciales queremos incluir elementos ópticos producto de una colaboración de I+D+I desarrollada plenamente en España.»

en la Antártida. El globo será lanzado desde la base McMurdo (EEUU) y volará de forma continuada durante diez días. Es un proyecto conjunto con los institutos Max Planck für Aeronomie de Lindau (Alemania), Kiepenheuer Institut für Sonnen-Physik de Friburgo (Alemania), High Altitude Observatory de Boulder (Colorado, EEUU) y Lockheed-Martin Solar and Astrophysical Laboratory de Palo Alto (California, EEUU). Los dos proyectos espaciales, *Sunrise* y *Solar Orbiter*, están separados por intervalos de 5 años. El magnetógrafo del primero nos permitirá estar en inmejorable posición para responder al anuncio de oportunidad de la ESA para la construcción del magnetógrafo del segundo. En ambos experimentos queremos incluir elementos ópticos producto de una colaboración de I+D+I desarrollada plenamente en España. Es, pues, un largo y ambicioso recorrido cuya finalidad última es conocer mejor la estrella que permite la vida en nuestro planeta, que nos sirve de laboratorio para entender fenómenos no reproducibles en los laboratorios terrestres y que nos ayuda a entender la astrofísica estelar más allá de las fronteras del Sistema Solar.

## **Espacio Acústico Virtual (Fase II)**

### *Ver la mente*

En colaboración con la Facultad de Medicina de la Universidad de La Laguna, el IAC comenzó en 1995 un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico denominado «Espacio Acústico Virtual» (EAV), un nuevo mecanismo de percepción basado exclusivamente en sonidos. Este sistema permite generar señales acústicas con información espacial tridimensional a partir de imágenes digitalizadas. Las personas ciegas pueden así llegar a tener una percepción del entorno en tiempo real. Para las pruebas del prototipo se seleccionaron varios grupos experimentales de ciegos procedentes de la ONCE. En todos ellos, los resultados fueron excelentes, pues el mecanismo les permitió reconocer las imágenes enviadas desde el ordenador (sintetizadas) o bien procedentes del entorno cercano. Los resultados más espectaculares se obtuvieron con ciegos recientes que conservan la corteza visual funcionando, puesto que en este caso son capaces de "ver" los esteropíxeles como imágenes visuales («fosfenos»). A principios de marzo de 2001, se realizaron las primeras Resonancias Magnéticas Funcionales a una voluntaria ciega en el Hospital Universitario de Canarias, en el marco de una segunda fase del proyecto, denominado ahora «Espacio Acústico Virtual (Fase II)» (EAV-II).

**Antonio Rodríguez**  
(EAV-II/ULL/IAC)

**Ramón Muñiz**  
(URM-IMETISA/HUC)

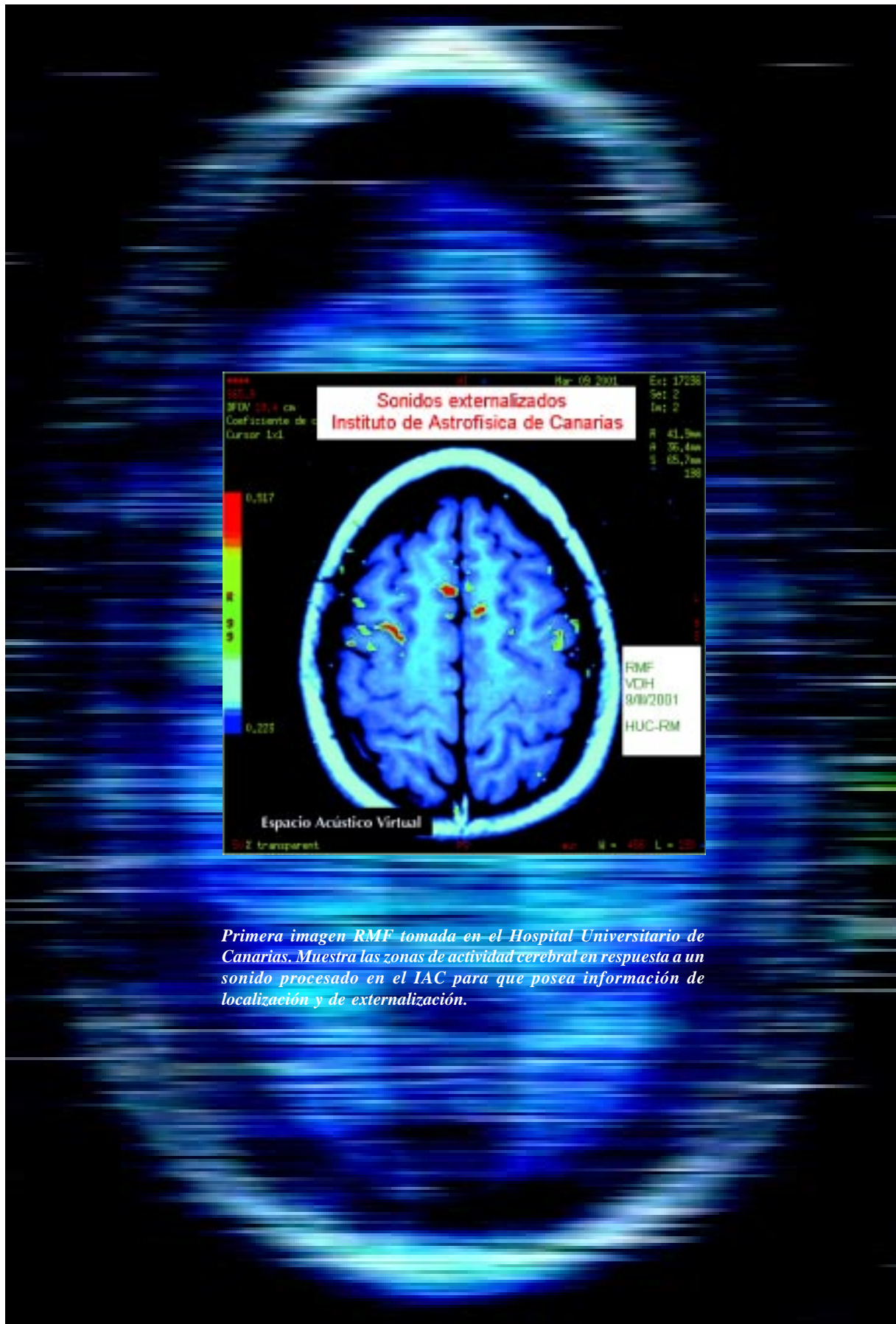
**Jorge López**  
(URM-IMETISA/HUC)

**Enrique Burunat**  
(Psicología, ULL)

*El proyecto EAV  
está coordinado  
por José Luis  
González Mora  
(ULL) y Luis  
Fernando*

*Rodríguez Ramos  
(IAC), y en él  
participan un  
total de 22  
investigadores e  
ingenieros, así  
como diversas  
instituciones (ITC,  
ICID, IMETISA,  
PIXEL).*





*Primera imagen RMF tomada en el Hospital Universitario de Canarias. Muestra las zonas de actividad cerebral en respuesta a un sonido procesado en el IAC para que posea información de localización y de externalización.*



*“Más eficazmente puede ayudar la ciencia del alma a la del cerebro que la del cerebro a la del alma”.* Estas palabras de un anatomista del XIX, Vogt<sup>1</sup>, citadas por Santiago Ramón y Cajal<sup>2</sup> sugerían la utilidad de una aproximación psicológica para la comprensión de la mente y el cerebro humanos.

Tradicionalmente, la psicología ha afrontado la comprensión de la mente humana investigando el comportamiento observable, pero también mediante la introspección. La aproximación biomédica, por el contrario, ha pretendido comprender el funcionamiento cerebral a través de la descripción de su estructura y organización anatómica y química. Ambas aproximaciones no hace mucho tiempo que confluyen, junto con otras perspectivas, en la actual Neurociencia, que pretende explicar la mente y el cerebro humanos, y que se distribuye en un número de disciplinas que enfatizan o profundizan especialmente en aspectos más o menos específicos o globales generando nuevas denominaciones del tipo de Psiconeuroinmunología. En los últimos años, el estudio de las funciones mentales puede realizarse con aparatos concebidos inicialmente por su capacidad de mostrar la anatomía y la química cerebral.

Poco antes de que nuestro sabio publicara esta cita, en 1895, en un laboratorio de la Universidad de Würzburgo, Wilhelm von Röntgen realizaba las primeras placas de Rayos X. Un siglo después, las técnicas de imagen, que permiten ver el interior del cuerpo humano y que tan útiles son para diagnosticar enfermedades y situar la causa del malestar de órganos y articulaciones, han alcanzado su madurez. A lo largo de ese período, sucesivas innovaciones han permitido que el ser humano llegara a ver lo que antes sólo podía imaginar; y la misma comunidad científica así lo ha reconocido, por ejemplo, con la concesión del premio Nobel a Allan M. Cormack y Sir Godfrey Hounsfield en 1979 por el desarrollo de la tomografía axial computerizada, TC o TAC, una técnica de observación por Rayos X en secciones relativamente finas y que permite la observación de tejidos vivos (con los Rayos X sólo podían observarse huesos y poco más).

Difícilmente hubiera imaginado Ramón y Cajal que la evolución de esa tecnología, aún incipiente cuando él mismo casi llegaba al cenit de su comprensión de la estructura del sistema nervioso, haría posible un siglo después que otros científicos, siguiendo su estela, pudieran llegar a ver la manifestación de dicho funcionamiento. Ver, oír, tocar, hablar, sentir y hasta pensar, ya puede observarse dónde y cómo ocurren en el cerebro, sin necesidad de abrir el cráneo y desgarrar el tejido cerebral, en personas sanas y sin consecuencias dañinas de ningún tipo. El sueño de Aristóteles y tantos pensadores de la antigüedad, que fueron imaginando la ubicación del «alma» en los más variados lugares de la anatomía humana, desde la cabeza hasta el estómago, pasando por el corazón o los intestinos, y que, en cierta medida, hoy podemos ver palpitando en el interior de nuestras cabezas gracias a las técnicas conocidas por sus iniciales, TEP y RMF en español.

La técnica de Resonancia Magnética Funcional (RMF) no utiliza Rayos X, como el TAC, ni tampoco requiere la administración al paciente de sustancias radiactivas, como es el caso de la Tomografía por Emisión de Positrones (TEP). Se basa la RMF en la generación de un intenso campo magnético, de 1'5 o más Teslas, y la aplicación de ondas de radio, mientras la persona ejecuta una tarea concreta. Como consecuencia de la interacción entre la señal recogida y la tarea realizada, se obtiene una enorme cantidad de

«El aparato desarrollado implica la transformación del mundo visual en un mundo sonoro, es decir, un mundo en el que las cosas resuenan. Casi literalmente, el efecto que se quiere conseguir ha de ser como si los objetos –paredes, muebles, columnas, etc.– estuvieran cubiertos de campanillas.»

datos –del orden de gigabits– que pueden representarse de diversas formas y que muestran,

claramente y desde diversas perspectivas, la porción del cerebro implicada en dicha tarea (ver, oír, tocar, hablar, sentir, pensar...). Los aparatos de RMF, unas decenas a mediados de los años 90, se han ido incrementando en número, potencia y aplicaciones en los últimos años, partiendo de los iniciales aparatos de Resonancia Magnética Nuclear, técnica de laboratorio cuya invención le supuso el Premio Nobel a Felix Bloch y Edward M. Purcell en 1952.

### «Década del Cerebro»

Y es que esta década que terminó el año 2000 tuvo la denominación de “Década del Cerebro”,



*Dispositivo de Resonancia Magnética instalado en el HUC. Permite la obtención de cortes anatómicos con fines diagnósticos así como de imágenes de la función cerebral durante la realización de tareas concretas.*

por una iniciativa tomada por el Congreso de los Estados Unidos de América y a la que posteriormente se sumaron otros países desarrollados. Se fundamentaba dicha declaración en la importancia y coste de las diversas enfermedades que afectan al sistema nervioso –Parkinson, Alzheimer–, que van aumentando con el incremento de la esperanza de vida de la población, pero también en la importancia del conocimiento del funcionamiento del cerebro y de la mente humanos. Constituyen un soporte fundamental en dicha comprensión los resultados que se van obteniendo con las distintas técnicas de neuroimagen, especialmente con la RMF.

A principios de marzo de 2001 se realizaron las primeras RMF de Tenerife en el Hospital Universitario de Canarias a Vanessa, una estudiante de Psicología, que participa como voluntaria en el proyecto de investigación y desarrollo tecnológico de la Universidad de La Laguna y del Instituto de Astrofísica de Canarias denominado “Espacio Acústico Virtual-II”<sup>3</sup> (EAV-II).

Posteriormente, otras voluntarias<sup>4</sup> han seguido “prestando sus cerebros” para que se puedan investigar algunas cuestiones que permitirán evaluar la utilidad de un aparato diseñado y todavía desarrollándose para su uso por personas ciegas, un buen número de las cuales ha contribuido especialmente a probar las primeras versiones de este peculiar dispositivo que, a manera de unas gafas mágicas, transforma los objetos en formas que suenan; en realidad, el sistema portátil que se está desarrollando incluye minicámaras y auriculares que se soportan sobre la estructura de unas gafas y que van conectados a un pequeño computador, acoplado a la cintura.

Efectivamente, dicho aparato implica la transformación del mundo visual en un mundo sonoro, es decir, un mundo en el que las cosas resueñan. Casi literalmente, el efecto que se quiere conseguir ha de ser como si los objetos –paredes, muebles, columnas, etc.– estuvieran cubiertos de campanillas. De esta manera, las personas ciegas que llevaran dicho instrumento po-

drían detectar los distintos obstáculos y objetos que les rodean, lo que les facilitará su desplazamiento y vida diaria, especialmente por lugares desconocidos y como complemento a otros medios –como el bastón– de los que puedan ayudarse.

Los resultados preliminares obtenidos por personas ciegas al utilizar una versión no portátil del aparato se presentaron en una reunión científica promovida por el grupo EAV-II y celebrada el 30 de marzo de 2001 en el campus universitario de Guajara, en La Laguna; en dicha reunión, un selecto grupo de investigadores debatieron sobre la relación entre Neurobiología e Ingeniería.

La conferencia inaugural, con el título *“Inter-cambiar los sentidos: “Ver” con la piel y con el oído”*, impartida por la profesora Eliana Sampaio, investigadora de la *Universite Louis Pasteur*, de reconocido prestigio mundial en el campo de la sustitución sensorial, sirvió de presentación del desarrollo de las diversas técnicas y procedimientos de sustitución sensorial que se llevan a cabo en los centros de investigación más avanzados del mundo y con el objeto de ayudar a las personas ciegas; entre otras aproximaciones de otros grupos, el grupo EAV-II presentó un vídeo que mostraba la utilización de la versión no portátil y orientada a investigación del aparato por parte de Guillermina, una colaboradora ciega. Los logros mostrados en dicho vídeo causaron una excelente impresión en el conjunto de participantes, entre ellos varios expertos españoles en neurobiología de la visión y de la audición.

### Percepción de fosfenos

En una próxima etapa, dentro del proyecto EAV-II, se aplicará la técnica de la RMF a personas videntes y ciegas para averiguar qué partes del cerebro de las personas ciegas van a aprovechar la información sonora que les ofrecerá el aparato aún desarrollándose. ¿Será la parte del cerebro encargada de procesar los sonidos? ¿Será la parte del cerebro en donde las personas con visión reciben la información que llega de los ojos? ¿Se utilizarán otras partes menos específicas del cerebro? ¿Cómo modificará la organización funcional del cerebro el empleo del

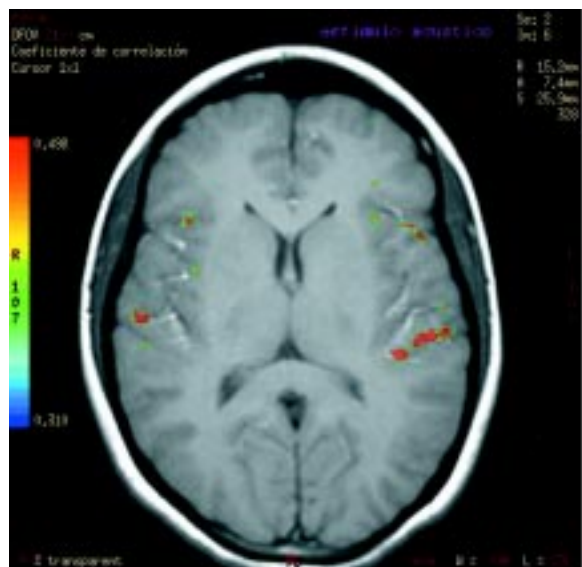
aparato, una vez que finalice su fabricación y se encuentre a disposición habitual por parte de la persona ciega? Son todas ellas preguntas ciertamente interesantes y cuya respuesta puede ampliar las aplicaciones del dispositivo, así como determinar su utilidad real. O, incluso, fundamentar, limitar o extender, futuros desarrollos posteriores. Sirva de ejemplo el caso de los *fosfenos*.

«Algunas personas ciegas dicen percibir, al emplear el prototipo no portátil del aparato, además de los sonidos que representan los objetos, diminutos puntos luminosos –o *fosfenos*– en la misma ubicación espacial de la que parece proceder el sonido.»

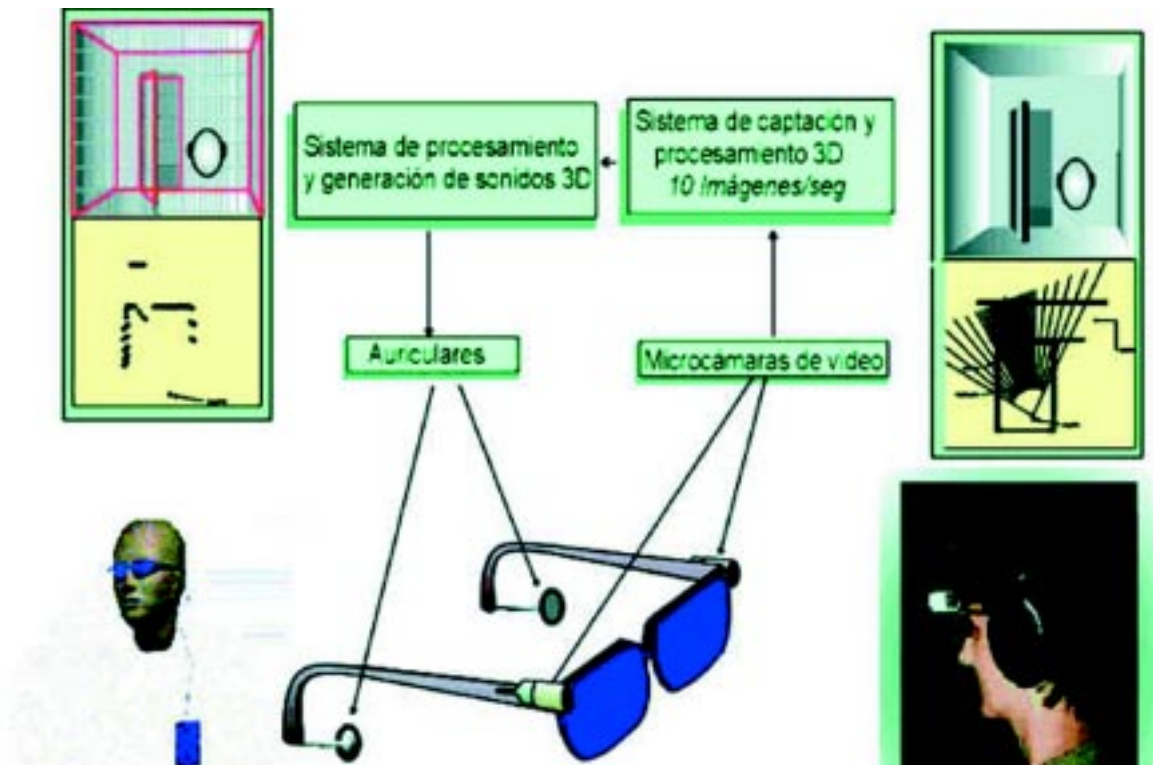
Algunas personas ciegas dicen percibir, al emplear el prototipo no portátil del aparato, además de los sonidos que representan los objetos, diminutos

puntos luminosos –o *fosfenos*– en la misma ubicación espacial de la que parece proceder el sonido. Éste es un fenómeno que, aunque no es desconocido en biomedicina y psicología, sí es bastante raro. Gracias a la utilización de la RMF, el grupo EAV-II ha encontrado datos preliminares que muestran que, en las personas ciegas que “ven” fosfenos al escuchar los sonidos generados por el aparato en desarrollo, se activan realmente áreas visuales del cerebro.

Este resultado, de confirmarse en sucesivas observaciones, establecería de manera definitiva que la utilización del aparato de sustitución sen-



Corte transversal por RMF del cerebro de una de nuestras colaboradoras, en que se aprecia el detalle anatómico y en color unas regiones especialmente activadas ante la tarea de percibir un sonido y su posición de procedencia.



*Estrategia utilizada para codificar el entorno en sonidos. A través de un sistema de visión artificial se obtiene la información de posición 3D de los objetos. Para cada coordenada detectada se hace sonar, a través de auriculares, un sonido previamente espacializado, que al sujeto le parece proceder de la posición dada.*

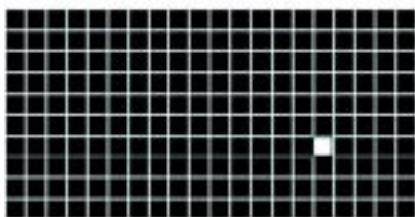
sorial que el grupo EAV-II está desarrollando, estimula las áreas visuales del cerebro de la persona ciega; las consecuencias e implicaciones de esta estimulación son totalmente desconocidas e imprevisibles en la actualidad y evidentemente requerirán, tanto de un seguimiento serio, planificado y cuidadoso de quienes lo utilizan, como de ulteriores investigaciones que permitan evaluar las posibles modificaciones funcionales en los cerebros de los usuarios. En otras palabras, *“ver la mente”* a través de la RMF constituye, cada vez más, una necesidad en las investigaciones relacionadas con el funcionamiento del cerebro humano. La relación entre el “alma” y el “cerebro” está esclareciéndose y, así, las palabras de Vogt citadas por Ramón y Cajal alcanzan un equilibrio perfecto: *las ciencias del “alma” y las del “cerebro” comienzan a ser la misma ciencia.*

En todo caso, el proyecto “Espacio Acústico Virtual”, que ya va por su segunda etapa y alcanzando la madurez tras seis años de trabajos, probablemente constituya una muestra ejemplar de cómo el desarrollo tecnológico y la fundamentación científica, conjuntamente, son capaces de contribuir a abrir nuevos horizontes

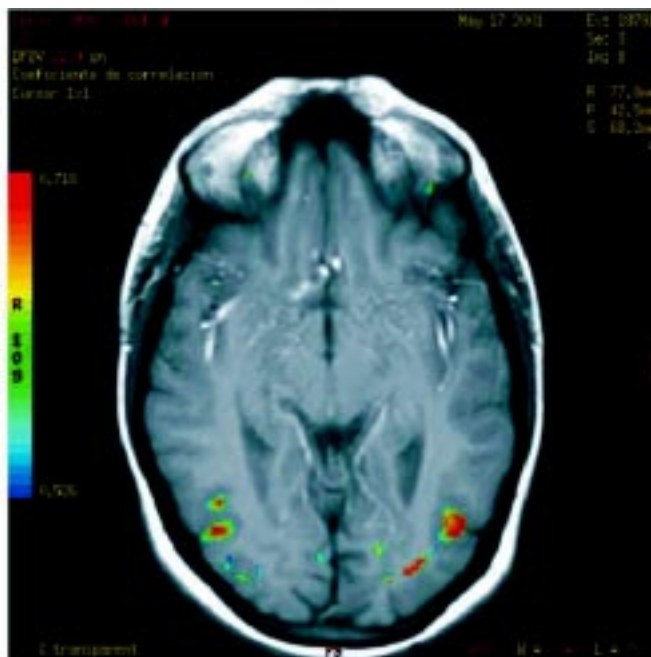
en el tratamiento de patologías que afectan a un número considerable de personas en el mundo y en nuestro país.



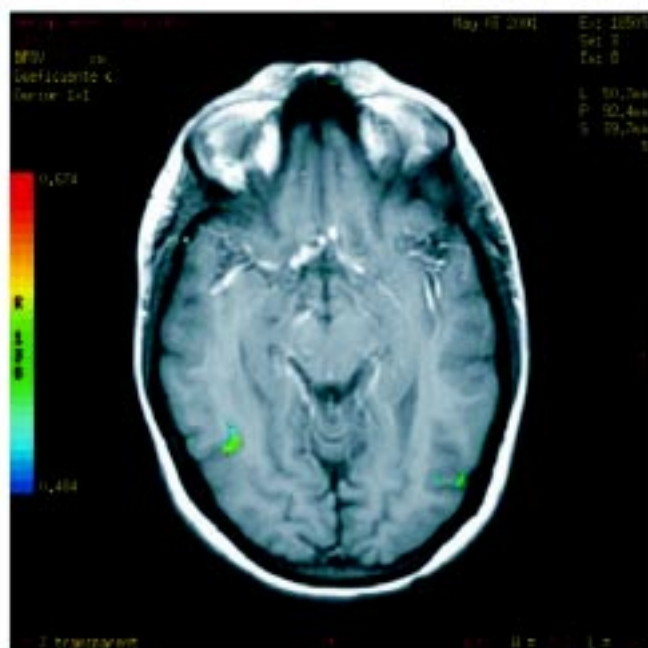
*Colaboradora ciega detectando y señalando un objeto puntual (circulo negro) por medio de la versión actual del dispositivo EAV. La columna que está en segundo plano puede ser percibida de forma global y mantenida en el tiempo como una línea de fuentes sonoras en disposición vertical, imagen denominada de **figura o sólido auditivo**, y en esos aspectos similar a las generadas a través de la vía visual.*



**SONIDO EXTERNALIZADO  
EN LA ZONA INFERIOR  
DERECHA, ESPACIALIZADO  
CON EVOCACIÓN VISUAL**



**SONIDO EXTERNALIZADO  
IDÉNTICO AL ANTERIOR  
PERO SIN EVOCACIÓN  
VISUAL**



*Imagen de la actividad cerebral de una misma persona ciega con (corte superior) y sin (corte inferior) la percepción de pequeñas luces desencadenada por el sonido particular utilizado para codificar el entorno. La RMf muestra cómo esta percepción de luces, aún siendo evocada por una vía distinta a la visual, se acompaña no obstante de actividad en la región cerebral encargada del procesamiento visual (zonas coloreadas inferiores del corte superior).*

<sup>1</sup> O. Vogt: Fleschig's Association Zentrenlehre, ihre Anhänger und Gegner. Zeitschr. f. Hypnotismus, & Bd. V, Heft. 6.  
<sup>2</sup> Ramón y Cajal, *Textura del Sistema Nervioso del Hombre y los Vertebrados*, Imprenta y Librería de Nicolás Moya, Madrid, 1904.  
<sup>3</sup> <http://www.iac.es/proyect/eavi/welcome.htm>.  
<sup>4</sup> Muchas de ellas son estudiantes de Psicología de la Universidad de La Laguna (Silvia, Ana, M. del Cristo, Carmen Gloria, Aloha, Nereida, Eva María, Evelia, Angeles...); otras voluntarias son invidentes (Guillermina, Candelaria, Ana María, Rosa...). A éstas y a otros participantes en las investigaciones, los miembros del grupo EAV-II agradecen su desinteresada y entusiasta colaboración.

## **Jornadas de trabajo interdisciplinar NEUROBIOLOGÍA-INGENIERÍA**

Organizadas por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y la Universidad de La Laguna (ULL), entre los días 30 de marzo y 1 de abril se celebraron, en el campus de Guajara de la ULL, unas Jornadas de Trabajo Interdisciplinar Neurobiología-Ingeniería. Las sesiones tuvieron lugar en el IAC y en el edificio central del campus de Guajara. El objetivo era poner en contacto a investigadores en la neurobiología de la visión y de la audición con ingenieros expertos en el desarrollo de instrumentación, a fin de que pudieran surgir colaboraciones que permitan ofrecer a la sociedad aplicaciones concretas de los resultados de la investigación que lleguen hasta el extremo de resultar comercialmente rentables.

Un ejemplo de colaboración en este sentido es la que ha dado lugar al proyecto "Espacio Acústico Virtual" (EAV), en el que están involucrados el Departamento de Fisiología y el Área de Psicobiología, de la ULL, y el Área de Instrumentación del IAC, por el que se ha desarrollado un dispositivo capaz de generar señales acústicas con información espacial tridimensional al objeto de que una persona pueda lograr una percepción del espacio que la rodea sin apoyarse en la visión. Esto es posible porque tanto las imágenes como los sonidos son consecuencia de una transmisión de fenómenos a distancia mediante soporte físico ondulatorio, lo cual permite la captación de las características físicas del entorno, una vez activados los mecanismos neuronales que el cerebro humano utiliza para ello. En el proyecto EAV fase II participan además la ONCE, el ITC S.A., el ICID S.A., IMETISA y PIXEL S.L.

Las Jornadas sirvieron asimismo para estrechar lazos entre las comunidades científica y técnica de nuestro país, así como para realizar una amplia revisión de los conceptos que se manejan en estas disciplinas y de las investigaciones que el proyecto EAV tiene en marcha.

### **Intercambio sensorial**

Las Jornadas se inauguraron en el Museo de la Ciencia y el Cosmos del Organismo Autónomo de Museos y Centros del Cabildo de Tenerife, con una conferencia titulada "Intercambiar los sentidos: 'ver' con la piel y con el oído", a cargo de la Dra. Eliana Sampaio, profesora de Psicología en la Facultad de Psicología y Ciencias de la Educación de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo (Francia) y Directora del Departamento de Psicología Evolutiva y del Laboratorio de Estudios de Sistemas Perceptivos y Emocionales. Durante 16 años, Sampaio ha investigado las propiedades perceptuales de los disminuidos visuales y ha trabajado en la evaluación del rendimiento de instrumentos de sustitución sensorial.

La sustitución sensorial es un concepto nuevo en neurociencia. Supone que la información recibida por un sistema sensorial defectuoso (como la visión) puede ser recabada por un sensor artificial (por ejemplo, una cámara de televisión) y luego "traducida" en otro estímulo físico que puede ser utilizado por un sistema sensorial intacto y transportado al cerebro por las vías correspondientes (por ejemplo, el tacto). Los sistemas de sustitución sensorial visión-tacto y visión-audición están diseñados para codificar la información espacial que normalmente facilita la visión. Los sistemas visión-audición son normalmente adecuados para recopilar información sobre la distancia a la que se encuentran los objetos, mientras que los sistemas visión-tacto son más adecuados para dar información óptica como la forma de los objetos e información pictórica como la perspectiva y el paralaje. En otras palabras, los dos tipos de sistemas de sustitución proporcionan información espacial de tipo visual complementaria de los objetos situados en el entorno del individuo. En el ámbito de la sustitución sensorial es importante conocer el tipo de percepción que se genera con los instrumentos de sustitución sensorial, si es similar a la generada de forma natural (sea visual, táctil o auditiva) o si se trata de un tipo de percepción completamente nuevo. Según la teoría de sustitución sensorial, el procesamiento de estos estímulos sustitutivos debería dar como resultado una percepción de tipo visual.

## «**Whole Earth Telescope**» y el IAC-80

Desde abril de 1999, el telescopio IAC-80, instalado en el Observatorio del Teide, en Tenerife, se está utilizando regularmente para las campañas de observación del «Whole Earth Telescope» (WET) o Telescopio Global de la Tierra. El WET puede ser considerado como un telescopio terrestre multiespejo destinado a resolver series temporales de fotometría de estrellas de variabilidad rápida. Este instrumento ha sido el primero en proporcionar la continuidad y la calidad suficiente de datos para permitir una alta resolución en el espectro de potencias de dichos objetos variables. En este artículo se describe la metodología del WET y el papel que actualmente viene desempeñando el IAC-80 como parte de esta organización.

**José Miguel  
González Pérez**  
(Univ. Tromsø,  
Noruega)



En 1986, científicos del Departamento de Astronomía de la Universidad de Texas establecieron una red de cooperación entre observatorios astronómicos alrededor del mundo con el objetivo de obtener series ininterrumpidas de fotometría de estrellas de variabilidad rápida y, de esta forma, minimizar o eliminar las interrupciones presentes en observaciones realizadas desde un solo observatorio debido a la rotación de nuestro planeta.

La razón principal era obtener las oscilaciones multiperiodicas observadas en esos objetos y resolverlas en sus componentes individuales. El objetivo científico era poder derivar parámetros astrofísicos fundamentales de los objetos, con la construcción de avanzados modelos teóricos y su comparación con el comportamiento observacional detectado.

La metodología utilizada para extraer esta importante información se denomina «Astrosismología». Ésta se basa en el estudio de los modos normales de oscilación que podemos observar en algunas estrellas a modo de pequeñas variaciones de la cantidad de energía que recibimos de ellas. Con el análisis de dichos modos normales de oscilación, la Astrosismología puede avanzar en el entendimiento de la estructura estelar, del mismo modo que a través de la Sismología conocemos la estructura del interior de nuestro planeta. El gran éxito de esta cooperación ha ayudado notablemente a situar la Astrosismología como una importantísima herramienta para el conocimiento de las propiedades y estructura de las estrellas.

La red de observación, conocida como WET (de *Whole Earth Telescope*, Telescopio Global de la Tierra), es operada como un único instrumento astronómico con muchos observadores. Científicos alrededor del mundo colaboran en la adquisición, reducción y análisis de datos, así como en su interpretación teórica. Las operaciones son

coordinadas desde una sede central, normalmente localizada en la Universidad Estatal de Iowa (Estados Unidos), universidad a la que pertenece el actual director del WET, el Profesor Steve Kawaler.

### **Cómo funciona**

En una campaña WET participan aproximadamente 15 telescopios situados alrededor del globo. La duración de dichas campañas varía entre dos y tres semanas, organizándose normalmente dos cada año. Las peticiones de tiempo se asignan de forma que exista el mayor solapamiento posible entre todos los observatorios. De esta forma, se consigue un núcleo principal de una semana con una cobertura excelente porque durante ella la totalidad de los telescopios suele estar observando simultáneamente.

Antes y después de ese núcleo no siempre es posible contar con todos los telescopios. Sin embargo, la cobertura, si bien no total, suele ser bastante buena, y los datos ayudan enormemente a la obtención de mejores resoluciones temporales. El objetivo fundamental durante la

planificación de una campaña es, por tanto, tener una buena distribución de telescopios a distintas longitudes geográficas, de forma que los objetos puedan ser observados durante las 24 horas. Sin embargo, es deseable también disponer de más de un observatorio en cada franja de longitud, con el fin de evitar que las malas condiciones atmosféricas estropeen la continuidad de los datos. Además, si dichos telescopios pueden observar una misma noche, la sede central del WET distribuye los objetos a observar con el fin de optimizar la cantidad y calidad de datos recogida. En este sentido, cabe señalar que normalmente las observaciones se concentran en dos objetos: uno principal y otro secundario. Se pretende obtener la mayor cobertura posible de datos para el objeto principal y, cuando las condiciones y distribución de telescopios lo permitan, datos para el secundario.







*Imágenes del telescopio IAC-80, de 80 cm de diámetro, instalado en el Observatorio del Teide (Tenerife). Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC).*



Como se desprende de lo anterior, la organización y comunicación son fundamentales para el éxito de una campaña WET. De ello se encarga, principalmente, la sede central, desde la que se coordina a los observadores utilizando correo electrónico y llamadas telefónicas. Además, desde las últimas campañas, se ha puesto en funcionamiento un centro web que facilita enormemente estos cometidos. Las páginas web se actualizan constantemente por parte de personal en la sede central, mostrando información de cómo va la campaña en general y la situación particular de cada observatorio. Los datos, enviados desde los distintos observatorios vía correo electrónico, son reducidos, combinados, sometidos a un análisis preliminar en tiempo real, y mostrados rápidamente en el centro web. De esta forma, se mantiene constantemente informados a todos los observadores de cómo va la campaña, y se optimiza el uso del WET como instrumento único. Después de la campaña, sus Investigadores Principales reducen de forma más sofisticada los datos y generan un borrador de la eventual publicación, que es distribuida a todos los colaboradores del proyecto. Tras la

aprobación general, el artículo final es enviado a revistas internacionales para su publicación.

Una parte importante en la organización de la familia WET es el análisis y discusión de las experiencias positivas y negativas de las campañas realizadas, los resultados y la ciencia generada, y la planificación del trabajo futuro. Para ello, los participantes de la red organizan un congreso cada dos años donde se tratan estos asuntos.

### **IAC-80 y WET**

Desde 1999, el Observatorio del Teide, a través del telescopio IAC-80, se viene utilizando regularmente en las campañas WET. La actividad, cantidad y calidad de datos aportados desde Tenerife ha sido constante durante las últimas cuatro campañas (abril 1999, octubre 1999, junio 2000 y noviembre 2000). La calidad del cielo de Canarias ha hecho que el IAC-80 sea regularmente uno de los telescopios que aporten más horas de observación a la familia WET, y se haya convertido en un telescopio importante como nexa

entre las observaciones realizadas en Europa y las realizadas desde telescopios situados en América y Hawai. Si bien no existe personal del Instituto de Astrofísica de Canarias completamente involucrado en las observaciones WET, sí colaboradores de la institución, siendo actualmente los principales vínculos entre la familia WET y el IAC la Dr. Ana Ulla, investigadora del IAC durante varios años y, actualmente, miembro del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Vigo, y el autor, licenciado en Física por la Universidad de La Laguna y, actualmente, realizando la tesis doctoral en el Departamento de Astrofísica de la Universidad de Tromsø (Noruega).

Las observaciones WET desde el IAC-80 se realizan normalmente utilizando el fotómetro de 3 canales «Tromsø-Texas Photometer» (TTP), designado específicamente como fotómetro estándar WET, perteneciente a la Universidad de Tromsø. El autor, junto con otros miembros del Departamento de Astrofísica de dicha universidad, son, normalmente, los investigadores del proyecto WET que realizan observaciones desde Tenerife. El éxito de los datos aportados hasta la fecha ha supuesto un mejor conocimiento internacional de las posibilidades de los telescopios nocturnos del Observatorio del Teide, especialmente entre científicos relacionados con Astrosismología, y el establecimiento del IAC-80 como un pilar importante en la organización de futuras campañas de observación.

## **IAC-80 y TTP**

El fotómetro TTP es un instrumento basado en tubos fotomultiplicadores perteneciente a la familia de fotómetros estándar WET. Una de sus características principales es la disponibilidad de tres canales que permiten monitorizar contantemente el objeto que se quiere estudiar, una región de cielo cercana a éste y una estrella de referencia. De esta forma, se pueden continuamente analizar y corregir las variaciones de la transparencia del cielo, y realizar fotometría diferencial. Los detectores están optimizados para la región azul del espectro, debido a que las principales estrellas observadas en las cam-

pañías WET son enanas blancas y otros objetos de temperatura efectiva alta. Una de las principales ventajas que sigue ofreciendo la fotometría clásica basada en tubos fotomultiplicadores es la rápida velocidad de transferencia de datos desde el detector hasta el ordenador. En el caso del TTP, la velocidad límite de lectura de los canales es del orden de nanosegundos. Utilizando el software estándar WET, esto permite realizar fotometría de un objeto con un intervalo de muestreo de hasta una décima de segundo.

La calidad del cielo de Canarias ha hecho que el IAC-80 sea regularmente uno de los telescopios que aporten más horas de observación a la familia WET, y se haya convertido en un telescopio importante como nexo entre las observaciones realizadas en Europa y las realizadas desde telescopios situados en América y Hawai.

El fotómetro TTP pertenece a la Universidad de Tromsø (Noruega). Sin embargo, desde que el telescopio IAC-80 empezó a participar activamente en las campañas WET, ha sido trasladado al Observatorio del Teide. Hasta la fecha sólo ha sido utilizado para dichas campañas. No obstante, y debido al interés mostrado en su utilización por varios grupos del IAC, actualmente se encuentra en estudio la posibilidad de ofrecerlo como instrumento de uso común en este telescopio. Este paso requiere la mejora de algunos aspectos técnicos del sistema, para optimizar y hacer más fácil su utilización en el IAC-80. En este tema se encuentra trabajando actualmente el autor junto con personal del Observatorio del Teide. Se espera que, a medio plazo, el TTP pueda contribuir a enriquecer las posibilidades de aprovechamiento del telescopio IAC-80, siendo ofrecido el instrumento a los grupos del IAC que tengan interés en su utilización.

**Más información:**  
Nather R. E., Winget D. E., Clemens J. C. et al., 1990 'The Whole Earth Telescope: a new astronomical instrument', ApJ, 361, 309  
Kepler S. O., 1993 'Whole Earth Telescope data analysis', Baltic Astronomy, vol. 2, 515  
Kleinman S. J., Nather R. E., Phillips T., 1996 'The WET Standard Photometer', PASP, vol 108, 356  
Kawaler S. D., Dahlstrom M., 2000 'White Dwarf Stars', American Scientist, November- December 2000  
Dirección Web del Whole Earth Telescope:  
<http://wet.iitap.iastate.edu>  
Direcciones electrónicas:  
José Miguel González Pérez, [jose@phys.uit.no](mailto:jose@phys.uit.no)  
Steve D. Kawaler, [sdk@iastate.edu](mailto:sdk@iastate.edu)  
Ana Ulla Miguel, [ulla@uvigo.es](mailto:ulla@uvigo.es)



# CANIBALISMO GALÁCTICO

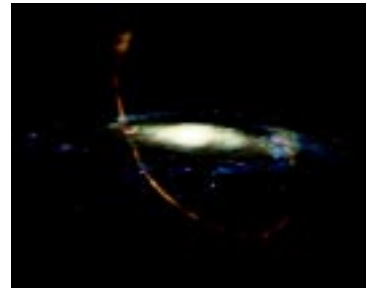
**D**avid Martínez, Antonio Aparicio y Ricardo Carrera, del Grupo de Poblaciones Estelares en Galaxias del IAC, y María Ángeles Gómez Flechoso, de la Universidad de Ginebra, han descubierto lo que se considera la prueba observacional más sólida hasta la fecha de la destrucción de una galaxia enana en las inmediaciones de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea.

La teoría sobre la formación de las galaxias que goza de mayor aceptación en la actualidad implica que las galaxias enanas fueron las primeras en formarse en el Universo. Posteriormente, muchas de ellas se aglutinaron entre sí para formar galaxias mayores o, simplemente, fueron progresivamente “digeridas” por grandes galaxias que fueron creciendo de esta manera. Estos procesos implican la destrucción de las galaxias enanas como tales y se han observado directa o indirectamente en sistemas lejanos.

Se pensaba que nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, participaba también de este mecanismo; es decir, que como galaxia masiva que es, había adquirido buena parte del material que la compone a base de “engullir” galaxias más pequeñas. En 1994 se descubrió una nueva galaxia enana, la galaxia de Sagitario, muy próxi-

ma a la Vía Láctea y situada justo en la región diametralmente opuesta a la que ocupamos nosotros. Este satélite de la Vía Láctea es la galaxia más cercana conocida, encontrándose en el momento actual dentro de los límites externos más difusos de la Vía Láctea, a sólo 15 kiloparsec (kpc) del centro de ésta (1 kpc equivale a 3.262 años-luz), orbitando alrededor de nuestra galaxia.

Desde un primer momento se pensó que la galaxia de Sagitario debería encontrarse en un avanzado estado de destrucción y que gran parte de su material original debería formar ya parte de la Vía Láctea. Se estaba ante la posibilidad del estudio directo del proceso de destrucción de una galaxia enana (Sagitario), “devorada” por una gran galaxia (la Vía Láctea), y por tanto ante la oportunidad del estudio detallado de un caso que daría información de primera mano sobre el mecanismo de formación de las grandes galaxias. De ser así, debería ser posible encontrar estrellas que antiguamente formaban parte de la galaxia enana y que ahora estarían dispersas a lo largo de toda su órbita, formando como dos corrientes que rodearían a la Vía Láctea. El problema es que estas corrientes son extremadamente difusas; tanto que pueden resultar completamente indistinguibles inclu-



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

**INVESTIGADORES DEL IAC Y DE LA UNIVERSIDAD DE GINEBRA ENCUENTRAN LOS RESTOS DE SAGITARIO, UNA GALAXIA ENANA “DEVORADA” POR LA VÍA LÁCTEA.**

**LOS RESULTADOS DE ESTE ESTUDIO SE PUBLICARON EL PASADO 10 DE MARZO, EN LA REVISTA ESPECIALIZADA *ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS*.**



Más información:

[http://www.iac.es/proyect/  
poblestelares](http://www.iac.es/proyect/poblestelares)

El telescopio "Isaac Newton" (INT) pertenece al Isaac Newton Group of Telescopes (ING), del Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC), del Reino Unido.

*Imagen de la Vía Láctea:  
©2001 Axel Mellinger  
Composición: Gabriel Pérez  
(SMM/IAC)*



so a poca distancia del centro de Sagitario.

### Los "escombros" de Sagitario

En 1998, investigadores de la Universidad de Michigan encontraron los restos evidentes de una de las corrientes, la que se extiende hacia el Sureste, y que pudieron trazar hasta 34° del centro de Sagitario. Los modelos teóricos predecían la presencia de otra corriente simétrica, la que se extiende hacia el Noroeste, que incluso podría ser tan extensa que envolviera completamente a nuestra galaxia. Sin embargo, esta corriente sería mucho más difícil de identificar, pues atravesaría el disco de la Vía Láctea y se encontraría oculta tras el centro de nuestra galaxia.

Los investigadores del IAC, apoyados por los indicios proporcionados por sus modelos dinámicos de Sagitario y en algunos resultados preliminares del mapa del cielo que está elaborando el equipo internacional del "Sloan Digital Sky

Survey", han podido identificar por primera vez un exceso de estrellas jóvenes perteneciente a un sistema estelar situado a 56 kpc del centro de la Vía Láctea usando el Telescopio "Isaac Newton", de 2,5 m de diámetro, instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Su situación en el firmamento indica que probablemente se trata de un escombros perteneciente a la corriente Noroeste de Sagitario, situado a 60° de su centro, lo que supone unos 65 kpc, si se mide linealmente sobre la órbita de Sagitario. Éste es el resto de galaxia enana más alejado del centro de su progenitora nunca detectado y esta observación confirma que la galaxia de Sagitario forma un arco completo que envuelve a nuestra galaxia, tal como predecían los modelos teóricos.

Este descubrimiento, publicado el pasado 10 de marzo, en la revista especializada *Astrophysical Journal Letters*, proporciona una prueba observacional directa prácticamente incontrovertible no sólo de que Sagitario se encuentra en una fase muy avanzada de su destrucción sino, lo que es más importante, de que el proceso que podríamos llamar de "canibalismo" ha desempeñado y sigue desempeñando un papel relevante en la formación de la Vía Láctea. Los astrónomos del IAC continúan la búsqueda de nuevos escombros de Sagitario a lo largo del firmamento para mejorar los modelos dinámicos de su destrucción y comprender qué papel tiene este tipo de procesos en la formación de la Vía Láctea.



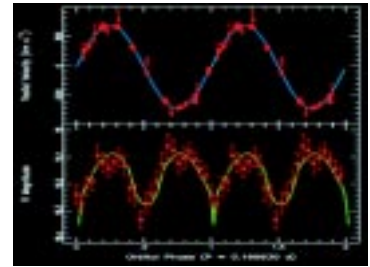
# AGUJERO NEGRO

Un equipo internacional formado por astrónomos españoles, estadounidenses y británicos, utilizando el telescopio MMT (*Multiple Mirror Telescope*), de 6,5 m, del Observatorio Mount Hopkins, en Arizona (EEUU), el telescopio IAC-80, del Observatorio del Teide (Tenerife), y el telescopio "William Herschel" (WHT), de 4,2 m, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), han descubierto un agujero negro ("XTE J1118+480"), el primero encontrado hasta la fecha en el halo galáctico, a miles de años luz por encima del plano de la Vía Láctea. Las observaciones coordinadas llevadas a cabo por este equipo desde Arizona y desde los Observatorios del IAC son las más detalladas obtenidas hasta la fecha de este objeto y han hecho posible medir su masa con gran precisión. El descubrimiento se publicó el 20 de julio en la revista especializada *Astrophysical Journal Letters*.

A lo largo de dos meses de observaciones realizadas a finales del año pasado, se puso de manifiesto que el objeto descubierto debía ser un agujero negro al menos seis veces más masivo que nuestro Sol, sólo comparable con V404 Cygni, hasta ahora el agujero negro mejor definido y que fue descubierto en 1992 con el WHT, desde el Observatorio

del Roque de los Muchachos, por el astrofísico del IAC Jorge Casares y sus colaboradores. El nuevo agujero negro se encuentra aproximadamente a 6.000 años luz de distancia, a 62 grados por encima del plano de la Vía Láctea. Este hecho le confiere un gran interés, pues apenas existe medio interestelar en la línea de observación, lo que permite a los astrónomos estudiarlo con un detalle imposible en otros objetos de su misma clase. Su presencia se delata por el efecto que provoca en el movimiento de una estrella normal, más pequeña que nuestro Sol, que orbita a su alrededor y que lentamente va transfiriendo masa al agujero negro. El período de su órbita es corto, sólo de 4,1 horas, lo que significa que, en términos astronómicos, este sistema binario se acerca al final de su vida "activa".

"Hasta ahora—explica **Jorge Casares**, astrofísico del IAC y miembro del equipo que ha hecho el descubrimiento—, todos los agujeros negros estudiados se encuentran, como el Sol, en el plano de nuestra galaxia. En cambio, el nuevo agujero negro está unas 10 veces por encima de este plano, lo que tiene implicaciones importantes sobre su origen y su evolución. Podría ser que el objeto se hubiese formado en el halo de la galaxia y que, por tanto, sea miembro de una población hasta ahora desconocida de agu-



Valores de velocidad radial medidos para XTE J1118+480 (panel superior) y curva de luz del objeto en la banda R junto con los mejores ajustes. De la combinación de ambos se deduce la masa del agujero negro. Imágenes del artículo, cortesía de Mark Wagner.

DESCUBIERTO EL PRIMER AGUJERO NEGRO EN EL HALO DE NUESTRA GALAXIA.

UN EQUIPO INTERNACIONAL DE ASTRÓNOMOS, ENTRE LOS QUE SE ENCUENTRAN INVESTIGADORES DEL IAC, DETECTAN POR PRIMERA VEZ UN AGUJERO NEGRO A MILES DE AÑOS LUZ POR ENCIMA DEL PLANO DE LA VÍA LÁCTEA.

EL DESCUBRIMIENTO SE PUBLICÓ EN JULIO EN LA REVISTA ESPECIALIZADA *ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS*.



*Telescopio IAC-80, instalado en el Observatorio del Teide. Con este telescopio se obtuvieron las curvas de luz del agujero negro XTE J1118+480”.*

Enlace a la página web del MMT:  
<http://sculptor.as.arizona.edu/foltz/www/mmt.html>

Enlace a la página web de Física y Astronomía en Southampton:  
<http://www.astro.soton.ac.uk/>

jeros negros. Pero también podría ser que este agujero negro se formara en el plano galáctico y que, por algún motivo, sufrió un impulso que lo proyectó a la altura en que ahora lo detectamos. Son hipótesis que se pueden comprobar haciendo un estudio detallado de la metalicidad de la estrella que gira alrededor del agujero negro y que pretendemos realizar en breve”.

### Espectros y curvas de luz

El sistema fue observado en rayos X hace un año por el satélite *Rossi X-ray Timing Explorer*, pues esta radiación es la que se produce cuando el gas cae desde la estrella normal al agujero negro. El gas cercano al agujero negro se calienta entonces por el efecto de la fricción y la gravedad, alcanzando temperaturas de millones de grados, y emite esa energía térmica en forma de rayos X. Pero, una vez que se apaga la emisión en rayos X, la estrella normal se hace visible, ofreciendo así la oportunidad de medir la masa del agujero negro. Dado que el sistema es ahora débil (más de 160.000 veces más débil de lo que debería ser para poder ser visible al ojo humano), fue necesario utilizar grandes telescopios como el MMT, en Arizona, y el WHT, del *Isaac Newton Group*, en La Palma, para obtener el número suficiente de espectros ópticos en una órbita completa (4,1 horas) y así poder medir el movimiento de la estrella alrededor del agujero negro.

Con el telescopio IAC-80, del Observatorio del Teide, se obtuvieron curvas de luz detalladas que han permitido medir la distorsión geométrica de la estrella normal en el intenso campo gravitatorio del agujero negro. Estas observaciones fueron cruciales para conocer, gracias a un código de ordenador desarrollado por el investigador del IAC **Tariq Shahbaz**, el ángulo de inclinación del sistema (es decir, su orientación con respecto a nuestra línea de visión), dando como resultado un cálculo preciso de la masa del agujero negro, que es entre 6 y 7,7 veces la masa de nuestro Sol.

El equipo de científicos que ha llevado a cabo la investigación está compuesto por **Jorge Casares** y **Tariq Shahbaz**, del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC); **Phil Charles**, del Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Southampton (Reino Unido); **Mark Wagner**, del Observatorio del Gran Telescopio Binocular y del Observatorio Steward, de la Universidad de Arizona (EEUU); **Craig B. Foltz**, Director del MMT de la Universidad de Arizona/*Smithsonian Institution* (EEUU); y **Summer Starrfield**, de la Universidad Estatal de Arizona (EEUU).



# PLANETA DEVORADO

**E**n los últimos seis años se han descubierto al menos sesenta estrellas que tienen planetas gigantes a su alrededor. Algunas de estas estrellas cuentan incluso con más de un planeta y, en muchos casos, tan cerca de su estrella como Mercurio lo está del Sol. La formación de estos planetas en órbitas tan cercanas no puede ser explicada por las actuales teorías de sistemas planetarios, las cuales predicen que los planetas gigantes nacen a distancias mucho mayores que las observadas y que, como consecuencia de fenómenos aún no bien entendidos, estos planetas han podido emigrar desde esas posiciones a órbitas más internas.

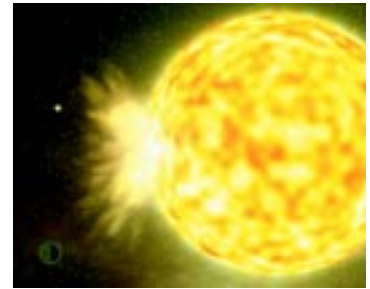
Los investigadores del IAC **Garik Israelian** y **Rafael Rebolo** (Profesor del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC), en colaboración con **Nuno Santos** y **Michel Mayor**, del Observatorio de Ginebra (Suiza), publicaron el pasado 10 de mayo, en la revista *Nature*, la detección de un alto contenido del isótopo litio-6 en HD 82943, una estrella de tipo solar en la constelación de la Hidra donde recientemente se ha descubierto un sistema planetario formado al menos por dos planetas similares a Júpiter.

Este isótopo de litio no existe en estrellas con composición química y edad similar al Sol,

ya que la cantidad de este isótopo con la que inicialmente se forma una estrella resulta muy rápidamente destruido por reacciones nucleares en los interiores durante sus primeras etapas evolutivas. Sin embargo, el isótopo de litio-6 se preserva en los planetas gigantes y enanas marrones de baja masa en cuyos interiores no se alcanza la temperatura necesaria para que estas reacciones tengan lugar.

“En el IAC -explica **Rafael Rebolo**- llevamos años investigando las propiedades de estos isótopos, que han resultado ser muy útiles para distinguir y caracterizar a las enanas marrones. En este nuevo trabajo, los isótopos de litio se utilizan por primera vez para investigar los posibles fenómenos de migración planetaria”.

La proporción encontrada de litio-6 (con tres protones y tres neutrones en su núcleo atómico) con respecto a la de litio-7 (con tres protones y cuatro neutrones en su núcleo atómico), similar a la contenida en los meteoritos de nuestro sistema solar, sugiere que el elemento detectado en la estrella proviene, muy probablemente, de uno o más planetas que podrían haber caído sobre la misma como consecuencia de interacciones gravitatorias con algún otro planeta del sistema o con material protoplanetario. A partir de la cantidad de

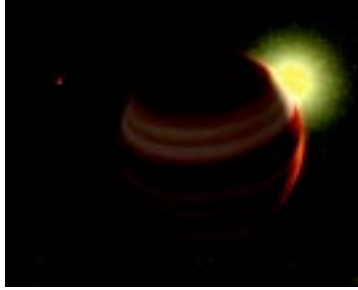


*Simulación de una estrella absorbiendo a su planeta.  
Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).*

HUELLAS DE UN PLANETA DEVORADO POR SU ESTRELLA.

INVESTIGADORES DEL IAC Y DEL OBSERVATORIO DE GINEBRA ENCUENTRAN PRUEBAS DE QUE LA ESTRELLA HD 82943, CON DOS PLANETAS COMO JÚPITER A SU ALREDEDOR, DEBIÓ DE TENER AL MENOS OTRO PLANETA QUE PROBABLEMENTE FUE ABSORBIDO POR ELLA.

LA REVISTA *NATURE* PUBLICÓ ESTOS RESULTADOS EL 10 DE MAYO.



*Simulación artística de un planeta  
con su estrella al fondo.  
Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).*

isótopos de litio que se ha medido, los científicos han podido establecer aproximadamente las características del planeta que se precipitó sobre la estrella. Se podría haber tratado de un planeta gaseoso con 2 ó 3 veces la masa de Júpiter y una composición química similar a éste o, alternativamente, un planeta de tipo terrestre que tuviese una composición química similar a la de los meteoritos de nuestro sistema solar.

“Es la primera vez -subraya **Rebolo**- que se encuentra una evidencia tan directa de un fenómeno semejante, aunque desde hace unos años se viene hablando de que algunos de los sistemas planetarios extrasolares parecen tener planetas en órbitas que no pueden ser estables, lo que podría conducir tanto a la caída como a la expulsión de planetas”.

“La caída de un planeta -o quizás de más de uno (aún no podemos decidir al respecto)- en el pasado hacia esta estrella HD 82943 debió de suponer un fenómeno impresionante. Para hacernos una idea, imaginemos al cometa Shoemaker-Levy 9 impactando en Júpiter y multipliquemos la energía de aquel impacto por un factor de al menos cien mil millones”, explica **Garik Israelian**.

Las observaciones fueron realizadas con uno de los nuevos telescopios de 8m VLT, del European Southern Observatory, en Paranal (Chile), dado que la estrella se observa mejor en el Hemisferio Sur. El isótopo de litio-6 hasta ahora no se había detectado fiablemente en nin-

guna estrella de composición química y características similares a las del Sol. Los investigadores descartan otras posibles explicaciones alternativas al fenómeno observado, como por ejemplo que la estrella haya podido producir por sí misma la cantidad de litio-6 que se observa en ella. “En el futuro nos gustaría poder estudiar la composición química de otras estrellas con planetas y contribuir a construir una teoría general para comprender mejor la formación y evolución de cualquier sistema planetario, incluido el nuestro”, concluye **Israelian**.

*Título del artículo: “Evidence for planet engulfment by the star HD82943”, por G. Israelian, N.C. Santos, M. Mayor y R. Rebolo.*

Enlace de interés:  
[http://www.wso.org/outreach/  
press-rel/](http://www.wso.org/outreach/press-rel/)





# ENTREGA DE LA OGS

**E**n cumplimiento del acuerdo firmado con la Agencia Europea del Espacio (ESA), el IAC presentó el 1 de marzo, en la sede de ESA-ESTEC (*ESA Science and Technology Centre*), los resultados del diseño, integración y pruebas de la Estación Óptica Terrestre (más conocida por OGS, siglas de *Optical Ground Station*), instalada en el Observatorio del Teide, en Tenerife, para las comunicaciones ópticas con satélites. La presentación corrió a cargo de **Marcos Reyes**, responsable técnico por parte del IAC del proyecto OGS, y **Carlos Martínez Roger**, Coordinador del Área de Instrumentación del IAC. Asistieron a esta presentación el equipo del proyecto ARTEMIS -el satélite de comunicaciones más avanzado de la ESA-, así como personal de otras instituciones relacionadas con

las comunicaciones por láser en el espacio.

## Proyecto SILEX

En el ámbito del programa *Data Relay and Technology Mission* (DRMT), la ESA ha impulsado el desarrollo de una primera generación experimental de terminales para comunicaciones ópticas entre satélites. El primero de estos sistemas es el proyecto denominado SILEX, en el que se utilizará un enlace experimental entre ARTEMIS, situado en órbita geoestacionaria (a unos 36.000 km de la superficie de la Tierra), y el satélite francés SPOT IV, situado en órbita baja (a unos 700 km), para transmitir datos de observación de nuestro planeta que serán utilizados en la búsqueda de nuevos recursos naturales, en el estudio del medio ambiente y control de contaminación, en la preven-



*La Estación Óptica Terrestre (OGS), instalada en el Observatorio del Teide. Autor: Miguel Briganti (SMM/IAC).*

PRESENTADOS LOS RESULTADOS DEL DISEÑO, INTEGRACIÓN Y PRUEBAS DE LA ESTACIÓN ÓPTICA TERRESTRE (OGS), INSTALADA EN EL OBSERVATORIO DEL TEIDE.

EL IAC TAMBIÉN NEGOCIARÁ CON LA AGENCIA EUROPEA DEL ESPACIO EL CONTRATO DE OPERACIONES DE LA OGS CON SATÉLITES.



*Esquema de funcionamiento del Experimento SILEX. Diseño gráfico: Gotzon Cañada © IAC.*



*Interior del láser para comunicaciones: en azul se ve el haz de entrada del láser de argón, bombeando la barra de titanio-zafiro (fluorescencia roja). El haz de salida es invisible (infrarrojo)*  
© IAC.

Más información e ilustraciones:

<http://www.iac.es/gabinete/noticias/2000/jul14.htm>  
("Mensajes de luz")

<http://www.iac.es/gabinete/oteide/ogs/ogs.html> (página del IAC sobre la OGS)

[http://spdex.estec.esa.nl/content/doc/b8/19640\\_.htm](http://spdex.estec.esa.nl/content/doc/b8/19640_.htm) (página de la ESA sobre Laser-Link Experiment)

ción y control de catástrofes y en cartografía.

Para realizar pruebas en órbita de estos y de futuros sistemas de comunicación óptica, la ESA y el IAC firmaron en abril de 1994 un acuerdo para la construcción, en el Observatorio del Teide, de la Estación Óptica Terrestre (OGS), que consiste básicamente en un telescopio convencional de 1 m de diámetro, junto con la instrumentación adecuada para la transmisión y recepción de comunicaciones ópticas. Este telescopio también será utilizado con fines astronómicos y para la observación de basura espacial.

Con este fin, la OGS establecerá un enlace bidireccional con ARTEMIS; deberá realizar los mismos procedimientos de apuntado, adquisición y seguimiento que un terminal de un satélite en órbita baja, si bien la presencia de la atmósfera plantea problemas específicos que afectan a la transmisión de señales ópticas y que repercuten por tanto en el diseño de la instrumentación. Estas tareas, junto con el control global de los instrumentos, son llevadas a cabo por el denominado Equipo de Control y Test de la OGS, desarrollado en el IAC. Sus funciones se pueden resumir así: determinar la posición del satélite y controlar el apuntado del telescopio; detectar la señal de comunicaciones del satélite y realizar su seguimiento compensando en tiempo real la turbulencia atmosférica; controlar los láseres para la transmisión de datos al satélite; y analizar los

datos recibidos realizando diversas medidas sobre ellos que permitan determinar las prestaciones de las comunicaciones ópticas en el espacio.

La OGS supone una aplicación de técnicas astronómicas fuera del ámbito puramente científico, en un campo en el que, en definitiva, el beneficio se materializará en nuevas tecnologías de la comunicación.

En la actualidad, la ESA está llevando a cabo un estudio, en el que también participa el IAC, sobre los desarrollos internacionales (ESA, NASA y Japón) en comunicaciones ópticas en el espacio, con el propósito de establecer los criterios para la creación de una red internacional de OGSs y determinar las necesidades de las mismas para comunicarse mediante láseres con satélites en diversas órbitas y sondas en el espacio profundo (Marte y Júpiter).



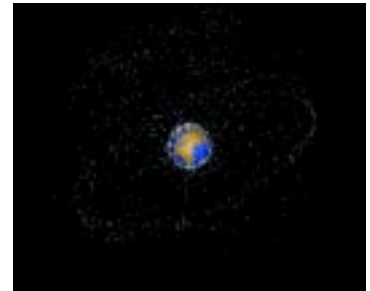
# BASURA ESPACIAL

**C**omo resultado de las dos primeras campañas de observación de la llamada “basura espacial” realizadas por el IAC, se han detectado, durante los meses de enero y febrero, un total de 1.500 objetos, de los cuales alrededor de 200 no estaban catalogados. Sus tamaños oscilan entre los 15 y los 100 cm, y se ha llegado a detectar un objeto de tan sólo 1 cm de diámetro.

Las campañas de observación se han llevado a cabo con el telescopio de 1 m de diámetro de la Estación Óptica Terrestre (OGS), instalada en el Ob-

servatorio del Teide (Tenerife) y perteneciente a la Agencia Europea del Espacio (ESA). Estos primeros resultados son fruto del contrato que la ESA ha firmado con el Departamento de Astrofísica de la Universidad de Berna (Suiza) y el IAC, siendo la principal responsabilidad de este Instituto la operación y toma de datos desde la OGS.

Según **Miquel Serra Ricart**, Administrador del Observatorio del Teide y responsable del proyecto del IAC, se han obtenido unos resultados excelentes debido a las buenas condiciones meteorológicas



*Esquema de la posición de los principales fragmentos de basura espacial alrededor de nuestro planeta. Imagen tomada de ESA.*



*Esquema de la población de basura espacial en LEO. Imagen tomada de NASDA.*

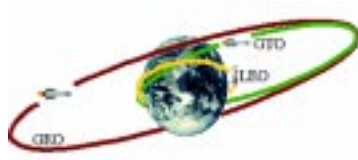
**PRIMEROS RESULTADOS DEL PROYECTO DE OBSERVACIÓN DE BASURA ESPACIAL.**

**EN SÓLO DOS MESES DE OBSERVACIÓN SE HAN DETECTADO MÁS DE 200 NUEVOS FRAGMENTOS CON TAMAÑOS SUPERIORES A 15 cm.**

**SEGÚN LAS PRINCIPALES AGENCIAS ESPACIALES, LA ÚNICA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE LA BASURA ESPACIAL ES LA NO PROLIFERACIÓN DE RESIDUOS.**



Detalle de objetos geoestacionarios en una imagen típica.



Esquema (no a escala) de las órbitas más utilizadas: GEO, GTO y LEO

Más información e imágenes:

<http://www.iac.es/gabinete/oteide/ogs/ogs.html>

<http://www.iac.es/telescopes/ogs/sd.html>

<http://www.iac.es/telescopes/ogs/obs1.html>

(el 90% de noches estuvo despejado) y a la calidad del cielo del Observatorio del Teide.

### Riesgos de colisión

Se denomina “basura espacial” (en inglés, *space debris*) a cualquier objeto artificial en órbita alrededor de la Tierra que ya no esté operativo. Esta basura está formada por los satélites o cohetes fuera de uso, el material no operativo liberado por operaciones espaciales y los fragmentos generados por satélites o cohetes debido a explosiones o colisiones. La mayor parte de la basura espacial se sitúa en las bandas de altitud más útiles, es decir, en órbita baja (hasta una altura de unos 2.000 km sobre la superficie terrestre) y en órbita geoestacionaria (a una altura de 36.000 km).

Se conocen alrededor de 9.000 objetos detectados con radares y telescopios ópticos (sólo alrededor de 700 son satélites operativos) en las distintas órbitas terrestres. Estos objetos, cuyo tamaño está por encima de los 40 cm, sólo representan un peligro moderado para las misiones espaciales (satélites y humanos), pero se estima que pueden existir más de 150.000 fragmentos con tamaños entre 1 y 20 cm que, por no estar localizados, sí pueden producir graves desperfectos en caso de colisión con cualquier nave en uso.

La mayor preocupación está en la órbita geoestacionaria, donde están situados alrededor de 300 satélites (en esa órbita se encuentran los saté-

lites españoles Hispasat). Las últimas observaciones realizadas desde la OGS estiman que pueden existir más de 3.000 objetos con tamaños entre 15 y 100 cm.

Actualmente la limpieza de las órbitas es tanto técnica como económicamente imposible. La única solución factible, adoptada por la mayoría de las agencias espaciales, es evitar y reducir la producción de basura espacial. De ahí que como principales medidas se evitarán explosiones en el espacio y se intentará la reentrada controlada en la atmósfera terrestre de los satélites al final de sus vidas, sobre todo en las órbitas más pobladas.

Estos resultados fueron presentados por la ESA en el tercer congreso europeo de basura espacial, organizado por la ESA y celebrado, del 19 al 21 de marzo, en Darmstadt (Alemania). En él participaron más de 200 expertos mundiales de 18 países representando, entre otras, a las agencias espaciales americana, rusa, japonesa y china.



# LA LEY DEL CIELO

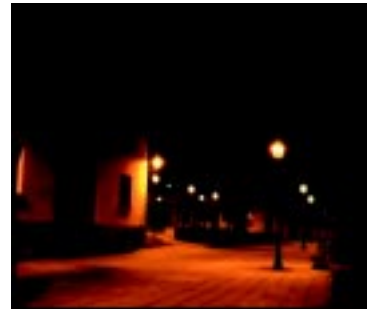
**E**l Director General de Calidad Ambiental del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat, **Josep Maria Pelegrí**, junto con el Subdirector, **Oriol Puig**, y el Profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña, **Ramón San Martín**, visitaron el pasado 16 de marzo la sede central del IAC, en La Laguna, con el fin de informarse sobre la aplicación de la llamada "Ley del Cielo", una iniciativa que desean exportar, con algunas mejoras, a Cataluña. Al día siguiente visitaron la isla de La Palma y el Observatorio del Roque de los Muchachos.

Oficialmente *Ley de Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del IAC*, la Ley del Cielo tiene como objetivo minimizar las posibles contaminaciones lumínicas,

radioeléctrica y atmosférica, así como el sobrevuelo de aeronaves en las islas de La Palma y Tenerife, donde están ubicados los Observatorios del Roque de los Muchachos y del Teide, respectivamente. Aprobada en 1988, está en vigor desde 1992, el mismo año que se creó la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC), que controla y evalúa las actividades que puedan influir negativamente en la observación astronómica y cuya aplicación con fines medioambientales consultaron los miembros del Departamento de Medio Ambiente.

## Una ley "estrella de referencia"

El exceso de luz artificial aumenta el brillo de fondo del cie-



*Plaza de San Andrés en Barlovento tras la adaptación de su alumbrado en 1992. © OTPC (IAC).*

EL DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE DE LA GENERALITAT DE CATALUÑA, INTERESADO EN "COPIAR", MEJORÁNDOLA, LA LEY DEL CIELO CANARIA.

SUS REPRESENTANTES VISITARON LA PALMA, DESPUÉS DE ENTREVISTARSE CON EL DIRECTOR DEL IAC Y LOS RESPONSABLES DE SU OFICINA TÉCNICA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO.



*Los cuatro factores contaminantes recogidos en la Ley del Cielo. Composición: Gabriel Pérez (SMM/IAC).*



*En el centro, el Director de la Dirección General de Calidad Ambiental del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat, Josep Maria Pelegrí, junto al Subdirector, Oriol Puig (a su derecha), y el Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Cataluña, Ramón San Martín (a su izquierda), en su visita al Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), para informarse sobre la aplicación de la Ley del Cielo canaria. © IAC*

lo disminuyendo el contraste con los objetos que se quieren estudiar, normalmente más luminosos. Gracias a la restricción lumínica en cantidad e intensidad, así como a una mejor orientación de la luz hacia el suelo, este tipo de contaminación ha disminuido sustancialmente y se ha producido un ahorro energético significativo.

La Ley también regula la instalación y funcionamiento de emisoras y se realizan medidas de fondo de radiofrecuencia en los observatorios de forma periódica para evitar que la emisión de frecuencias radioeléctricas pueda repercutir en la precisión de los instrumentos de observación.

Para preservar la calidad del cielo de la contaminación atmosférica, esta ley impide la presencia de industrias contaminantes a partir de los 1.500 metros de altitud. Asimismo, el espacio aéreo de los Obser-

vatorios del IAC está declarado zona de protección ecológica, por lo que no pueden ser sobrevolados por ningún aparato.

*“La ley canaria –comentó Josep Maria Pelegrí– tiene un aspecto científico que supera al de la ley catalana. Esta última presenta un ámbito de actuación muy concreto consistente en respetar el recurso natural de la oscuridad para proteger la biodiversidad -fauna y flora-; evitar que la excesiva iluminación conlleve dificultades en la observación del cielo, punto en que coincide con la canaria, y obtener un ahorro energético. Nosotros no contemplamos la radiación radioeléctrica y la aviación”. La tramitación de esta propuesta de ley catalana ha avanzado con tal celeridad, que ya ha sido aprobada, gracias al interés social promovido en parte por las agrupaciones de astrónomos aficionados locales.*



*El alumbrado ornamental de edificios y monumentos debe permanecer apagado desde las 12h. de la noche. Composición: Gabriel Pérez (SMM/IAC).*

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



*“En la normativa prevista se dividirá el territorio catalán en cuatro categorías con diferentes niveles de exigencia de protección. Esto permitirá una mayor pluralidad que en Tenerife, donde sólo se divide en zonas protegidas y no protegidas”, explicó Oriol Puig en una entrevista previa a la aprobación de la ley catalana. “Cataluña –añadió- sería pionera en impulsar una ley de tipo general para preservar el medioambiente, no sólo la observación astronómica, pero el espíritu es el de la ley de Canarias”.*

Según Ramón San Martín, coautor de un estudio sobre la contaminación lumínica en el territorio catalán, *“en esta Comunidad existe una contaminación lumínica demasiado fuerte y que, además, no está distribuida equitativamente, sino que hay zonas muy contaminadas y zonas vírgenes en las que, sin embargo, se observa una tendencia fuerte y acelerada a que*

*se produzcan focos de contaminación”.*

Tras su visita al Instituto de Astrofísica, los representantes catalanes afirmaron estar muy impresionados, especialmente por lo avanzado de los estudios técnicos sobre iluminación llevados a cabo por la OTPC, así como por los informes y la voluntad de asesoramiento en proyectos nuevos que impliquen iluminación exterior.

Es frecuente que organismos españoles y extranjeros se interesen por la Ley del Cielo de Canarias, que es “una estrella de referencia para todos los que trabajamos en esta área medioambiental”, subrayó el profesor San Martín.

Actualmente, tras la reciente aprobación de la Ley contra la Contaminación Lumínica de Catalunya, el pasado 16 de mayo, las comunidades de Baleares y Andalucía han iniciado gestiones en el mismo sentido.



*Ejemplos de lámparas en alumbrado vial prohibidas (a la izquierda) y autorizadas (a la derecha), según la Ley del Cielo. Composición: Gabriel Pérez (SMM/IAC).*



*De izquierda a derecha: Francisco J. Díaz Castro (Jefe de la OTPC), Juan Carlos Pérez Arencibia (Administrador del ORM), Oriol Puig (Subdirector de la Dirección General de Calidad Ambiental del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat), Josep Maria Pelegrí (Director de la Dirección General de Calidad Ambiental del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat) y Ramón San Martín (Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Cataluña), en su visita al Observatorio del Roque de los Muchachos para informarse sobre la aplicación de la Ley del Cielo canaria. © IAC*



*Ejemplar de pardela, una especie amenazada por el exceso de luz artificial.*



Linda Sparke



# LINDA SPARKE



Universidad de Wisconsin-Madison (Estados Unidos)

Una galaxia consiste en un conglomerado de objetos celestes, principalmente estrellas junto a gas y polvo interestelares. Su estudio las divide en espirales, elípticas, irregulares y otros subgrupos, como el de las galaxias espirales barradas, con un núcleo de estrellas en forma de barra. Todavía no hay consenso sobre si la Vía Láctea tiene esta morfología. Imágenes de alta resolución en el óptico y en el infrarrojo cercano del centro de galaxias barradas han demostrado la existencia de barras secundarias, de menor tamaño, enmarcadas en la principal. La Dra. Linda Sparke, de la Universidad de Wisconsin-Madison (Estados Unidos), abordó estas cuestiones en un coloquio en el IAC sobre “Galaxias de barra múltiple y asimétricas”, el pasado 18 de enero. También participó en la reunión científica sobre “Fusiones de galaxias” organizada unos días después en el Instituto por la Asociación Europea para la Investigación en Astronomía (EARA). Sparke, licenciada en Matemáticas y doctora en Astronomía, combina actualmente la investigación en galaxias con el trabajo docente y la divulgación científica.

## GALAXIAS BARRADAS El caso de la Vía Láctea

## **G**ALAXIAS BARRADAS El caso de la Vía Láctea

## ENTREVISTA CON LINDA SPARKE



**Siendo matemática, ¿qué le indujo a dedicarse a la Astrofísica y, específicamente, a trabajar en galaxias?**

A mí me gustaba la Física. Me interesé por las Matemáticas porque me permitían predecir los resultados de los experimentos físicos sin tenerlos que hacer. Además, siempre quise estudiar Cosmología, conocer cómo se originó el Universo y cómo terminará, pero descubrí que, a pesar de existir muchas teorías, la mayoría no pueden comprobarse. En cambio, lo que me gusta de las galaxias es que puedes observar lo que está pasando, verificar las hipótesis.

**¿Qué estudia en las galaxias?**

Principalmente su dinámica. Analizo la estructura de las galaxias, dónde están la luz, el gas, las estrellas... y el modo en que todo se mueve. Como el movimiento en el Universo es debido prácticamente en su totalidad a la gravedad -otras fuerzas como el electromagnetismo no son relevantes a tan gran escala- y la gravedad a la masa, si se mide el movimiento de manera precisa se puede determinar la masa, gran parte de la cual no está en las estrellas y el gas visibles, sino en la famosa materia oscura, de momento sólo adivinable por sus efectos gravitatorios.

**¿Su trabajo se limita a las galaxias más cercanas?**

Cuanto más lejos vas menos ves. Además, la luz de galaxias cercanas no recorre mucha distancia, así que se obtiene una imagen del Universo actual. Por el contrario, las galaxias lejanas se ven como eran en tiempos pretéritos, esto es útil para estudiar su evolución. Sin embargo, el precio es recibir muy poca luz y que las galaxias se vean muy pequeñas en el cielo, lo que hace imposible un estudio detallado.

**¿Qué opina de la controversia sobre si la Vía Láctea es o no una galaxia barrada?**

Creo que debe serlo ya que los movimientos de gas que se observan no se pueden entender de otro modo. Se han intentado encontrar las estrellas de la barra e incluso ha habido algunas indicaciones de su posible existencia en los trabajos en el infrarrojo cercano realizados por el satélite COBE, el mismo que midió la radiación de fondo de microondas. Para mí, los movimientos del gas son convincentes por ellos mismos, pero hay quien quiere ver las estrellas formando una barra. Y esa gente todavía no está convencida, pero lo estará.

**¿En qué influiría el hecho de que la Vía Láctea fuera una galaxia barrada?**

Afectaría a las interpretaciones del movimiento que se hacen en nuestra galaxia, pero no a la visión en conjunto del Universo. Para los astrónomos es difícil determinar distancias. Con frecuencia, en la Vía Láctea se mide la velocidad y, como se sabe como gira, a partir de ella la distancia. Estos análisis variarían de ser la galaxia barrada y también dependiendo del tipo de barra.

**¿Qué particularidades tiene una barra doble?**

En una barra doble, los ángulos de la posición de ambas barras parecen ser aleatorios. Por esto pensamos que no se mueven al unísono, sino que las estrellas en la barra interior estarían moviéndose a un ritmo y en la barra exterior a otro. Al mismo tiempo, ambas barras girarían, probablemente la interior más rápidamente puesto que todo es más rápido en el interior de la

**“Una de las consecuencias más tristes del fin del comunismo en la Europa del Este es el colapso de la educación en matemáticas y en ciencias”.**

galaxia debido a que, aunque la velocidad sea prácticamente la misma, el recorrido es más corto. La gravedad es una fuerza muy simple para una o dos partículas pero no para millones de estrellas.

**¿Es comparable el movimiento de estrellas en una galaxia con el de moléculas en un gas?**

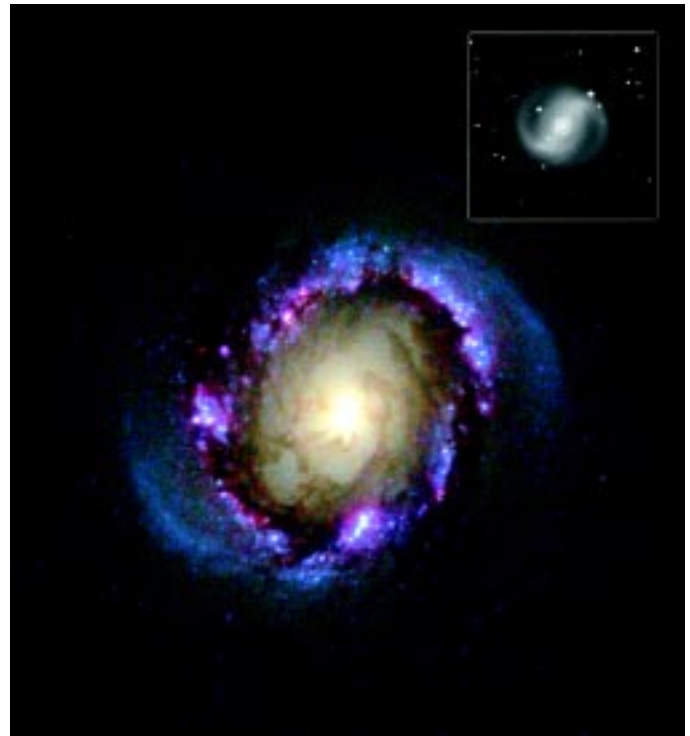
Difieren bastante. En un gas, las moléculas se golpean unas a otras cambiando la dirección de su movimiento. En un sistema gravitacional, con múltiples partículas, no es relevante el acercamiento entre ellas sino la gravedad media generada entre todas.

**¿Qué particularidades tienen las galaxias desplazadas respecto al centro del halo?**

Si la materia oscura, responsable dominante de la gravedad, tiene un centro diferente al de la materia luminosa, constituida por las estrellas y el gas que vemos, la materia luminosa aparecerá asimétrica. Conociendo esto se puede predecir la forma de la asimetría, de las órbitas y, por tanto, del disco y cómo gira y su velocidad. Luego se comparan los cálculos con observaciones, habitualmente en el hidrógeno neutro. Parece que entre un medio y un tercio de las galaxias no son simétricas. Para corroborarlo, se debería hacer un gran muestreo sistemático de galaxias y ver sus formas y qué movimientos tiene el gas.

**¿Cómo evolucionará el ámbito de estudio de las galaxias?**

En un futuro, como gracias a una mejor tecnología se recogerá más luz, se podrán hacer los experimentos actualmente restringidos a galaxias cercanas con galaxias lejanas y determinar los cambios en el movimiento de las galaxias con la edad.



**Recientemente ha escrito un libro sobre galaxias, ¿qué opinión le merece la divulgación de la ciencia que se hace actualmente?**

Creo que la educación de los astrónomos profesionales es excelente. Es más difícil la educación de la gente que quiere saber un poco de ciencia sin dedicarse a ella, en parte por carencia matemática. El nivel de conocimiento científico entre la población universitaria en general, no ya de la gente de la calle, no es tan bueno como debiera. Una de las consecuencias más tristes del fin del comunismo en la Europa del Este es el colapso de la educación en matemáticas y en ciencias ya que antes, para que la gente brillante no pensara en cuestiones sociales, era dirigida hacia la música y la ciencia. En Estados Unidos, las escuelas superiores son famosas por tener estudiantes que saben muy poco de matemáticas y leen y escriben con dificultad. Sin embargo, sí es cierto que muestran los peores casos y muchos de ellos no deberían estudiar en una escuela normal de todos modos.

**¿Qué opina de la participación de la Universidad de Wisconsin en el telescopio SALT en Sudáfrica?**

Es genial. Se trata de un nuevo diseño para un telescopio y, además, lo suficientemente barato. Nos hubiera gustado participar en el GTC, pero económicamente no podíamos. Asimismo, la ubicación del SALT en Sudáfrica es política y socialmente interesante. Las universidades americanas obtienen gran parte de su dinero para la investigación por subvención privada y de fundaciones, fomentadas con facilidades en los impuestos. Los inversores se interesan por Sudáfrica, lo que permitirá tener dinero para el telescopio que quizás no poseeríamos de estar situado en otro lugar.

*La imagen en blanco y negro superior muestra la galaxia de barra doble NGC 4314 fotografiada desde tierra, en el Observatorio McDonald de la Universidad de Texas. Se aprecia la barra mayor y dos brazos espirales externos. En la imagen en color, tomada desde el espacio por el Telescopio Espacial Hubble, se destaca el centro de la misma galaxia. En el interior del anillo de estrellas está la barra menor. Imágenes, cortesía de Peter Erwin (IAC), colaborador de Linda Sparke.*

**ANNIA DOMÈNECH (IAC)**



**Eckart Marsch**

# ECKART MARSCH



Instituto Max-Planck de Aeronomía de Lindau (Alemania)

Las misiones espaciales dedicadas a estudios solares y heliosféricos que están en funcionamiento (como Ulysses y SOHO) han proporcionado en los últimos años importantes y abundantes resultados, a través de medidas *in situ* de partículas y de campos magnéticos y de la teledetección de la atmósfera solar mediante imágenes y espectroscopía. El Prof. Eckart Marsch, del Instituto Max-Planck de Aeronomía de Lindau (Alemania), impartió el 15 de febrero un coloquio en el IAC, bajo el título de “La corona y el viento solares”, en el que comentó estos resultados en relación con los esfuerzos por elaborar modelos numéricos que proporcionen un marco teórico válido para explicar el fenómeno del viento solar. Marsch es autor de la propuesta de la futura misión *Solar Orbiter*, que ha sido seleccionada por la Agencia Europea del Espacio para ser lanzada en torno al año 2010 y que contará con la colaboración del IAC.

## SOLAR ORBITER Una nueva visión del Sol

## SOLAR ORBITER

### Una nueva visión del Sol

## ENTREVISTA CON ECKART MARSCH



¿Cuál ha sido la contribución de las misiones espaciales como SOHO al estudio del Sol, y qué avances supondrá la futura misión *Solar Orbiter* para la Física Solar?

“La misión *Solar Orbiter* tiene dos componentes, una es la física heliosférica, es decir, física del plasma en el espacio, mediciones *in situ* que se realizarán en la región del espacio que abarca su órbita, y la otra es la física solar, en la que, naturalmente, trataremos de escrutar el Sol, ver todos los detalles hasta la escala más pequeña. Esto puede hacerse bien mediante grandes telescopios en tierra, que tienen el inconveniente del *seeing*, o colocando grandes telescopios en el espacio; también podemos acercarnos al Sol, aunque no demasiado dada su elevadísima temperatura y porque emite gran cantidad de luz, de modo que cuanto más nos acerquemos mayor será la carga térmica de la instrumentación que lleve a bordo.

En el caso de *Solar Orbiter* hemos decidido acercarlo a 45 radios solares (0,2 unidades astronómicas), lo que equivale a una quinta parte de la distancia de la Tierra al Sol, en el perihelio. Partiendo de esta distancia aumentaremos la resolución de las observaciones solares en un factor de 20 con respecto a las observaciones actuales de SOHO, dependiendo de la longitud de onda y del tipo de instrumentación. En general, el objetivo fundamental de *Solar Orbiter* es observar el Sol con alta resolución espacial. Al mismo tiempo, y este es el aspecto realmente innovador del proyecto, además de su cercanía al Sol, la sonda corrotará con el Sol. Es decir, el Sol rota con respecto a la Tierra en una órbita de 27 días de rotación sideral; a medida que se traslada en el perihelio, *Solar Orbiter* se moverá en torno al Sol con la misma rotación que la estrella, de modo que prácticamente se mantiene fijo sobre una determinada zona con sólo un pequeño desfase

**“*Solar Orbiter* aumentará la resolución de las observaciones de SOHO en un factor de 20. Pero el aspecto más innovador es que la sonda corrotará con el Sol, observando así sobre un punto fijo la emisión de fotones y el viento solar”.**

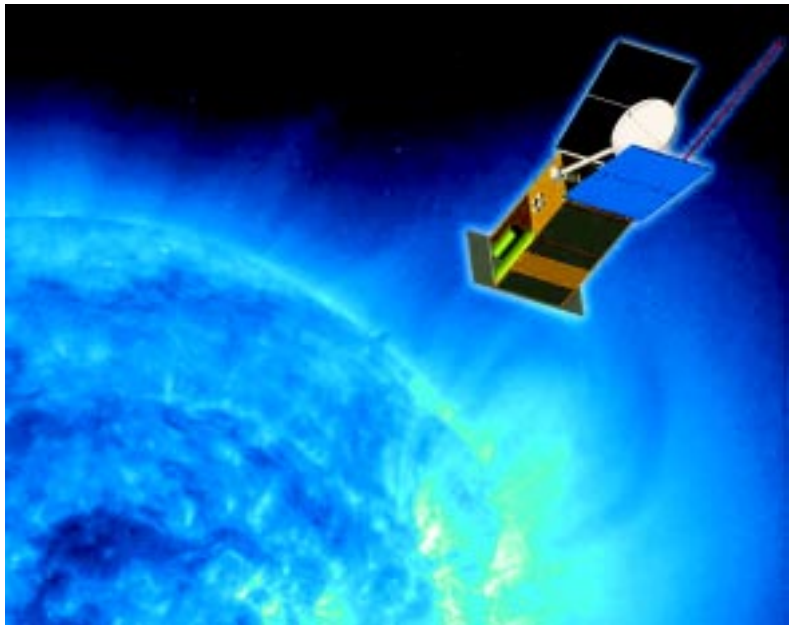
de uno a dos grados, observando en un punto concreto la emisión de la luz, de fotones, al mismo tiempo que observa el llamado viento solar, partículas energéticas que inciden directamente sobre la sonda espacial. Esto permite llevar a cabo una comparación detallada entre las regiones fuente y las medidas *in situ* (plasma, partículas energéticas, etc.). *Solar Orbiter* permitirá llevar a cabo estudios correlativos de una forma nueva, desconocida hasta la fecha. Esto es, en pocas palabras, lo que podrá hacer *Solar Orbiter*.

Hace aproximadamente un cuarto de siglo, lanzamos la misión germano-americana *Helios*, que se situó a una distancia de unos 63 radios solares de nuestra estrella y que permaneció en su órbita durante muchos años. A ella se deben las medidas *in situ* más cercanas que hemos logrado hasta hoy. *Solar Orbiter* llegará más cerca del Sol. Hay, además, una misión americana que será lanzada posiblemente a finales de la presente década, la llamada *Solar Probe*. En este caso, la idea consiste en llevar la sonda hacia el interior del Sol, con un perihelio de cuatro radios solares, y mantenerla a gran velocidad en esa órbita a modo de vuelo rasante. Frente a esta misión, *Solar Orbiter* tiene la gran ventaja de situarse a una mayor distancia del Sol pero rotar paralelamente a él, de modo que tenemos las condiciones ideales para realizar observaciones de teledetección además de mediciones *in situ*.

**¿Qué es el viento solar? ¿Existen varios tipos de viento solar?**

“En pocas palabras, el viento solar no es más que el flujo de hidrógeno ionizado emitido por el Sol. El hidrógeno es el elemento más abundante en el Sol y en general en el Universo. Si ionizamos del hidrógeno obtenemos un protón y un electrón. Ese par de partículas se alejan entonces del Sol a una velocidad típica de entre 250 y 750-800 km por segundo. Es lo que llamamos el viento solar rápido y sabemos que procede de campos magnéticos abiertos en el Sol; pero existen otras regiones, especialmente durante el máximo solar, que están más o menos cerradas magnéticamente y que, a pesar de ello, dejan escapar un tipo de viento solar denominado lento, muy variable en cuanto a tiempo, velocidad y densidad y de propiedades microscópicas. La cuestión fundamental sigue siendo conocer los mecanismos que aceleran el viento solar, qué es lo que impulsa el viento hacia el exterior del Sol hasta convertirlo en un flujo de cien millones de protones por centímetro cuadrado por segundo, es decir, muchos protones, en la órbita de la tierra; por supuesto, la intensidad del flujo aumenta a medida que nos acercamos al Sol.

Esta cuestión queda por responder no sólo acerca del Sol, sino también sobre cualquier otra estrella de tipo solar. Estos objetos tienen también vientos estelares, a veces mucho más violentos que el viento solar, que no deja de ser una suave brisa en comparación con otros vientos estelares. No obstante, de vez en cuando se producen gigantescas tormentas en forma de eyecciones de masa coronal en las que prácticamente toda la corona solar es expulsada al espacio de un solo golpe. La corona vuelve después a estabilizarse, a recargarse de plasma y a emitir de nuevo el viento continuo. En otras estrellas, el viento estelar es mucho más intenso, emitiendo al medio interestelar cantidades gigantescas de masa. Pero el viento solar es el único viento estelar que podemos estudiar en el Sistema Solar y en detalle mediante medidas *in situ*, aunque aún no sabemos qué mecanismos lo impulsan, qué procesos son los responsables del calentamiento de la corona solar, que llega a alcanzar temperaturas de varios millones de grados en comparación con los varios cientos de miles de grados que se pueden encontrar en la fotosfera solar, mucho más fría. La cuestión es averiguar cómo una superficie relativamente más fría puede generar un gas tan caliente que la gravedad no puede contenerlo y escapa al espacio en forma de viento.”



*Imagen artística de Solar Orbiter (Foto: ESA)*

**¿Puede ese viento solar ser uno de los elementos responsables de los efectos que el Sol tiene sobre el entorno terrestre?**

“Últimamente se habla mucho de lo que se denomina *space weather*, algo así como la meteorología espacial. En cierto sentido es comparable a lo que llamaríamos clima o meteorología en la atmósfera terrestre, porque hay viento, hay tormentas (las eyecciones de masa coronal), ... Afortunadamente, ese viento no calienta la superficie terrestre. El campo magnético terrestre hace que esas partículas se desvíen y fluyan alrededor de la Tierra sin dejar que penetren en la atmósfera y lleguen a la superficie. Sólo partículas

## **ENTREVISTA CON ECKART MARSCH**



muy energéticas como los rayos cósmicos y algunas partículas solares energéticas pueden penetrar en la atmósfera. Estas partículas se desvían alrededor de la Tierra, en torno al escudo magnético terrestre, hasta llegar a la llamada ‘cola magnética’ del planeta, fluyen a lo largo de las líneas de campo y luego penetran a través de las regiones polares, generando las auroras boreales. Es decir, existe una relación directa causa-efecto entre la actividad solar en forma de viento solar o tormentas solares y este tipo de fenómenos. El Sol, por tanto, modifica el entorno terrestre. El viento solar no es importante en términos de cambio climático global, pero sí lo es en el sentido de que, junto con las eyecciones de masa coronal, actúa a modo de barrera, por así decirlo, ante partículas energéticas como los rayos cósmicos que, procedentes de nuestra galaxia, llegan hasta la Tierra. Estas partículas, cargadas eléctricamente, son repelidas por el campo magnético terrestre. Su incidencia sobre nuestro planeta está en función del ciclo solar de once años. Por otro lado, estas partículas pueden desencadenar la formación de nubes en la atmósfera: hay estudios que indican la estrecha relación existente entre el flujo de rayos cósmicos, la formación de nubes (algo relevante para el clima terrestre) y la actividad del Sol. Es decir, existen relaciones sutiles, no lineales, entre la actividad solar y otras influencias.

Cabría esperar que si se produjera un cambio brusco de luminosidad en el Sol tuviese un fuerte impacto sobre la Tierra. Sin embargo, de las prolongadas observaciones realizadas con SOHO podemos deducir que la luminosidad en luz integrada del Sol sólo cambia en un 1 por mil a lo largo del ciclo. Los cambios son mucho más bruscos, de muchos órdenes de magnitud, en rayos X y en UV, que destruyen, por ejemplo, la capa de ozono en la atmósfera y cargan eléctricamente sus capas más altas. Pero no hay una relación evidente entre estos fenómenos y el clima de la Tierra. Lo que sí está claro, a mi modo de ver, es que si emitimos CO<sub>2</sub> y otros gases a la atmósfera el resultado es el efecto invernadero. La variabilidad solar a largo plazo podría también modificar el clima, como queda recogido en registros históricos como los que ponen de manifiesto el llamado ‘mínimo de Maunder’, un período extremadamente frío en Europa durante el que no se observaron manchas en el Sol. Pero no conocemos los mecanismos que explican la relación entre una cosa y la otra.”

### **¿Cuál es el papel del IAC en *Solar Orbiter*?**

“Esperamos establecer una colaboración en el campo de la polarimetría en líneas espectrales, donde el IAC tiene una larga experiencia obtenida con los telescopios instalados en sus observatorios; además, mi instituto colabora ya con el grupo de Física Solar del IAC, con lo cual espero que continuemos haciéndolo en este proyecto. *Solar Orbiter* portará cuatro instrumentos ópticos, uno de ellos es de alta resolución en líneas espectrales para observar la fotosfera solar, realizar mediciones del campo magnético y hacer polarimetría. Es precisamente aquí donde yo veo buenas posibilidades de aumentar la sensibilidad. Por supuesto, faltan aún algunos años, estamos hablando de 2008-2013. Espero que el proceso pueda acelerarse, pero no creo que salga nada antes de 2008, puesto que aún debe producirse el anuncio de la misión por parte de la ESA, luego se abre una convocatoria de participación para la instrumentación, después se forman los equipos, etc. Dentro de estas actividades se enmarca el congreso de mayo en Puerto de la Cruz, cuyo objetivo es definir mejor la misión, debatir sobre la carga útil y sobre la ciencia y optimizarla.”

**BEGOÑA LÓPEZ BETANCOR (IAC)**





Participantes en el congreso «Solar Encounter: The First Solar Orbiter Workshop». Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

**Encuentro Solar:**  
Primera reunión de trabajo sobre  
*Solar Orbiter*



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

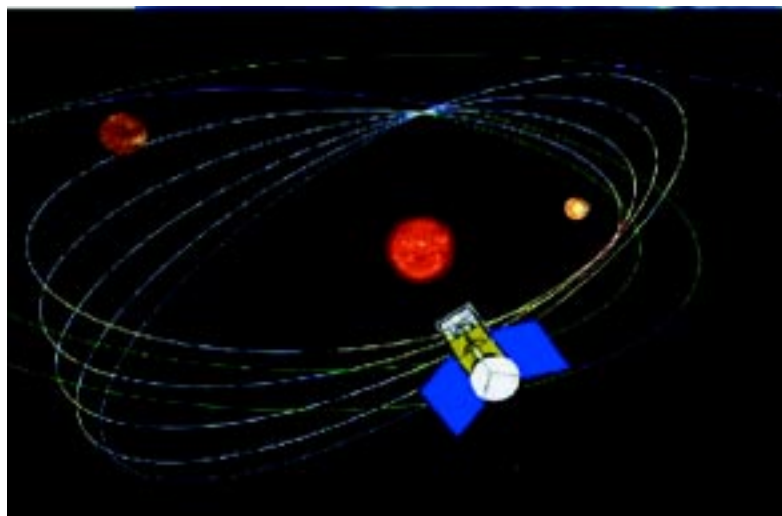
Centro de Congresos del Puerto de la Cruz (Tenerife). 14-18/5/01

Organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), en colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA) y el Cabildo Insular de Tenerife, del 14 al 18 de mayo se celebró en el Centro de Congresos del Puerto de la Cruz, en Tenerife, el congreso internacional “*Solar Encounter: The First Solar Orbiter Workshop*” (“Encuentro Solar: primera reunión de trabajo sobre *Solar Orbiter*”). Esta reunión congregó en la isla a destacados especialistas mundiales en Física Solar y a los máximos responsables de las secciones de Sistema Solar de las cuatro agencias espaciales más importantes del mundo, la estadounidense (NASA), la europea (ESA), la japonesa (ISAS) y la rusa (RSA).

*Solar Orbiter* es un proyecto aprobado recientemente por la ESA para diseñar y construir un nuevo satélite que observará el Sol de forma complementaria a como lo hacen otros satélites solares, aún en funcionamiento, como SOHO o ULYSSES.

Su objetivo fundamental es triple:

- Conseguir una alta resolución en las observaciones mediante un mayor acercamiento al Sol. Para ello, la sonda *Solar Orbiter* se situará a 45 radios solares (0,2 unidades astronómicas), lo que equivale a una quinta parte de la distancia de la Tierra al Sol. Desde ese punto podrá aumentar veinte veces la resolución de las observaciones solares con respecto a las observaciones actuales de SOHO y de los telescopios terrestres.
- En sus momentos de máxima cercanía, la sonda corrotará con el Sol. Su órbita será helioestacionaria, es decir, la *Solar Orbiter* se moverá en torno al Sol siguiendo la rotación de la propia estrella. Así, podrá mantenerse prácticamente fija sobre una determinada zona y observará, sobre un punto concreto, la emisión de luz y el llamado *viento solar*, partículas energéticas que inundan el Sistema Solar y que llegan hasta la Tierra.



Simulación de las órbitas de Solar Orbiter. © ESA/Solar Orbiter.

- Salir del plano de la eclíptica (plano en el que se encuentran los planetas del Sistema Solar), para así poder observar los polos del Sol, donde nacen y mueren los ciclos magnéticos solares de once años. Este desplazamiento con respecto a la eclíptica se conseguirá mediante lo que los astrónomos llaman ‘gravedad asistida’, una serie de ‘empujones’ provocados por la influencia gravitatoria del planeta Venus.

“Esta primera reunión de trabajo sobre *Solar Orbiter* se celebra con el propósito de informar a la comunidad científica internacional de las oportunidades que la misión ofrece para la ciencia y de proporcionar un foro adecuado en el que especificar y profundizar sobre sus objetivos científicos. Constituye, además, una excelente ocasión para establecer contactos y colaboraciones internacionales que permitan empezar a definir la instrumentación científica que llevará a bordo el satélite”, explica Valentín Martínez Pillet, astrofísico del IAC y organizador de este congreso.

ENTIDADES

PATROCINADORAS:

IAC, Agencia Espacial Europea (ESA), Cabildo Insular de Tenerife.

ENTIDADES COLABORADORAS:

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

Más información:

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

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



GEORGE WHITEBROE  
NASA (EEUU)

**A**ntes de su visita actual ¿conocía usted los observatorios de Canarias?

“El Observatorio del Roque de los Muchachos es conocido porque ha proporcionado datos fundamentales para el proyecto ‘Vivir con una estrella’, imágenes de muy alta resolución tomadas con el telescopio solar sueco que son las mejores del mundo.”

●●● ¿Qué nuevas misiones tiene previstas la NASA para el estudio del medio ambiente espacial?

“Actualmente tenemos un satélite, el ACE (*Advanced Composition Explorer*), situado a 1,5 millones de kilómetros,

en L1, en una posición permanente entre la Tierra y el Sol. El Sol emite una serie de partículas en forma de lo que llamamos ‘viento solar’, que afecta a la Tierra y es lo que constituye la ‘meteorología espacial’, que afecta a los satélites artificiales. Lo que hace esta misión es interceptar el viento solar y nos advierte con una hora de antelación de su llegada a la Tierra.”

●●● Con la tecnología actual, ¿hasta dónde podemos acercarnos al Sol?

“En cuanto a nuevas misiones, el *Solar Orbiter* se acercará a 0,2 veces la distancia de la Tierra al Sol (2 décimas partes de una unidad astronómica). Luego está la *Solar Probe*, una misión en ciernes que se colocará a tres radios solares de distancia sobre la superficie del Sol. En esa posición la temperatura es muy alta, con lo cual los instrumentos que lleve a bordo deberán estar preparados para soportar esas condiciones.”

●●● ¿Por qué es tan importante conocer el funcionamiento del Sol?

“El Sol nos influye de varias maneras: una es el viento solar, que cuando alcanza la Tierra desplaza su campo magnético, provocando corrientes eléctricas que afectan a las redes de distribución eléctrica en la Tierra, como sucedió en marzo de 1989 en la costa este de los Estados Unidos y parte de Canadá, que sufrieron un gran apagón durante 9 horas debido a la actividad solar y que afectó a 6 millones de personas. Una de estas tormentas geomagnéticas literalmente quemó un transformador de millones de dólares de una estación eléctrica. El año pasado, el día 14 de julio, se produjo un evento que también dañó un transformador eléctrico. Por otro lado, cuando se producen las llamadas fulguraciones solares, el Sol emite intensamente radiación X que afecta a la ionosfera terrestre y puede provocar importantes perturbaciones en las comunicaciones en onda corta que pueden durar horas. Hace unos 20 o 30 años esto habría tenido consecuencias mayores, porque las comunicaciones en onda corta eran más frecuentes, actualmente afecta a veces a las comunicaciones entre aviones cuando se hacen en esta longitud de onda. Otro efecto de la perturbación en el campo magnético terrestre es que las partículas se aceleran y pueden afectar e incluso dañar los satélites. A lo largo de los años muchos satélites han quedado inutilizados o destruidos por esta causa. El Sol emite también partículas de alta energía que afectan a satélites científicos, dejándolos temporalmente inservibles. En Estados Unidos hubo una serie de incendios forestales graves que se

intentaron observar mediante satélites meteorológicos utilizando detectores infrarrojos; el ruido debido a las partículas solares era tan alto, que no pudieron observar los incendios.”

●●● ¿Estos fenómenos afectan más a unas regiones del planeta que a otras?

“Sí. Por ejemplo existe el fenómeno de los centelleos de la ionosfera que se producen sobre todo en las regiones ecuatoriales. En Oriente Medio, una región tan conflictiva, las comunicaciones pueden verse afectadas por este fenómeno. El sistema de navegación por vía satélite, el GPS, pierde fiabilidad cuando se producen esos centelleos.”

●●● ¿Cómo puede influir el Sol en el clima terrestre?

“El Sol influye claramente en el clima de la Tierra. Ha habido épocas en el pasado, como la segunda mitad del siglo XVII, conocido como la ‘pequeña edad de hielo’, donde las temperaturas descendieron notablemente. En el norte de Europa se vivieron inviernos muy fríos en ese período. Se calcula que el Sol era un 25% más débil que ahora, con lo cual existen evidencias que apuntan a la menor actividad solar como causa de esa pequeña edad de hielo. Las oscilaciones climáticas están en consonancia con el ciclo de once años de actividad solar y, si bien no estamos completamente seguros de que exista una conexión, sí hay una posibilidad de que, al menos en un período de diez años, exista una componente relacionada con la actividad solar. Más a largo plazo, podemos saber a través de los anillos de los troncos de los árboles cuándo el Sol ha estado más activo. Así, en la época medieval el Sol estaba más activo y el clima fue más cálido, fue la época en que los Vikingos colonizaron Groenlandia. Luego



el clima se enfrió mucho en esa región. En época moderna, los gases de efecto invernadero son claramente los responsables del calentamiento global. Aunque se estima que a lo largo del siglo pasado aproximadamente un 30% del calentamiento se debió al aumento en la actividad solar, la causa fundamental del calentamiento actual se debe a los gases de efecto invernadero.”

••• ¿Cuál es el interés de las agencias espaciales en una colaboración internacional como la que se propone con la iniciativa *‘International Living with a Star?’* “Hay dos razones: una, porque el Sol es la única estrella que podemos estudiar de cerca, y la otra, porque también es el sistema del que depende el planeta en que vivimos, y es importante conocer nuestro entorno cercano. Ese es el motivo que impulsa la iniciativa *‘Vivir con una estrella’*, porque vivimos con una estrella que cambia, aunque los efectos del Sol sobre nosotros no son catastróficos, sino que pueden considerarse leves. Por ejemplo, en órbita terrestre tenemos 200 satélites de comunicaciones y tan sólo perdemos uno cada varios años debido a la actividad solar, mientras que los propios lanzamientos de los satélites tienen un mayor índice de siniestros.”



Ilustración que muestra las líneas del campo magnético terrestre frente a la actividad del Sol y la posición de un satélite de observación solar.

© International Solar-Terrestrial Physics Program and NASA.  
Autor: Mike Carlowicz.



TAKEO KOSUGI  
ISAS (Japón)

Existe un proyecto japonés llamado “Solar B”. ¿Podría explicarnos en qué consiste? “Solar B estudia la relación entre la dinámica de la corona solar y el fenómeno que la produce, es decir, la actividad magnética que tiene lugar en la superficie del Sol, pues esta actividad solar podría determinar la dinámica de la estructura coronal. Para ello se precisan observaciones de alta resolución que Solar B puede proporcionar, pues será capaz de alcanzar una resolución de 0,2 segundos de arco (unos 100 km sobre la superficie del Sol) y, por tanto, está en disposición de medir los campos magnéticos.”

Solar B consta de tres telescopios: un telescopio óptico para el estudio de los campos magnéticos; un telescopio de rayos X, capaz de alcanzar una resolución de 1 segundo de arco; y un espectrómetro de imagen EUV. ISAS cuenta con la colaboración de la NASA y del PPARC británico para el desarrollo de estos instrumentos y esperamos poder contar pronto con la colaboración de la ESA, que contribuiría realizando labores de seguimiento desde tierra del satélite Solar B.”

••• ¿En qué estado se encuentra actualmente el proyecto Solar B? “Debido al accidente que se produjo en el lanzamiento del satélite Astro E, de rayos X, se está trabajando en la mejora del cohete con el que debía lanzarse. Por ello, su lanzamiento, que estaba previsto para el año 2004, se ha aplazado hasta 2005. Actualmente, el proyecto Solar B se encuentra en fase de desarrollo del protomodelo y esperamos que entre julio y septiembre de este año puedan realizarse las pruebas de la electrónica. Para finales de 2001 está previsto probar el modelo estructural y hacer las pruebas de vacío del diseño propuesto; en 2003 se pasaría la fase de fabricación y, finalmente, en el año 2005 tendrían lugar las pruebas finales de integración.”

••• ¿Cuál es la contribución de ISAS al IACG? “La participación de la agencia espacial japonesa (ISAS) en el IACG para la iniciativa *‘International Living with a Star’* aún se está debatiendo. Mi opinión personal es que el proyecto Solar B puede ser un importante ingrediente por las detalladas imágenes de la corona solar que puede aportar desde el punto de vista de la Física Solar. La contribución que ISAS pueda hacer al proyecto Bepi Colombo ha sido objeto de mucho debate, y la conclusión final es que Japón aportará el subsatélite MMO (*Mercury Magnetosphere Orbiter*), de los tres componentes de que consta la misión: el MPO (*Mercury Planetary Orbiter*), el *Mercury Surface Element* (MSE) y el MMO. Desde el punto de vista científico, Japón cuenta con una comunidad de especialistas en Física Solar muy sólida que puede aportar mucho a estos proyectos en los que se trabaja, el Solar B y Beppi Colombo. En comparación con la NASA y la ESA, ISAS es una institución muy pequeña y no puede abarcar muchos proyectos a la vez, pero nuestra contribución a la iniciativa que se propone en el IACG puede ser importante.”



**L**a misión Solar Orbiter (SOLO), ¿en qué consiste exactamente? Es una de las nuevas misiones del programa científico de la ESA; básicamente, como continuación de las exitosas SOHO y ULYSSES. En ciencia, se busca siempre un punto de vista diferente. Con SOLO se quiere ir tan cerca del Sol como sea posible para ver en detalle su superficie y estudiarlo desde un lugar en el espacio donde nunca se haya estado.

●●● ¿Por qué ese interés “solar”?

“Personalmente, me interesa el funcionamiento del Sol como estrella – es la única que se puede estudiar de cerca- y la conexión entre él y lo que ocurre alrededor de la Tierra, no tanto en el aspecto climático como en el de medio espacial. Actualmente, estoy trabajando en la misión ULYSSES que, en cierto modo, precede a SOLO, ya que analiza el entorno del Sol yendo por encima de sus polos a bastante distancia.”

●●● ¿Qué dificultades conlleva SOLO?

“Todos conocemos la historia de Ícaro, quien quiso volar tan próximo al Sol que sus alas se fundieron, así que hay que tener cuidado de que no se funda el aparato, y esto supone un reto técnico importante. Para la industria es interesante participar en una misión como ésta en la que se desarrollan nuevos materiales y técnicas que pueden ser de aplicación en la Tierra.”

●●● ¿Qué instrumentación requiere una misión de estas características?

“Por supuesto telescopios, y que además sean capaces de ver luz que nuestros ojos no perciben: ultravioleta y de otras longitudes de onda; así como instrumentos de medida de campos magnéticos y que estudien el Sol en la distancia, pero teniendo en cuenta las condiciones de medición (el entorno) de la nave espacial. Es fascinante diseñar un instrumento en el laboratorio, con la ayuda de técnicos e ingenieros, atornillarlo a una nave, enviarlo lejos, que tome medidas y las envíe de vuelta...”

●●● ¿Serán los instrumentos de nuevo diseño o adaptaciones de otros ya utilizados en misiones anteriores?

“Habrá una combinación de ambos tipos. Las adaptaciones de instrumentos ya utilizados en SOHO y otras misiones solares serán mucho más pequeñas, ligeras y resistentes al calor. En SOHO, los instrumentos científicos pesan más de 600 kilos. En SOLO, no deben sobrepasar los 100. También se necesitarán nuevos instrumentos para emisiones solares que sólo se registran en las cercanías del Sol (no llegan a un dispositivo en órbita alrededor de la Tierra), como es el caso de los neutrones, partículas atómicas sin carga, que explican procesos energéticos que ocurren en la superficie del astro. SOLO se aproximará cinco veces más al Sol de lo que está la Tierra pero, cosas de la naturaleza, recibirá veinticinco veces más calor por lo que deberá soportar temperaturas de hasta quinientos grados.”

●●● ¿Es SOLO una misión de prueba con vistas a hacer después otra más especializada?

“No exactamente. En el programa científico de la ESA, para ahorrar gastos, se intenta utilizar la misma tecnología en varias misiones. Dicho programa se basa en grandes proyectos denominados Cornerstones con otros asociados llamados Flexi. Una de las futuras Cornerstones es una misión a Mercurio llamada Bepicolombo, cuyos desarrollos se intentarán utilizar previamente en SOLO; además, el planeta Mercurio es muy cercano al Sol, así que ambas misiones tienen requerimientos parecidos como aparatos que soporten el calor y tecnología para llegar hasta las proximidades del astro. Una misión al cometa Rosetta, que será lanzada en uno o dos años, también tiene una “prima” llamada Mars Express, que es una misión pequeña que está “probando” algunas innovaciones.”



RICHARD MARDESEN  
ESTEC/ESA (Holanda)

●●● ¿Y después de SOLO?

“Es difícil decirlo. Una misión como SOHO, que ha producido ciencia maravillosa, no ha respondido a todas las preguntas que se esperaba. Las misiones científicas nunca lo hacen; responden algunas pero, por suerte, quedan otras; si no, los científicos no tendríamos trabajo. SOLO dará muchas respuestas pero, al mismo tiempo, introducirá nuevas preguntas que pueden dar pie a otras misiones.”

●●● ¿Qué vida se prevé para los instrumentos de SOLO?

“El aparato espacial será lanzado alrededor de 2010. Para que llegue a su órbita final, cercana al Sol, se utilizará el planeta Venus, hacia el cual irá primero, regresando después hacia la Tierra. Tardará un par de años en llegar a la primera órbita operacional. Después, empezará la fase de ciencia principal, de unos tres años de duración, tras la cual se espera poder extender las operaciones a otros dos años. Se trata de una misión de unos siete años que, incluyendo el tiempo de diseñar la nave y los instrumentos, se alargará a diez, aunque si se pudiera prolongar...”

●●● ¿Volverá algún día a la Tierra?

“No. Su destino es convertirse en un cometa artificial en órbita continua alrededor del Sol.”



SAMI K. SOLANKI  
 Director Instituto Max-Planck de Aeronomía de Lindau (Alemania)

**S**obre el lanzamiento del Solar Orbiter ¿qué fechas se están barajando?

“Hay tres razones por las que el lanzamiento no debería ser mucho después del 2009-2010. La primera está relacionada con la comunidad científica, y es que habrá un lapso de tiempo demasiado grande (de unos 13 o 14 años) entre el lanzamiento de SOHO y el de *Solar Orbiter*. Los científicos comienzan a dispersarse y derivar hacia la industria y otros sectores, no podemos mantener el equipo que se constituyó para SOHO y que atrajo a muchos científicos. Si no hay misiones durante demasiado tiempo la gente se va a trabajar en otras cosas. Las otras razones son de estrategia científica, una tiene que ver con la colaboración con otras misiones, como la misión SDO (*Solar Dynamics Observatory*) de la NASA. Si se lanza pronto, las dos misiones pueden solaparse en el tiempo y abordar una serie de cuestiones científicas que sólo pueden analizarse teniendo las dos misiones operando en paralelo, es

decir, es una gran ventaja desde el punto de vista científico. Otra razón es el ciclo solar, porque el Sol cambia mucho y si se lanza en torno al 2009-2010, podrá situarse en las latitudes bajas del Sol durante el período activo del ciclo solar. Y precisamente queremos observar la evolución de las regiones activas, es decir, podríamos hacer mucha ciencia, sería el momento ideal para el lanzamiento. Cinco años después, el *Solar Orbiter* se dirigirá a latitudes más altas para observar los polos solares. En esa posición se puede aprovechar el mínimo solar para otras investigaciones. Si conseguimos que las fechas coincidan así, sería el calendario perfecto desde el punto de vista científico. Si se retrasa varios años, como hasta el año 2013, por ejemplo, estaríamos fuera de fase con el ciclo solar y no podríamos aprovechar tanto la misión.”

●●● ¿Qué beneficios puede obtener Europa de la colaboración en la iniciativa ‘*International Living with a Star*’?

“*Living with a Star* es una iniciativa de la NASA. El objeto de hacerla de carácter internacional es poder contar, entre otras cosas, con la

contribución de la ESA a misiones de la NASA como el *SDO* (*Solar Dynamics Observatory*), que es la columna vertebral de *Living with a Star*. Hay un gran interés por parte de Europa en colaborar con esta misión y dar un carácter internacional a la iniciativa, además de poder beneficiarse de la ciencia que se haga. Por otro lado, también permitirá a los americanos beneficiarse del *Solar Orbiter*, si es que esta misión se convierte en la contribución europea a la iniciativa *International Living with a Star*. Sería muy interesante porque permitiría mejorar aún más la instrumentación del *Solar Orbiter*, hacerla más versátil, pues probablemente Europa no tiene la capacidad suficiente para desarrollar una gama muy amplia de instrumentos. Así, podríamos optimizar la instrumentación aprovechando la experiencia tanto europea como estadounidense. También facilitaría la planificación de la explotación científica, de modo que la instrumentación de las dos misiones se aproveche de manera óptima, porque habría aportación europea en el SDO y estadounidense en el *Solar Orbiter*.”

ÚLTIMA HORA

En nota de prensa emitida por la Agencia Europea del Espacio (ESA) el 26 de junio de 2001, se comunica la decisión de la ESA de adelantar la fecha del lanzamiento del *Solar Orbiter* al año 2010. Ésta fue una de las conclusiones alcanzadas en la reunión “*Solar Encounter*: primera reunión de trabajo sobre el Solar Orbiter”, celebrada en Tenerife y que contó con la asistencia de unos 150 participantes, lo que, en palabras de Richard Marsden, miembro del *study team* de la misión *Solar Orbiter*, “demuestra el gran interés que la comunidad científica tiene en esta misión”. Los participantes estuvieron de acuerdo en que adelantar el lanzamiento de 2012, como estaba planeado inicialmente, a una fecha no posterior a 2010, optimizaría el aprovechamiento de la tecnología desarrollada para Beppi Colombo, la misión que ESA lanzará con destino a Mercurio en 2009, y facilitaría la sinergia con otras misiones solares de las distintas agencias espaciales.





Los miembros del IACG, en su visita al Instituto de Astrofísica de Canarias, en la Laguna (Tenerife). También, en las fotos de la parte inferior de la página.

## Conclusiones sobre la iniciativa "International Living with a Star"

Paralelamente a la primera reunión de trabajo sobre *Solar Orbiter*, los responsables de la sección de Sistema Solar de las cuatro agencias espaciales y que forman el grupo denominado IACG (*InterAgency Consultative Group*), se reunieron para lanzar la iniciativa "International Living with a Star", como ampliación de la iniciativa de la NASA "Living with a Star". Este proyecto estadounidense consiste en coordinar todas las misiones de la NASA relacionadas con el estudio de la meteorología espacial dominado por el Sol, lo que se conoce con el término inglés *space weather*. El objetivo de la ampliación de la iniciativa norteamericana es que la comunidad científica representada por las agencias involucradas pueda participar en todas las misiones espaciales incluidas en la iniciativa. Los miembros del

IACG visitaron la sede central del IAC, en La Laguna, el pasado 17 de mayo, acompañados por el Director de este instituto, el Prof. Francisco Sánchez.

Las conclusiones de la reunión del Grupo IACG, que fueron presentadas en la primera reunión de trabajo sobre *Solar Orbiter*, se resumen en los siguientes puntos:

- El Grupo IACG (*InterAgency Consultative Group*) ha decidido por unanimidad apoyar la creación de la iniciativa "International Living with a Star". Esta recomendación del IACG será elevada ahora para su firma a los directores de cada una de las agencias espaciales que han intervenido: la estadounidense NASA, la europea ESA, la japonesa ISAS y la rusa RSA,.

- La contribución de la ESA a la iniciativa "International Living with a Star" consistirá en el satélite *Solar Orbiter*.

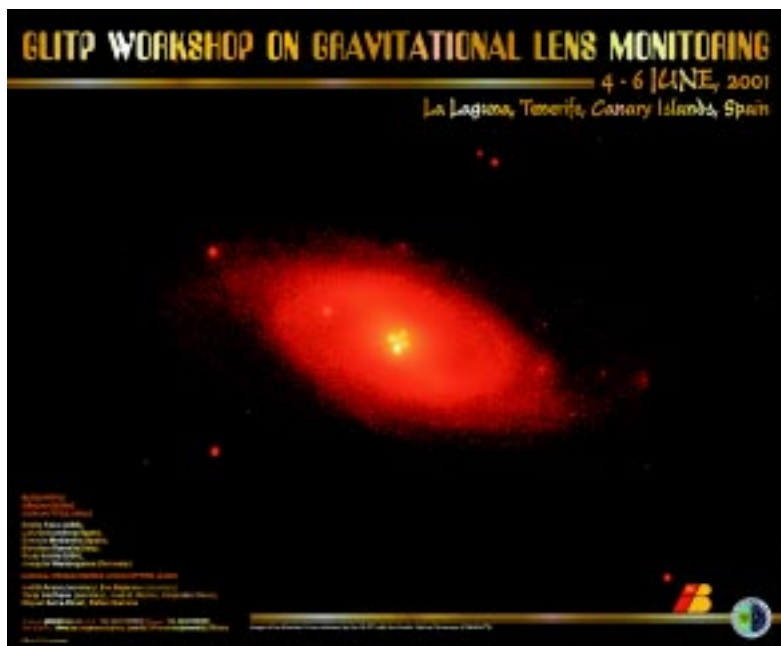
- Las misiones que se pongan en común dentro de la iniciativa "International Living with a Star" serán negociadas bilateralmente entre las agencias espaciales implicadas. Así, la NASA ha propuesto el SDO (*Solar Dynamics Observatory*) como primera misión de la iniciativa y ya han comenzado las negociaciones entre la ESA y la NASA para que la agencia europea participe en el proyecto.





Participantes en la reunión científica internacional sobre Monitorización de Lentes Gravitatorias (GLITP).  
Foto: Miguel Briganti (SMM/IAC).

**Reunión del  
Proyecto GLITP:  
Monitorización  
de Lentes  
Gravitatorias**



Cartel de la reunión GLITP. Diseño: Ramón Castro (SMM/IAC).



Instituto de Astrofísica, en La Laguna (Tenerife). 4-8/6/01

Organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), del 4 al 8 de junio se celebró en el Instituto de Astrofísica, en La Laguna, y con la colaboración de Iberia, el “*GLITP Workshop in Gravitational Lens Monitoring*”, una reunión internacional sobre el seguimiento fotométrico de lentes gravitatorias. El objetivo fundamental de esta reunión fue la monitorización de sistemas múltiples de cuásares. Se trataron también otros temas relacionados, como programas en curso de monitorización, técnicas de análisis de datos, determinación de la constante de Hubble a partir de retrasos temporales y el estudio de la estructura no resuelta de los cuásares a partir del efecto microlente. Esta reunión se celebra como culminación del proyecto GLITP (“*Gravitational Lensing International Time Project*”) de Tiempo Internacional concedido en telescopios instalados en los observatorios del IAC para el estudio de lentes gravitatorias, al que se dedicó una de las sesiones previstas.

“Lo que hoy se conoce como lente gravitatoria -explica Evencio Mediavilla, astrofísico del IAC y organizador de la reunión- fue una de las primeras predicciones de la Teoría General de la Relatividad, es decir, que los campos gravitatorios de algunos objetos podrían desviar los rayos de luz procedentes de un cuerpo lejano, generando más de una imagen del mismo. Estos sistemas de imágenes múltiples, conocidos como espejismos gravitatorios o lentes gravitatorias, se producen generalmente cuando una gran concentración de masa (una galaxia o un cúmulo de galaxias) está situada cerca de la línea de visión de una fuente luminosa distante, casi siempre un cuásar. En este caso, la luz que viaja entre la fuente y el observador puede, debido a la influencia gravitatoria, seguir diferentes trayectorias, produciendo varias ‘imágenes’ amplificadas de la fuente. La concentración de masa actúa, por tanto, como una lente sobre los rayos de luz que proceden de la fuente.”

**Más información:**

[http://www.iac.es/proyect/gravs\\_lens/GLITP/workshop/index.html](http://www.iac.es/proyect/gravs_lens/GLITP/workshop/index.html)

Entrevistas realizadas por Begoña López Betancor y Annia Domènech (IAC).

Fotografías: Begoña López Betancor y Luis Cuesta (IAC).



**EMILIO FALCÓ**

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (EEUU).

(Ver la sección “A través del prisma”)

**EL PROYECTO GLITP**

El fenómeno de lente gravitatoria constituye una poderosa herramienta para medir los parámetros cosmológicos y sondear la naturaleza de la materia oscura, y puede también actuar como “telescopio natural” para la observación de objetos lejanos. Por estos motivos, el estudio de las lentes gravitatorias es una de las ramas en plena expansión de la astrofísica extragaláctica. El proyecto GLITP ha puesto en práctica un programa sistemático de observación de los ejemplos más conocidos, los candidatos y muestras estadísticamente relevantes de lente gravitatoria, contando para ello con 32 noches de observación, entre agosto de 1999 y marzo de 2000, en telescopios de los observatorios del IAC: Telescopio “William Herschel”, Telescopio Óptico Nórdico, Telescopio “Isaac Newton” y Telescopio “Jacobus Kapteyn”, del Observatorio del Roque de los Muchachos, y Telescopio “Carlos Sánchez”, del Observatorio del Teide. Los datos obtenidos han proporcionado información sobre la cantidad de materia oscura que hay en el Universo, la constante de Hubble, los cuásares de imagen múltiple, los cuásares con alto desplazamiento al rojo, la evolución de las galaxias y los cúmulos galácticos, así como sobre la distribución del corrimiento al rojo de las fuentes de radio débiles. El hecho de que se haya podido disponer de los telescopios de Canarias, con instrumentación adecuada para el estudio de las lentes gravitatorias (especialmente la posibilidad de hacer espectroscopía en dos dimensiones), ha dado un especial valor al proyecto. La propuesta de realización de este proyecto partió de un grupo internacional que representa a un amplio sector de investigadores del fenómeno de lente gravitatoria tanto desde tierra como desde el espacio.

GLITP WORKSHOP IN GRAVITATIONAL LENS MONITORING



SJURO REFSDAL,  
Universidad de Hamburgo  
(Alemania)

**S**e dice que usted es algo así como el padre de la moderna teoría de las lentes gravitatorias...

“No del todo, pero quizá sí sea actualmente el investigador más veterano en esta materia. En los años 60 hubo una especie de ‘renacimiento’ y yo comencé a trabajar en esto por entonces, con una tesis doctoral que comencé en 1961. Mucho tiempo antes científicos como Einstein o Zwicky habían trabajado un poco sobre ello, pero allá por los años 30.”

●●● La base de esta teoría está relacionada con la Teoría General de la Relatividad... ¿En qué consiste la actual teoría de lentes gravitatorias?

“El efecto de lente gravitatoria es provocado por el hecho de que la luz sufre una deflexión al atravesar un campo gravitatorio intenso, es decir, cuando pasa cerca de una estrella o de toda una galaxia o al atravesar una galaxia. Einstein ya predijo este efecto en su Teoría General de la Relatividad y fue comprobado poco tiempo después, en 1920, durante un eclipse de Sol. En ese momento, el Sol se oculta o su luminosidad disminuye y pueden comprobarse las posiciones de las estrellas cercanas al borde del Sol,

que aparecen desviadas de su posición real si no fuera por la presencia del Sol. La explicación es que el haz de luz procedente de esas estrellas se ha desviado debido a la presencia de la masa solar.”

●●● ¿Se ha observado suficientemente el fenómeno de lente gravitatoria en el Universo?

“Sí, aunque no siempre se habla del caso del Sol cuando se trata de lentes gravitatorias. El comportamiento físico de los haces de luz se conoce bien, y se toma como hecho establecido para realizar cálculos teóricos para otros sistemas de lente gravitatoria. El primer caso fue observado en 1979, se trataba de dos cuásares que aparecían muy cercanos entre sí en el cielo (unos 6 segundos de arco) y que, en realidad, eran uno sólo. Entre este objeto y el observador se interponía una galaxia que desviaba la luz del cuásar a ambos lados y hacía que su imagen se duplicara. El resultado eran dos imágenes de un mismo objeto. En ocasiones se producen cuatro imágenes del mismo objeto. Se han observado ya muchos casos así, veinte o treinta, de lo que llamamos ‘imágenes cuádruples’. La fuente suele ser un cuásar, aunque hay otros casos en los que la fuente es una galaxia, entonces de pueden observar lo que llamamos ‘arcos extensos’ que no tienen en absoluto el aspecto de una galaxia, porque aparecen muy alargados. En otras ocasiones la lente es todo un cúmulo de galaxias.”

●●● Dependiendo de lo que podamos observar, ¿podemos saber qué tipo de fuente se esconde detrás del efecto de lente gravitatoria...?

“De manera negativa podemos decir que el efecto lente distorsiona nuestra visión del Universo, vemos algo que realmente no existe. Pero también podemos mirar el lado positivo y decir que el efecto lente nos ayuda a conocer muchas cosas de lo que observamos, por ejemplo, nos ayuda a estimar con gran precisión de la masa del objeto que provoca el efecto lente, también para determinar la distancia de la lente hasta la fuente, que puede ser clave a la hora de determinar la constante de Hubble. Mi opinión es que el efecto lente gravitatoria constituye una valiosa herramienta para la cosmología que ayuda a obtener información que posiblemente no podríamos conseguir de otra forma, como sobre la materia oscura que, a pesar de no emitir radiación suficiente como para poder observarla, sí puede provocar un intenso campo gravitatorio y puede actuar como lente.”

●●● ¿Qué tipo de técnicas se utilizan en el estudio de las lentes gravitatorias?

“Principalmente instrumentación en el rango visible, porque es importante conocer la posición con gran exactitud, ya que estos objetos suelen estar muy cercanos entre sí en el cielo y se necesita una gran resolución. Muchas de estas lentes emiten en radio, y con instrumentación adecuada, como el VLBI (*Very Long Baseline Interferometer*), podemos conseguir incluso una mayor resolución. La mayoría de las observaciones de lentes se realizan en el visible o en radio. La primera de estas ‘imágenes dobles’ que se detectó se llamó el ‘cuásar doble’; desde entonces se ha observado en más de mil ocasiones y se han recopilado muchos datos sobre este objeto, quizá el más observado de todos los de su clase.”

●●● ¿Hasta qué punto el efecto lente gravitatoria distorsiona nuestra visión del Universo en su conjunto?

“Las estimaciones realizadas señalan que menos del 1% de los cuásares estudiados están afectados por el efecto lente gravitatoria. Esto nos puede dar incluso una indicación de la cantidad de materia oscura que hay en el Universo, o al menos dentro de ciertos rangos de masa, porque cuando observamos un cuásar doble o un efecto lente de este tipo la distancia entre las imágenes debe ser, pongamos por caso, varias décimas partes de un

segundo de arco y podemos resolverlo. Esa distancia corresponde típicamente a una determinada masa del objeto que hace de lente, porque la distancia entre los objetos es proporcional al cuadrado de la masa de la lente. Así, aplicando diferentes técnicas podemos conseguir una mayor precisión en la distancia y conocer la masa del objeto lente. Por supuesto, estamos hablando de objetos muy compactos, lo suficientemente pequeños como para que la luz los rodee en su recorrido, no de masas extendidas que no permiten ver claramente el efecto lente o que no producen ese efecto. Si la luz atraviesa el objeto lente se producen efectos mucho más complejos.”

●●● ¿Son frecuentes los proyectos conjuntos de observación, como el proyecto GLITP que se presenta en esta reunión?

“Sí, hay grandes proyectos de observación como este. En el caso de las lentes gravitatorias hay cuestiones específicas que despiertan gran interés, como la del retraso temporal, que consiste en que la radiación procedente de un cuásar alcanza el objeto lente y, si hay dos imágenes, la luz recorre caminos distintos en tiempos distintos, es decir, son dos recorridos diferentes uno más largo que el otro. Es el caso de un doble cuásar descubierto hace unos veinte años, la luz que nos llega de él fue emitida hace casi mil millones de años y la diferencia entre un haz y el otro es de

escasamente un año. Es interesante no sólo como planteamiento teórico. Además nos demuestra que los cuásares no son objetos constantes, sino que tienen picos de luminosidad. Si nos fijamos en la curva de luz de cada imagen vemos que coinciden pero con un desfase de 420 días en el caso del cuásar 0957+561. Esto se ha observado y sirve de confirmación para la teoría. Aplicando una geometría simple podemos utilizar estos datos para calcular la distancia; comparando los dos haces de luz, las dos imágenes, se puede saber cuánto tiempo ha necesitado la luz para hacer ese recorrido, lo que nos da la distancia al cuásar y, conociendo su desplazamiento al rojo, podemos calcular la constante de Hubble.”



DAVID J. THOMSON  
Bell Labs (EEUU)

**A**lguien que proviene del estudio estadístico de series numéricas, ¿cómo aborda la investigación en lentes gravitatorias?  
“Bueno, yo trabajo en toda una gama de problemas de distinta índole, pero mi verdadera especialidad es el análisis de series temporales. Esas series pueden venir de muchas áreas de aplicación distintas, yo estoy en un departamento de investigación matemática y mi trabajo consiste

en desarrollar métodos para analizar datos. Se puede abordar desde un marco puramente teórico, pero a mí me gusta orientarlo a la resolución de problemas prácticos, de modo que trabajo con sismólogos, con investigadores que se dedican a las lentes gravitatorias, con climatólogos, con datos procedentes de radiotelescopios, etc. De modo que nos llegan muchos tipos de problemas diferentes y tenemos que desarrollar métodos para abordarlos. Y deben ser métodos aplicables a más de un problema concreto. Siempre sospecho de aquéllos métodos desarrollados a la medida de un problema particular, porque es muy probable que no funcionen bien ni siquiera en ese problema. Las matemáticas deberían ser universales y los buenos métodos de análisis deberían servir para resolver cualquier problema.”

●●● Los astrónomos abordan el estudio de las lentes gravitatorias desde el rango visible y desde los rayos X. ¿Se analizan de la misma manera los datos de uno y de otro tipo?

“Sí, cada uno tiene sus peculiaridades, diferentes tipos de errores, distintas muestras; pero eso son detalles, en general se puede decir que no hay diferencias sustanciales. Por ejemplo, si estoy empezando a trabajar en distintas longitudes de onda en el visible y se pueden distinguir distintas características físicas, tengo que consultar a un astrónomo para que explique qué significan los resultados, pero los métodos básicos de análisis no varían mucho.”

●●● ¿Diseña usted directamente esos métodos?

“Sí, soy yo el que los diseña.”

●●● ¿Cómo lo hace, le llegan las series de datos y tiene que descubrir los patrones o modelos que esconden?

“En primer lugar me familiarizo un poco con el tema de que se trate. Luego hay que distinguir entre las matemáticas, la teoría de probabilidades y el análisis de datos. En matemáticas, por ejemplo, se establecen axiomas y podemos ver hasta dónde llegan, lo mismo sucede con la teoría de probabilidades. En estadística y análisis de datos se funciona de otro modo: alguien llega con una serie de datos. Entonces tienes por un lado los datos,

por otro la Relatividad, por otro la mecánica cuántica, las leyes de Maxwell, y puedes presuponer lo que te parezca para que los datos tengan sentido, pero si no te sale tienes un problema. A veces el problema está en los datos, hasta que te das cuenta de que, por ejemplo, los has tomado al revés (risas). En general, cuando hay conflicto entre los datos y los supuestos previos, ganan los datos. De modo que debemos adoptar el menor número posible de supuestos previos sobre los datos.”

●●● ¿Es esa actitud la que le libra de posibles sesgos?

“Desde luego ayuda. Si partimos de muchos supuestos para estudiar cualquier tipo de distribución de probabilidades siempre podemos llegar a interpretaciones perversas, a aplicaciones completamente erróneas. La idea es desarrollar métodos matemáticos óptimos que no dependan de suposiciones específicas en torno a la fuente, que son los datos. Trato de emplear funciones que se encuentran en el límite de lo que puedes hacer con la concentración de energía, por ejemplo, antes de convertirla en otra cosa. Hay muchos métodos que desgraciadamente se siguen empleando y que no funcionan bien desde hace un siglo. Sirvieron cuando fueron publicados, pero ahora no son útiles, la mitad de las veces no funcionan bien, y la otra mitad el resultado no tiene ningún sentido; la idea es que si tenemos la suerte de que funciona, estupendo, pero nunca sabremos si el resultado es el correcto. Es como muchas de las cosas que se ven en la política: son simples, intuitivas, apetecibles y erróneas. La idea es que debemos alcanzar un nivel de complejidad que nos garantice que la desviación no va a ser demasiado grande. En realidad no es más que tener mucho cuidado con los datos; es muy peligroso abordar los datos queriendo saber la respuesta de antemano. Los dogmas, sean religiosos o científicos, siempre nos traen problemas.”

●●● En el caso del calentamiento global del planeta es evidente a qué resultados nos puede llevar una interpretación sesgada de los datos, forzando posturas políticas hacia un extremo u otro. En el caso del estudio de las lentes gravitatorias, ¿en qué medida contribuye el análisis de series temporales al trabajo de los astrofísicos?

“En el caso del estudio del clima terrestre, tenemos series de varios siglos de datos instrumentales, mil años de datos aproximativos en los anillos que presentan los troncos de los árboles, miles de años de datos procedentes de los fondos oceánicos, y aún siendo datos relativamente abundantes y la Tierra un sistema relativamente simple todavía no acabamos de entenderlos. En el caso de las lentes gravitatorias nos encontramos ante la física más compleja que podamos imaginar y una serie de datos de unos veinte años, la mayoría perdidos, y varios objetos distintos; la probabilidad de poder explicar cómo funcionan es muy parecida a cero. Podemos decir que conocemos lo fundamental, pero se escapan tantos detalles que hay quienes afirman, como se ha hecho en alguna ponencia en esta reunión, que en realidad no sabemos nada de la estructura de un cuásar; podemos suponer cosas, pero eso no significa que conozcamos estos objetos. El problema del retraso temporal, que es por lo que yo estoy aquí, consiste en estudiar dos o cuatro haces de luz diferentes. Uno de los problemas de la astrofísica es que sencillamente no se puede obtener una imagen de la mayoría de las cosas que se están estudiando. Actualmente los detectores CCD han sustituido a las placas fotográficas, pero eso desde hace sólo unos pocos años. Así que a los estudiantes se les enseña a trabajar con herramientas que no son las adecuadas para resolver los problemas con los que luego se enfrentan. Ahora estamos tratando de reinventar muchas cosas y trabajamos con series temporales de un objeto muy complejo con muchos huecos y que no sabemos abordar. Algunos métodos no funcionan cuando los huecos en

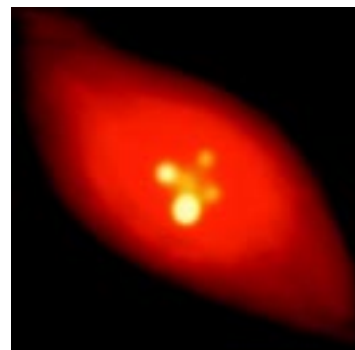


Imagen de la lente gravitatoria Cruz de Einstein.

los datos son demasiado importantes; cuando esos huecos son como los que encontramos en el caso de las lentes gravitatorias el problema es de difícil solución. El problema de estudiar el retraso temporal es que los científicos no han utilizado la información de las series temporales adecuadamente; hay muchas cosas en Astrofísica que no se han enseñado bien en su momento, los científicos han aprendido a construir instrumentos, a obtener imágenes, pero el análisis de series temporales no se incluía en su formación hace algunos años y en muchos casos sigue sin estudiarse. Es una especie de falta de comunicación. Por ejemplo, los especialistas en estadística no son muy buenos analizando series temporales, los ingenieros apenas trabajan con series de datos interrumpidas. Aparte de detalles como las diferentes aplicaciones de los métodos de análisis, el problema es básicamente siempre el mismo.”

●●● ¿Qué ingredientes debe tener una serie de datos o un problema para que usted se decida a trabajar en él?

“La mayoría de las veces me dan los datos y me dicen si me apetece trabajar en ellos, y a veces sí y a veces no. Aquellos por los que me decido suelen conllevar un problema difícil de resolver, tienen que ser lo bastante difíciles como para resultar interesantes. Los simples suelen acabar

aburriéndome, aunque hay problemas que son sencillos pero importantes y que presentan dificultades inesperadas.”

••• ¿Se pueden entender los sistemas caóticos?

“No creo que sean tan caóticos como se pretende. A escalas temporales más largas creo que esos sistemas no suelen ser tan caóticos. Por supuesto influye si, por ejemplo, tuviésemos que predecir el tiempo que hará mañana, o la semana próxima, pero predecir el tiempo que hará dentro de un mes es muy difícil. Pero si diferenciamos entre tiempo y clima, no creo que el caos sea un factor tan importante.”

••• ¿Se ha encontrado alguna vez con sistemas caóticos en su trabajo?

“He visto algunos, pero el caos nunca ha sido un factor clave. Eso no quiere decir que no pueda encontrarme uno en el futuro. Esa es una de las cosas que sí existen. Pero el concepto de caos se utiliza muchas veces como una baza científica. De hecho, algunos casos en los que he trabajado y

que la gente consideraba caóticos al final resultaron no serlo. Recurrimos a la idea de caos como un enfoque ‘a priori’. Es lo que pasó cuando se empezó a trabajar en el viento solar: se decía que era ‘turbulento y caótico’. A veces, cuando los métodos de análisis aplicados no dan el resultado esperado, se dice que el sistema es caótico, sencillamente porque no podemos explicarlo.”

••• Se puede decir que su trabajo comienza cuando acaba el de los astrofísicos observacionales...

“No siempre. Dependiendo del proyecto. Cuando analizas series temporales tienes que contar con un mínimo de datos fiables antes de poder empezar a trabajar. Muchas veces colaboro con físicos muy de cerca, vamos al instrumento y vemos si los datos están bien o si hay algún sesgo en el experimento. Si lo hay, lo detectamos y lo corregimos.”

••• ¿Los avances tecnológicos están contribuyendo a mejorar la calidad de los datos para que personas como usted puedan

trabajar con mayor rapidez?

“La gente tiende a olvidar que la evolución es un proceso lento. Los datos científicos mejoran, pero hay mucha impaciencia para conocer las respuestas. Muchos de los problemas sobre los que estamos trabajando se abordan desde hace más de cien años y aún no los entendemos bien, y es que ahora no somos más inteligentes que Newton, por ejemplo. Está muy bien progresar, claro, pero no somos una especie perfecta, tenemos nuestros puntos álgidos y nuestros puntos bajos. Si nos fijamos en cuántos grandes científicos ha tenido la humanidad, no han sido tantos. Todavía pasará algún tiempo hasta que aparezca otro Einstein. Creo que la mayoría de la gente espera demasiado; la ciencia progresa, pero no con la rapidez que les gustaría a muchos. Ha habido muchos avances en instrumentación, en informática, hemos aprendido mucho en las últimas décadas, pero si miramos atrás también hemos olvidado mucho.”



## Congreso “The central kiloparsec of starbursts and AGN: The La Palma connection”

Los Cancajos (La Palma). 7-11/5/01

Organizado por el *Isaac Newton Group of Telescopes* (ING), del 7 al 11 de mayo se celebró en La Palma un congreso internacional de Astrofísica sobre el origen y la evolución de los procesos que tienen lugar en las regiones centrales de las galaxias activas. Gracias a los nuevos datos aportados por los telescopios en órbita, como el telescopio espacial Hubble, y en tierra, como los telescopios ubicados en el Observatorio del Roque de Los Muchachos, este campo de la astrofísica es en la actualidad objeto de una intensa actividad científica. Bajo el título de “*The central kiloparsec of starbursts and active galactic nuclei (AGN): the La Palma connection*” (El kiloparsec central de regiones con formación estelar intensa y núcleos activos de galaxias: la conexión con La Palma), el congreso, el primero organizado por el ING, reunió en La Palma a unos 120 astrónomos de todo el mundo. John E. Beckman, investigador del CSIC en el IAC fue miembro del Comité Científico Organizador y uno de los ponentes invitados.

Los recientes avances en las técnicas de observación de alta resolución, en la teoría y en la elaboración de modelos físicos y matemáticos han permitido a los astrónomos estudiar con mayor detalle las regiones centrales de las galaxias cercanas. A menudo en estas regiones existe formación estelar intensa y procesos de alta energía, acompañados de estructuras y dinámicas complejas de gas y polvo. El origen y la evolución de tales comportamientos es todavía poco conocido. En este congreso se revisó el conocimiento actual de este tipo de objetos y se discutieron las estrategias a adoptar en el futuro. Más información: <http://www.ing.iac.es/conferences/centralkpc/>

## Lentes gravitatorias ...en un laberinto de espejos

En el marco del congreso sobre Lentes Gravitatorias celebrado el pasado mes de junio en el Instituto de Astrofísica de Canarias, charlamos con el astrofísico uruguayo Emilio Falco. Investigador del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Falco es uno de los líderes en Lentes Gravitatorias y co-autor del libro de referencia Gravitational Lenses. Por lo que nos contó, parece ser que...

### Una lente gravitatoria...

es un sistema compuesto por un objeto lejano que emite luz y otro, llamado lente, que desvía esa luz debido al campo gravitatorio que tiene cualquier cuerpo con masa.

### El campo gravitatorio...

desvía toda la radiación electromagnética de la misma magnitud, no sólo la luz, también las ondas de radio y otras. La radiación desviada puede utilizar más de un camino para sortear la lente, lo que provoca que se perciba más de una imagen del objeto emisor de luz.

### Cuanta más masa...

tenga la lente más desviación experimentará la luz y será mayor la probabilidad de encontrar imágenes múltiples.

### Einstein...

predijo las lentes gravitatorias en su teoría de la relatividad general. Calculó que, con una estrella por lente, la magnitud del efecto sería muy pequeña. Poco después, se vio que con galaxias, al tener más masa, el efecto es mayor.

### Habitualmente...

se estudian como fuentes originales de luz los cuásares por su lejanía; como lentes, las galaxias. Si la galaxia tiene bastante masa y está alineada con el cuásar y el observador, desdobra la luz del cuásar y se ve una imagen múltiple de él.

### Como herramientas cosmológicas...

las lentes gravitatorias se utilizan para determinar propiedades de las galaxias-lentes como la masa, directamente relacionada con la magnitud del efecto, y, también, de los cuásares, pese a que las lentes gravitatorias no son homogéneas y pueden producir distorsiones en las imágenes generadas.

### La masa de la galaxia...

se calcula relacionando la separación entre dos imágenes del cuásar con la distancia de la galaxia y del cuásar a la Tierra. Cuanta más separación entre imágenes mayor es la masa de la galaxia. Con masa cero no habría separación ni, por tanto, más de una imagen.

### Las imágenes...

de lentes gravitatorias son visualmente muy atractivas. Con el telescopio espacial Hubble se han conseguido varias, casi todas de cuásares múltiples debidos a galaxias.

### Distintos telescopios...

se utilizan para estudiar distintas lentes. Si la distancia entre las imágenes es pequeña, se necesita la alta resolución de un telescopio espacial. Si no, prácticamente cualquier telescopio es válido (radiotelescopio, de rayos X, óptico...), aunque cuanto más grande mejor porque la luz que llega puede ser débil.

### Con estrellas...

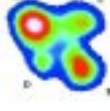
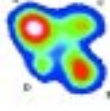
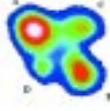
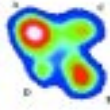
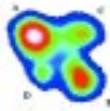
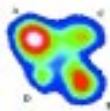
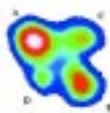
también existe el efecto lente gravitatoria. Cada una de las estrellas que conforman una galaxia puede actuar como una microlente. Con las imágenes múltiples, este efecto no se distingue, pero las microlentes pueden producir, por ejemplo, fluctuaciones en la luz de un cuásar.

### Actualmente se conocen...

unas sesenta lentes gravitatorias cuya fuente es un cuásar y la lente una galaxia, catalogadas por los astrónomos.

### Con el tiempo...

las lentes gravitatorias experimentan algunos cambios. Por ejemplo, la variación de la luminosidad de los cuásares. Sin embargo, la aparición o desaparición de una lente gravitatoria no se aprecia a escala de vida del hombre. En tiempo cosmológico, sí pueden desplazarse las galaxias y los cuásares unos respecto a los otros.



ANNIA DOMÈNECH (IAC)



Estrellas analizadas en la asociación OB galáctica Cygnus OB2.  
© IAC (Charo Villamariz)

## Estrellas OB galácticas

“Análisis espectroscópico de estrellas OB Galácticas”  
CHARO VILLAMARIZ CID  
Director: Artemio Herrero (ULL/IAC)  
Fecha: 11/1/01

El análisis espectroscópico de la luz estelar nos proporciona la mayor parte de la información que se puede extraer sobre las atmósferas de las estrellas e indirectamente también sobre sus interiores. El objetivo de tales análisis es la determinación precisa de los parámetros que describen la atmósfera estelar: la temperatura efectiva, la gravedad superficial, las abundancias de los elementos que la componen, las características del viento y otros parámetros menos significativos como, por ejemplo, la microturbulencia.

Para llevar a cabo los análisis, se hace uso de modelos que simulan los procesos físicos que están teniendo lugar en las atmósferas estelares y que reproducen así el flujo emergente de ellas. El objetivo en esta tesis era mejorar estos análisis para intentar obtener la descripción más realista posible de las atmósferas de las estrellas OB de nuestra galaxia. De esta manera se podrá responder a ciertas preguntas que están abiertas hoy en día sobre estos objetos, en especial a si la “discrepancia de helio” se puede explicar vía procesos de mezcla con el interior estelar inducidos por la rotación, lo que parece confirmarse de los casos aquí estudiados.

También se muestra en esta tesis cómo el estudio de estrellas en asociaciones OB es la mejor manera de abordar el problema de la composición química y su relación con la evolución estelar.



Imagen artística de un planeta solitario.  
Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC)

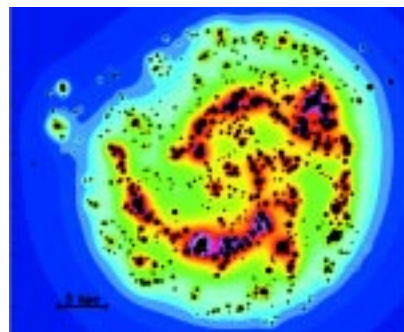
## Enanas marrones y planetas aislados

“Las enanas marrones y planetas aislados en cúmulos jóvenes: caracterización, evolución y función de masas”

VÍCTOR SÁNCHEZ BÉJAR  
Directores: Rafael Rebolo (CSIC/IAC) y Eduardo Martín (U. Hawai)  
Fecha: 12/1/01

En esta tesis se han estudiado las características y propiedades físicas de las enanas marrones y objetos de masas planetarias jóvenes (con masas entre 5 y 13 veces la de Júpiter), detectados por primera vez no ligados a estrellas. Como resultado de este estudio se ha definido la secuencia fotométrica, tanto en el óptico como en el infrarrojo, de este tipo de objetos en los cúmulos de  $\sigma$  y  $\epsilon$  Orionis,  $\alpha$  Persei y las Pléyades. De los espectros obtenidos se deduce la presencia de litio en la atmósfera de tres objetos del cúmulo  $\sigma$  Orionis, lo que confirma su naturaleza subestelar. Tras estudios evolutivos de las enanas marrones jóvenes se ha comprobado que, durante los primeros cien millones de años, estos objetos se encuentran en fase de contracción muy rápida y que, por lo tanto, su gravedad experimenta un aumento significativo, de más de un orden de magnitud.

El objeto más débil perteneciente a la secuencia espectroscópica de  $\sigma$  Orionis, S Ori 60, con una masa estimada entre 0,010 y 0,005 masas solares, constituye la primera prueba de la existencia de planetas “aislados”, no ligados a ninguna estrella principal. La extrapolación de estos resultados al resto del disco galáctico implica que los objetos subestelares, en su conjunto, son tan numerosos como las estrellas, aunque su contribución en masa es menor que el 10%.



Modelo del gas difuso ionizado de la galaxia espiral NGC 157.  
© IAC (Almudena Zurita)

## Gas ionizado en galaxias espirales

“The properties of the interstellar ionized medium in spiral galaxies”

ALMUDENA ZURITA MUÑOZ  
Director: John Beckman (IAC) y Maite Rozas (UNAM, México)  
Fecha: 19/1/01

Este trabajo es un estudio detallado de las propiedades del gas ionizado en galaxias espirales a partir de su emisión en la línea  $H\alpha$ . En concreto se ha analizado la cinemática del hidrógeno ionizado, usando observaciones interferométricas, en la galaxia espiral barrada NGC 3359, donde se observan movimientos no circulares en torno a la barra como respuesta del gas ionizado al potencial gravitatorio de la zona. También se han estudiado las regiones HII, emisoras en  $H\alpha$ , de las galaxias espirales NGC 3359 y NGC 7479, y se han encontrado rasgos que confirman la existencia de una transición, llamada “transición de Strömgren”, entre las propiedades de las regiones HII menos luminosas y las más luminosas. Sin embargo, un estudio sobre seis galaxias espirales muestra que el 50% de la luminosidad total en  $H\alpha$  de éstas no proviene de las regiones HII, sino de una componente de gas ionizado denominado “difuso”, producido posiblemente por fotones ionizantes que escapan de estas regiones. Hay un exceso de radiación ionizante que, es de suponer, escapa hacia el halo de las galaxias y al medio intergaláctico. Se han analizado las implicaciones de este escape.

La alta luminosidad de la transición de Strömgren y su constancia en las galaxias observadas hasta la fecha podrían servir de candela estándar para la medida de distancias extragalácticas. Se ha calibrado esta luminosidad usando galaxias cuyas distancias se habían determinado en el marco de un proyecto con el Telescopio Espacial Hubble.

## Curso de Astrofísica para el Profesorado



El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y la Fundación Santa María, conscientes del interés que despierta la Astronomía y de la importancia educativa y social de una adecuada formación científica, organizaron la X edición del Curso de

Introducción a la Astrofísica para el Profesorado “El Universo y Yo”. El curso, del que se cumplían diez años y que fue impartido en su mayor parte por investigadores del IAC, tuvo lugar del 25 al 29 de junio, en el Hotel Taburiente de Santa Cruz de Tenerife. En él participaron unos 30 profesores de Enseñanza Secundaria de toda España que previamente habían sido seleccionados y becados por la Fundación Santa María. Además de las charlas de los investigadores del IAC, hubo también sesiones de trabajo teórico-prácticas sobre astrofotografía y su aplicabilidad en un aula de Enseñanza Secundaria, así como visitas al Observatorio del Teide (Tenerife), con observaciones astronómicas incluidas, y al Museo de la Ciencia y el Cosmos, en La Laguna.

La Fundación Santa María puso en marcha en 1991 su programa de formación del profesorado. En el marco de los Encuentros Experienciales de esta Fundación, se celebró ese año el primer encuentro de Introducción a la Astrofísica, “El Universo y Yo”, organizado en colaboración con el IAC. Desde entonces, estos cursos -en la modalidad de introducción, profundización o cursos hispano-luso e hispano-danés de astronomía- reúnen cada año a un grupo de profesores bajo un interés común y con la pretensión de disfrutar, despertar o reavivar la pasión por esta ciencia en unos espacios tan significativos como el Observatorio del Teide, en Tenerife, o el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Hasta la fecha, más de 300 docentes han pasado por las aulas del Curso, cuya reedición año tras año da fe del interés que la Astronomía y las ciencias del Espacio despiertan entre la comunidad educativa.

### RELACIÓN DE CHARLAS:

- “La materia oscura del Universo”. Rafael Rebolo López (IAC).
- “Grandes Telescopios y el Avance de la Astronomía”. José Miguel Rodríguez Espinosa (IAC/GTC).
- “La Estrella de nuestra vida”. Inés Rodríguez Hidalgo (IAC/ULL).
- “El Sistema Solar y otros sistemas planetarios”. Luis Ramón Bellot Rubio (IAC).
- “La búsqueda de Vida Inteligente en el Universo”. Manuel Vázquez Abeledo.
- “Las Galaxias: morfología y evolución”. Antonia María Varela Pérez.
- “El alcance de la Astronomía Amateur” (charla invitada). Ricard Casas i Rodríguez.
- “Expediciones Astronómicas: Eclipses, Auroras y Lluvias de estrellas”. Miquel Serra-Ricart (IAC).

### Más información:

<http://www.iac.es/galeria/agomez/curso2001/>

## Charlas de la OTPC

Los técnicos de la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC), Javier Díaz Castro y Federico de la Paz, dieron las siguientes charlas:

- “La Ley del cielo y el ahorro energético” (12/5). III Jornadas de Ingeniería Insular organizadas por el colectivo de ingenieros de Canarias, Madeira y Azores, en Tenerife.
- “El impacto medioambiental en el cielo nocturno, causas y soluciones” (14/5). Jornada Técnica de Gestión Pública organizada por la Diputación de Barcelona.

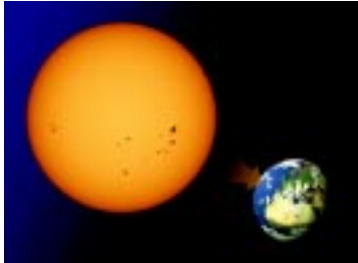


## Ciencia y Pseudociencia

Organizado por el Vicerrectorado de Extensión Universitaria de la Universidad de La Laguna dentro de su oferta de cursos interdisciplinares, el curso “Ciencia y Pseudociencia en el umbral del siglo XXI” contó con la participación de varios investigadores del IAC. El curso estuvo dividido en dos módulos, uno dedicado a “La Ciencia en el siglo XX: Los grandes hitos y la Astrofísica Moderna” (del 7 de marzo al 5 de abril) y el otro sobre “Sociedad, Ciencia y Pseudociencia” (del 29 de abril al 8 de mayo). Intervinieron por parte del IAC:

- Inés Rodríguez Hidalgo: “Método científico: hacia una comprensión racional del Cosmos”.
  - Basilio Ruiz Cobo: “¿Cómo desciframos hoy el Universo?”.
  - César Esteban López: “Arqueoastronomía y pseudociencia” y “Astrología: la génesis y evolución de un mito”.
  - Verónica Motta Cifuentes: “Astronomía versus Astrología”.
  - Carmen del Puerto Varela: “Astronomía en titulares”.
  - Luis Bellot Rubio: “Amenazas del cielo”.
  - Manuel Vázquez Abeledo: “¿Existe vida inteligente fuera de la Tierra?”.
  - Ramón García López: “El cucurucho dentro del cajón: un día en la vida de un astrónomo”.
- Inés Rodríguez Hidalgo fue, además, coordinadora del Módulo II y moderadora de la mesa redonda sobre “Mitos y realidades en Astronomía”. Jesús Burgos moderó la mesa redonda sobre “Medios de comunicación y pseudociencias”.





## "El Cambio Climático"

Manuel Vázquez Abeledo

Fecha: 08/02/01

Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife. Conferencia Inaugural del Curso 2001 de la Academia Canaria de Ciencias.

Los registros de la temperatura media de la Tierra, desde el siglo XIX, indican un calentamiento que, especialmente en las últimas décadas, ocurre a un ritmo probablemente sin precedentes en los últimos millones de años. Dadas las escalas temporales del fenómeno, tres factores principales pueden ser la causa del calentamiento. 1) El efecto invernadero de ga-

ses como el dióxido de carbono, cuyo contenido en la atmósfera ha aumentado como consecuencia de la quema de combustibles fósiles. 2) El aumento de la radiación solar ligada a la creciente actividad magnética de nuestra estrella desde el siglo XVIII. Diversos mecanismos hacen posible la interacción de la actividad solar con el clima terrestre. 3) La concentración de aerosoles en la atmósfera, como consecuencia de erupciones volcánicas y de la actividad industrial. Al contrario que los anteriores factores, la mayor parte de los aerosoles dan lugar a un enfriamiento. La estimación de las diferentes contribuciones ayudará a discernir entre un origen antropogénico y otro natural del cambio climático. En esta charla se presentaron las perspectivas para el siglo XXI y las posibles consecuencias que puede llevar consigo el aumento de temperaturas. Finalmente se plantearon las diferentes soluciones al problema, que tienen en cuenta los diversos factores sociales, económicos y políticos ligados a la contaminación antropogénica de nuestra atmósfera.

## "La frontera del Universo"

Ignacio García de la Rosa

Fecha: 15/06/01

Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife

Desde un enfoque desprovisto de tecnicismos se aborda una visión actual de la Cosmología, es decir, del estudio global del universo. Los más optimistas piensan que la observación astrofísica está a punto de responder a las "grandes preguntas": ¿Es infinito el universo? ¿Tiene fronteras? ¿Cuál es su futuro? ¿Cómo nació? ¿De qué está compuesto? etc. Lo cierto es que los avances de la astrofísica, al mismo tiempo que han aportado respuestas, han destapado nuevas incógnitas todavía más fascinantes, que darán mucho trabajo a la Física del Siglo XXI. La charla proponía un viaje hasta la "Frontera del Universo", que se inicia en la Vía Láctea y sus alrededores, para continuar por regiones ya cartografiadas, aunque bastante más lejanas. A partir de ahí, sólo existen algunas imágenes del "universo profundo", que nos informan de nuestro pasado más remoto. El estudio de la luz más antigua está aportando valiosa información sobre el universo primitivo. También está permitiendo medir el grado de nuestra ignorancia, pues parece indicarnos que desconocemos más del noventa por ciento del contenido del universo.

## Otras charlas

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO:

- "Una estrella de película" (18/1). Aula del IAC. Curso "La Astronomía en Canarias". Programa para mayores de 55 años de la Universidad de La Laguna.

- "Una estrella de película" (28/3). Colegio Oficial de Farmacéuticos de Santa Cruz de Tenerife.

MARTÍN LÓPEZ CORREDOIRA:

- "Determinismo en la Física Clásica: Laplace vs. Popper o Prigogine" (25/1). Fundación Gustavo Bueno, Oviedo.

ANSELMO SOSA MÉNDEZ:

- "Salidas profesionales para titulados superiores. Un punto de partida en Internet" (20/4). Facultad de Físicas de la Universidad de La Laguna. - "La OTRI del Instituto de Astrofísica de Canarias" (1/6). Sala de Instrumentación del IAC ante un grupo de empresarios.

JUAN CALVO:

- "Metrología y Calidad: Laboratorio de Calibración Eléctrica del IAC" (5/5). ITC de Santa Cruz de Tenerife.

- "Metrología y Calidad: Laboratorio de Calibración Eléctrica del IAC" (6/5). ITC de Las Palmas de Gran Canaria.

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ ESPINOSA:

- "Astronomía en el siglo XXI: Los grandes telescopios" (24/5). Facultad de Matemáticas de la Universidad Complutense de Madrid.

CLARA RÉGULO:

- "El proceso de formación y evolución estelar" (27/6). El Paso (La Palma).

JUAN ANTONIO BELMONTE:

- "El Cielo de los Canarios" (20/3). Centro de la Tercera Edad del Puerto del Rosario (Fuerteventura).

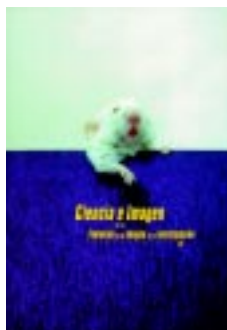
- "Templos, pirámides y estrellas: la astronomía del antiguo Egipto" (5/4). II Jornadas de Astronomía de Yecla, Aula de Cultura Azorin de la CAM Yecla (Murcia).

- "Temples, pyramids and stars: astronomy and culture in ancient Egypt" (9/5). Palazzo Corradini de Ravenna (Italia).

- "El Cielo de los Canarios" (20/5). Centro cultural Asabanos Valverde (El Hierro).

- "Archaeoastronomia dei popoli libici del Nord Africa in contatto con Cartagine e Roma" (22/6). En el Primo Convegno del Solstizio d'Estate a Sardegna. La Sala "El Gettho" de Cagliari (Italia)

- "Astronomia e cultura nell'antico Egitto: ultime scoperte". (22/6). Centro Cultural de Isili (Italia).



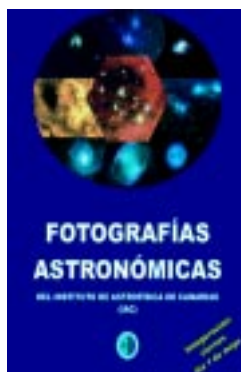
## Ciencia e Imagen

Del 8 de febrero al 4 de marzo, en el Museo de la Ciudad, en Madrid, estuvo abierta la Exposición Ciencia e Imagen. Esta exposición de dibujos y fotografías trataba de recoger una representación de las tecnologías de imagen que se emplean en el mundo científico. Entre las áreas científicas tratadas en la exposición, la Astronomía estuvo representada gracias a las imágenes cedidas por el IAC, entre las que se encontraba una muestra de objetos astronómicos seleccionados y fotografías de las instalaciones telescópicas y del GTC.



## Cielo, Mar y Tierra

Durante el mes de febrero se exhibió en el Museo Elder de Ciencia y Tecnología la exposición "Cielo, Mar y Tierra de Canarias". Esta exposición, organizada por el IAC, formó parte de las actividades desarrolladas con motivo de la Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología.



## Fotografías Astronómicas

El pasado 1 de junio de 2001, se inauguró en el salón de actos del club Tagoro, en Tacoronte (Tenerife), una exposición de fotografías astronómicas. Organizada conjuntamente por el club Tagoro y el IAC, esta exposición consistía en una muestra de fotografías de objetos del Universo tomadas, en su mayoría, por investigadores del IAC y tratadas por Miguel Briganti, miembro de los Servicios Multimedia del IAC, para obtener imágenes en color real. La muestra contaba con ejemplos de nebulosas planetarias, galaxias, nebulosas brillantes de emisión, imágenes del Sol y de manchas solares y una composición sobre el eclipse total de Luna del día 9 de enero de 2001.

## Día Meteorológico Mundial

Con motivo de la celebración del Día Meteorológico Mundial el 23 de marzo, el Instituto Nacional de Meteorología organizó en la Isla de La Palma una serie de actos para dar a conocer la importancia de la meteorología en la sociedad actual. El programa de actos incluía una conferencia sobre la observación astronómica en el Observatorio del Roque de los Muchachos, a cargo del astrofísico *Luis Cuesta*, y una visita a las instalaciones del Observatorio del Roque de los Muchachos.



## Maqueta del GTC

La maqueta del Gran Telescopio CANARIAS (GTC) ha estado expuesta en el Museo "Príncipe Felipe" de Valencia en una muestra que, bajo el título "Claves de la España del siglo XX", organizó la Sociedad Estatal España Nuevo Milenio. En esta muestra se exponen los símbolos que han marcado la evolución del país durante los pasados 100 años. La exposición ha estado abierta desde principios de marzo hasta finales de junio.



## Canarias Innova

El programa de promoción y divulgación científica CANARIAS INNOVA cumple en julio un año en antena, durante los que ha emitido 53 programas en Radio Nacional de España en Canarias. Por ellos han pasado más de 120 expertos para hablar de distintos temas, que han abarcado prácticamente todas las áreas del conocimiento. Página web, <http://www.iac.es/otri>, desde donde se puede acceder al enlace del programa y escuchar todos las emisiones en formato MP3, además de ver fotos de algunos directos, etc.

EDICIONES



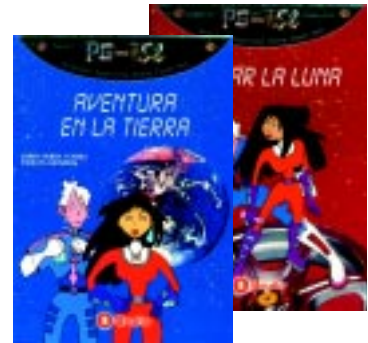
IAC Tecnología

La Astrofísica precisa, para avanzar, de nuevos instrumentos de observación en la frontera de la tecnología. Este reto es fuente inagotable de nuevos desarrollos tecnológicos, que también tienen aplicaciones industriales de uso general. La transferencia de tecnología es posible a través del conocimiento mutuo entre centros de investigación y empresas. El IAC ha editado un nuevo folleto que informa sobre la tecnología de última generación disponible en este centro, de sus capacidades y de sus medios de producción.



European Northern Observatory

El Instituto de Astrofísica de Canarias y sus Observatorios (el Observatorio del Teide, en Tenerife, y el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma) componen un centro español de investigación y de observación, que desde 1979 está abierto a la comunidad científica internacional, constituyendo de hecho el *European Northern Observatory* (ENO). A esta organización europea para la astronomía en el Norte está dedicado este folleto, editado por el IAC en el marco del proyecto "Calidad Astronómica de los Observatorios de Canarias (ENO)" (edición sólo en inglés).



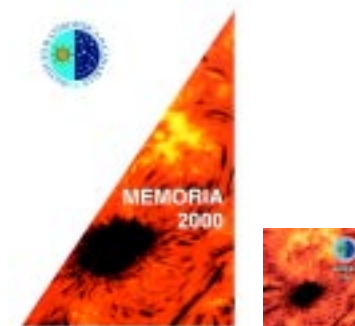
Colaboración Editorial Bruño

La editorial Bruño ha editado los primeros números de una nueva colección dirigida al público joven. Con el título "Patrulla Galáctica Siete Cinco Dos", esta colección dedica un volumen a cada uno de los planetas del Sistema Solar, además de los correspondientes al Sol y a la Luna. Los libros pretenden, a través del grupo de personajes que componen esta singular patrulla, acercar nuestro sistema solar al lector en clave de ciencia-ficción. Cada número se acompaña de un cartel desplegable que recoge los datos y características más relevantes del planeta tratado desde un punto de vista científico. *Luis Cuesta*, asesor científico del Gabinete de Dirección del IAC, ha elaborado los carteles de los números dedicados a la Tierra y la Luna.



Ciclo solar y Clima terrestre

La Agencia Europea del Espacio ha editado el libro *The Solar Cycle and Terrestrial Climate*, que recoge las contribuciones a la primera Euroconferencia SOLSPA (*Solar and Space Weather Euroconferences*) del mismo título, celebrado en Santa Cruz de Tenerife, del 25 al 29 de septiembre de 2000.



Memoria del IAC

El IAC ha editado, en papel y en CD, la Memoria correspondiente al año 2000, donde se recoge la actividad anual del Consorcio Público IAC en todas sus áreas, así como la labor realizada en el campo de la divulgación.



Becas de Verano

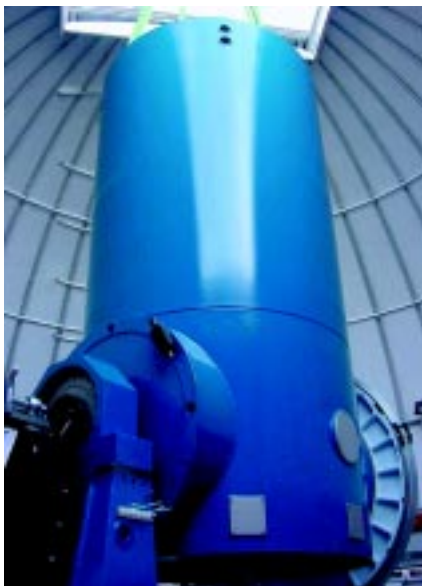
Como todos los años, el IAC ha editado el cartel correspondiente a la convocatoria de becas de verano en este Instituto.



Representantes belgas y españoles, en la firma del acuerdo de adhesión de Bélgica.

## Firma con Bélgica

En un acto que tuvo lugar el día 14 de febrero, en el Ministerio de Asuntos Exteriores, en Madrid, Bélgica se adhirió formalmente a los Acuerdos Internacionales en materia de Astrofísica, condición necesaria para poder instalar telescopios en los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias. Este país ya contaba con un telescopio en los observatorios canarios: el telescopio Mons, de 50 cm de diámetro, propiedad de la Universidad de Mons e instalado en el Observatorio del Teide, en 1972. Hoy se dedica a trabajos fotográficos y de fotometría de estrellas variables, además de ser utilizado por los estudiantes de Astrofísica de la Universidad de La Laguna para realizar sus prácticas.



Más recientemente, se ha instalado y ya ha entrado en funcionamiento en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) el telescopio Mercator, de 1,2 m, perteneciente a la Universidad Católica de Lovaina. Este telescopio, que tuvo su primera luz el día 16 de enero de 2001, se destinará principalmente a proyectos que requieran observaciones prolongadas, como astrosismología, o flexibilidad para observar sucesos repentinos, como explosiones de supernovas o erupciones de rayos gamma o rayos X.

*Telescopio Mercator, instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).*

## Reunión del CCI

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios del Teide, en Tenerife, y del Roque de los Muchachos, en La Palma, celebró su 45ª reunión ordinaria el 26 de junio de 2001, en Bolonia (Italia). En esta reunión se trataron, entre otros temas, la adhesión de nuevos miembros a los Acuerdos Internacionales en materia de Astrofísica (Finlandia y Países Bajos), el estado de las instalaciones telescópicas existentes (ING, NOT, DOT, THEMIS, TNG, HEGRA) y de los nuevos proyectos de instalación (GTC, telescopio Magic, NSST) y la nueva sede del IAC en La Palma. Además, se presentó el informe del Grupo de Trabajo del ENO (*European Northern Observatory*), resultado de la reunión celebrada el día anterior, y se crearon los grupos de trabajo para avanzar en la cohesión de esta organización europea de astronomía en el norte. También se presentó el Informe Anual del CCI correspondiente al año 2000.



Portada del Informe Anual del CCI del año 2000.

## Convenio con Iberia



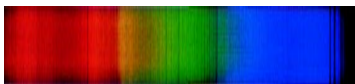
Francisco Sánchez, *Director del IAC*, y Manuel Hernández Sigut, *Gerente Comercial de Iberia para Canarias Occidental*.

El Director del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), *Francisco Sánchez*, y el Gerente Comercial de la Compañía Iberia para Canarias Occidental, *Manuel Hernández Sigut*, acompañado de la Jefa de la Unidad de Ventas Directas de dicha empresa, *María Rosa García Domínguez*, firmaron el pasado lunes, 30 de abril, la renovación del acuerdo por el cual Iberia concede al IAC descuentos del 40% sobre tarifas completas y del 20% sobre tarifas promocionales publicadas hasta un importe de 10 millones de pesetas, así como facilidades especiales para congresos que organice el Instituto.

Por su parte, el IAC se compromete a promocionar la compañía Iberia en sus diferentes boletines y publicaciones, figurando Iberia como patrocinador y transportista oficial de los congresos o reuniones científicas que se celebren organizados por el IAC durante la vigencia del acuerdo.

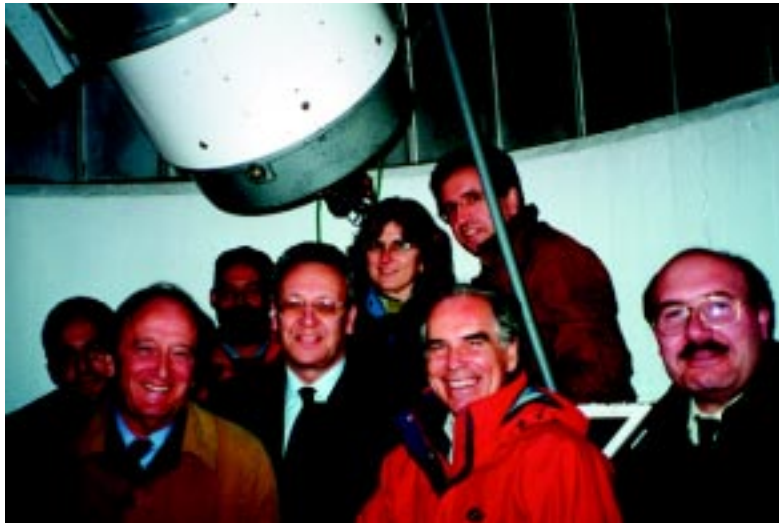
## LA JERGA DE LAS ESTRELLAS

### Desplazamiento al rojo/azul



Recomendación de la Comisión de Terminología Astronómica de la Sociedad Española de Astronomía (SEA)  
<http://sea.am.ub.es/>

Con cierta frecuencia se leen los términos ingleses *redshift* y *blueshift* en textos científicos escritos en castellano. Sin embargo, se refieren a nociones que no presentan dificultades especiales para su traducción correcta a nuestra lengua. De manera tradicional se han venido empleando también las formas castellanas resultantes de combinar los elementos siguientes: *desplazamiento al rojo*, *corrimiento hacia el azul*,... Todas estas formas parecen correctas y describen a la perfección el efecto a que se refieren: el cambio de la longitud de onda de la radiación emitida por un objeto debido a diversos procesos físicos. Como suele ocurrir en las lenguas latinas, no hay por qué dejarse vencer por la pereza a la hora de emplear términos algo más largos que los equivalentes en inglés. Aunque todas las formas castellanas se utilizan y son correctas, la Comisión de Terminología Astronómica de la Sociedad Española de Astronomía recomienda de manera preferente las que contienen “desplazamiento” y, por ser más concisas, las que emplean “al” en vez de “hacia el”: “desplazamiento al rojo”, “desplazamiento al azul”.



El Comisario Europeo, en el centro de la imagen, y acompañantes, en su visita al Observatorio del Teide, en Tenerife.

## Comisario Europeo Philippe Busquin



El Comisario para Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Comisión Europea, *Philippe Busquin*, junto con el Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica, *Ramon Marimon*, y el Eurodiputado y Presidente de la Comisión de Industria, Comercio Exterior, Investigación y Energía, *Carlos Westendorp*, visitaron los pasados 23 y 24 de febrero el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y sus Observatorios del Teide (OT), en Tenerife, y del Roque de los Muchachos (ORM), en La Palma. Acompañaron esta visita privada el Vicepresidente del Gobierno de Canarias,

*Adán Martín*, en el OT, el Presidente del Cabildo de Tenerife, *Ricardo Melchor*, en el Instituto (La Laguna), y el Alcalde de Garafía, *Abilio Reyes*, en el ORM. Por parte del IAC lo hicieron su Director, *Francisco Sánchez*, los miembros del Comité de Dirección del Instituto, los Administradores de los respectivos Observatorios y otros miembros del IAC y del "Gran Telescopio Canarias" (GTC).

Esta visita comenzó con las instalaciones del Observatorio del Roque de los Muchachos, en concreto los telescopios NOT, TNG, WHT, Mercator y la obra civil del GTC. También participaron en una observación nocturna de nebulosas planetarias en el Supercúmulo de Virgo, con el telescopio "Isaac Newton" (INT), de 2,5 metros, perteneciente al *Isaac Newton Group of Telescopes* (ING), del *Particle Physics and Astronomy Research Council* (PPARC). Al día siguiente visitaron el Instituto de Astrofísica en La Laguna y el Observatorio del Teide. En concreto accedieron a los telescopios Themis, OGS y al Laboratorio Solar. También observaron el Sol, Venus, Júpiter y Saturno, con el telescopio Mons, y participaron en una observación nocturna de distintos objetos astronómicos, con el telescopio IAC-80.

Philippe Busquin nació en Feluy (Bélgica), el 6 de enero de 1941. Licenciado en 1962 en Ciencias Físicas, por la Universidad Libre de Bruselas (ULB), Diplomado universitario en Filosofía (ULB) en 1971, y con estudios de tercer ciclo en Medio Ambiente-Orientación ecológica, hábitat natural, y zonas contaminadas (ULB), ha sido Profesor asociado de Física, en la Facultad de Medicina de la ULB (1962-77), Profesor de la Escuela Universitaria de Profesorado de Nivelles (1962-77) y Presidente de la Junta Directiva del IRE (Instituto de Radioelementos) (1978-80). Inició su carrera política en 1977 como Diputado y, posteriormente, Ministro de Educación

Nacional, de Estado y de otras carteras ministeriales en su país. De 1995 a 1997 fue Vicepresidente del Partido Socialista Europeo. Desde junio de 1999 es Diputado electo al Parlamento Europeo y, desde septiembre de ese año, Miembro de la Comisión Europea, en el área de Investigación y Desarrollo Tecnológico.



El Comisario Busquin y acompañantes, en su visita al Instituto, en La Laguna; en el Laboratorio de Óptica del IAC y en la explanada del GTC, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

## Divulgación

En el primer semestre del año, entre alumnos de diferentes centros de enseñanza (medias y superiores), así como participantes en congresos, equipos de filmación y particulares, 2.881 personas visitaron el Observatorio del Teide (de las cuales 2.500 lo hicieron el Día de Puertas Abiertas Solares con motivo del Día Internacional Sol-Tierra), 1.398 el Observatorio del Roque de los Muchachos y 203 el Instituto, en La Laguna.

## LA REALIDAD DE LA FICCIÓN



**Héctor Castañeda**  
(IAC)

### Gravedad en el espacio

*No hay arte como el cinematográfico, capaz de crear nuevos mundos alternativos, sólo limitado por la imaginación de sus creadores. Pero, tal como dijo Pablo Picasso, «el arte es la mentira que nos hace comprender la verdad». La intención de esta sección es llamar la atención sobre aquellos momentos en que una buena recreación de la realidad nos provee, de manera inadvertida, de un mayor conocimiento científico.*

Empezaremos nuestro camino en el espacio. En las próximas décadas es muy probable que veamos las primeras exploraciones a los planetas más cercanos del Sistema Solar. Marte será, seguramente, el primer candidato. Sabemos, gracias a documentales, que en el espacio exterior se experimenta la sensación de ingravidez o, más precisamente, microgravedad.

Dada la dificultad de representar ese estado en una película, a menos que las escenas se filmen en órbita terrestre (prohibitivamente caro) o bien en aviones en caída libre (tal como se hizo en Apolo XIII), que permiten una sensación de ingravidez por unas decenas de segundos. Más fácil resulta plantear la existencia de una gravedad artificial, similar a la terrestre, y creada de una manera vaga y pseudocientífica.

Pero, ¿cuál sería la manera de representar gravedad artificial en el espacio? Ante todo, debemos definir qué entendemos por gravedad. De una manera simplificada, la fuerza de gravedad representa la atracción entre masas como, por ejemplo, la que experimenta la Tierra en relación con el Sol. Es decir, para generar un campo gravitatorio hay que tener masa.

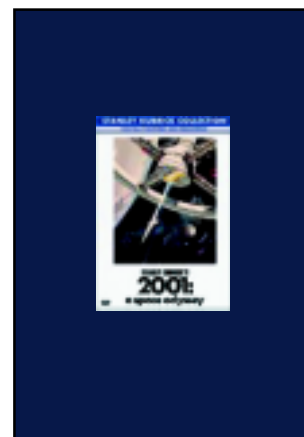
Dado que el resultado final de la fuerza gravitatoria es experimentar una aceleración, un resultado similar puede alcanzarse a través de un movimiento de rotación. La rotación de un cuerpo genera la llamada aceleración centrífuga, una aceleración en la dirección radial, perpendicular al eje de rotación. Por ello, si nos ponemos en el exterior de una rueda que gira con la adecuada velocidad de rotación, podríamos sentir en nuestro cuerpo una aceleración similar a la terrestre, que nos empujaría a caer hacia afuera del cuerpo en rotación. Esta solución al problema de generar el efecto de una gravedad artificial en el espacio fue ya sugerida por el pionero astronáutico ruso K.E. Tsiolkovski, a principios del siglo XX, y popularizada por Werner Von Braun, en la década de los cincuenta, divulgando la idea de una estación espacial en forma de rueda.

Pero la representación más espectacular de esta idea se encuentra en *2001. Odisea del Espacio*, la película de Stanley Kubrick de 1968, basada en la novela homónima de Arthur C. Clarke. Salvo por motivos de coste, no hay nada en la estación espacial en forma de una gigantesca rueda, donde atraca la nave Orión de camino a la Luna, que no sea tecnológicamente factible. El acceso radial desde el centro hacia el área exterior permite a los viajeros una adaptación gradual a las nuevas condiciones de vida. La rotación hace que la aceleración centrífuga haga las veces de gravedad, con la dirección de la aceleración apuntando radialmente hacia afuera. Incluso su tamaño es apropiado, pues una estación de menores dimensiones requeriría una rotación más rápida para simular la aceleración terrestre, lo cual sería malo fisiológicamente para el cuerpo

humano que, como se sabe, sólo puede tolerar rotaciones moderadas de un cuerpo. La rotación tiene que ser lenta, porque el cuerpo humano siente náuseas y otros efectos colaterales. En un rasgo de extremo realismo, muy apropiado de la personalidad de Kubrick, los planos en el interior de la estación muestran los pisos curvados. En una situación real, los actores siempre estarían caminando perpendiculares al piso.

La gravedad artificial generada de esta manera eliminaría muchos problemas fisiológicos asociados a la exposición a la microgravedad (pérdida de fluido corporal, pérdida de densidad ósea, etc), que se prevé ocurrirá en viajes de larga duración como los que requerirá la exploración del Sistema Solar. Por eso, los astronautas de la nave Discovery realizan su vida diaria en una gigantesca cámara centrífuga en el centro de control de la nave, bajo la atenta mirada de HAL 9000.

El elevado coste que supone enviar material al espacio no permite llevar a la práctica las ideas de ingenieros y artistas. Pero seguramente las generaciones futuras verán navegar en el espacio la estación espacial, heredera de esos sueños de ingenieros, científicos y artistas de nuestra época.





# GRAN TELESCOPIO CANARIAS (GTC)

## Presentación en Madrid del Gran Telescopio CANARIAS

Con objeto de que la sociedad española conociera mejor el Proyecto GRAN TELESCOPIO CANARIAS (GTC) -el primer proyecto de "gran ciencia" liderado por España-, el Ministerio de Ciencia y Tecnología y el Gobierno de Canarias, partícipes de la sociedad GRANTECAN, empresa pública que construye este telescopio, presidieron conjuntamente un Acto de Presentación en Madrid de este proyecto. Esta presentación tuvo lugar el pasado 19 de abril, en el Salón de Actos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).

*Presentación del proyecto GTC en el Salón de Actos del CSIC, presidida por la Ministra de Ciencia y Tecnología, Anna Birulés, el Presidente del Gobierno Autónomo de Canarias, Román Rodríguez, el Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica, Ramon Marimon, el Presidente del CSIC, Rolf Tarrach, y el Director del IAC, Francisco Sánchez.*





# EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS EN EL “PUNTO DE MIRA”

NATALIA ZELMANN (IAC)

También la Astrofísica avanza gracias al pasado. Es una ciencia que estudia el origen del cosmos indagando en aquello que, distante en el tiempo y el espacio, llega a nosotros y nos desvela la historia, por ejemplo, del nacimiento de una estrella, de una galaxia o, incluso, del propio Universo. Ésta es la meta del proyecto “Gran Telescopio CANARIAS” (GTC), a cuya presentación en sociedad, desarrollada el pasado 19 de abril, asistieron más de 500 invitados. Promovido por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), este telescopio, que verá su primera luz en el año 2003, será por sus prestaciones uno de los más avanzados del mundo. Su espejo primario segmentado, de 10,4 metros de diámetro, permitirá dar un gran paso en el estudio del Universo.

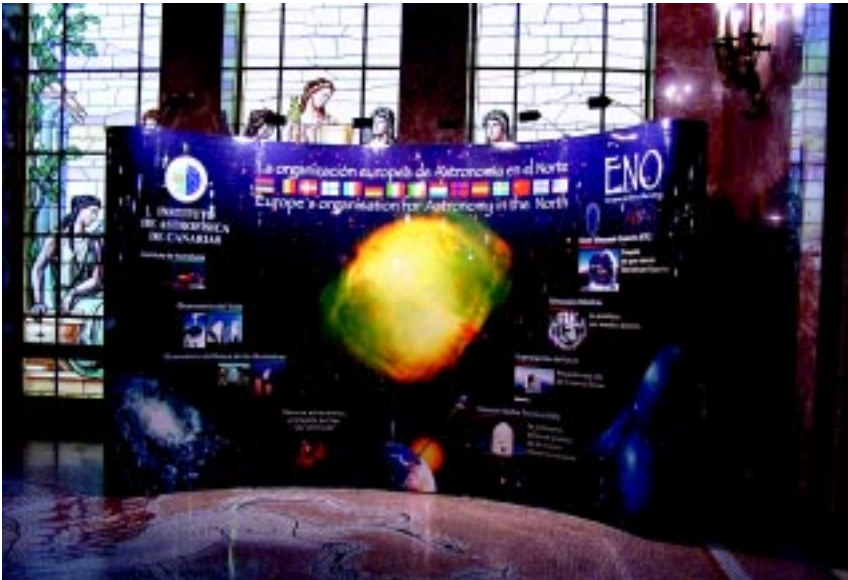
Desarrollado en el Salón de Actos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en Madrid, y presidido por la Ministra de Ciencia y Tecnología, **Anna M. Birulés i Bertran**, el Acto de Presentación del GTC fue convocado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y el Gobierno Autónomo de Canarias -ambos socios de la empresa pública GRANTECAN, que construye el telescopio- y organizado por el IAC.

La finalidad de este acto fue la de acercar a la sociedad española el primer proyecto de “gran ciencia” liderado por España. Con este fin se desarrollaron dos sesiones, el propio acto de presentación por la tarde y, previamente –en la mañana del mismo día 19-, una rueda de prensa para facilitar a los medios

de comunicación la documentación necesaria y, posteriormente, atender las preguntas de los periodistas. En este encuentro estuvieron presentes **Ramon Marimon i Suñol**, Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica y Presidente del Consejo de Administración de la empresa pública GRANTECAN; **Urbano Medina Hernández**, Director General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias; **Francisco Sánchez Martínez**, Director General del IAC; **Pedro Álvarez Martín**, Director General de GRANTECAN; **Vicente Gómez Domínguez**, Director General del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) y **José Miguel Rodríguez Espinosa**, Director Científico del GTC.



A la izquierda, pancarta con la imagen del GTC situada en la puerta principal de la sede del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Madrid. Arriba, edificio central del CSIC. A la derecha, paneles expositivos con motivo de la presentación del proyecto GTC, situados en la entrada al Salón de Actos del CSIC.



En la rueda de prensa, **Ramon Marimon** señaló que estamos ante “una iniciativa emblemática que va a marcar el antes y el después de la investigación científica y tecnológica en España”. Una afirmación que subrayó **Francisco Sánchez** al incidir en que “ahora sabemos que desde la Tierra podemos realizar investigaciones que antes requerían salir al espacio”.

## PARTICIPACIÓN INTERNACIONAL

**Francisco Sánchez** también hizo referencia a la desconfianza inicial de algunos países que dudaban del éxito del proyecto: “Al principio había reticencias para involucrarse, porque no creían que fuésemos capaces de hacerlo. Pero España decidió con juicio arrancar sola el proyecto y ahora, cuando ven que lo hemos conseguido, nuestros colegas pugnan por poder participar”. De momento ya se cuenta con la firma del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) de México y el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), además de los preacuerdos firmados con la Universidad de Florida. Todas estas instituciones están ya implicadas en el diseño y la construcción de instrumentación para el telescopio. Según **Pedro Álvarez**, en este momento el porcentaje de participación internacional significa un 10 %, “con la posibilidad de alcanzar pronto un 15 % si la Universidad de Florida formaliza el preacuerdo existente”, y se sigue avanzando en las conversaciones con otros países. **Ramon Marimon** destacó la importancia de que ésta sea “la primera vez” que Estados Unidos tome parte en una iniciativa científica y tecnológica española, sin olvidar que “con el GTC Canarias pasa





Imágenes del Acto de Presentación del proyecto GTC en el Salón de Actos del CSIC, en Madrid. (También, en la página de la derecha).



a ser la gran referencia científica para la astrofísica española e internacional” y “sitúa a España en la primera línea mundial de la investigación astrofísica”.

Actualmente están implicadas en la construcción del GTC un gran número de empresas europeas y, en concreto, un 63 % se está llevando a cabo por empresas españolas. Tal y como afirmó la Ministra de Ciencia y Tecnología, **Anna M. Birulés i Bertran**, en la presentación oficial del proyecto, -en la tarde del 19 de abril- es una “demostración de que los españoles podemos hacer instalaciones de gran ciencia de alcance internacional uniendo a nuestros investigadores y tecnólogos” y añadió que el proyecto es un “ejemplo paradigmático de la simbiosis que puede existir entre la investigación básica, la generación de capacidades tecnológicas y la movilización de nuestras empresas en su apuesta por generar nuevos desarrollos e innovaciones al comprometerse en la construcción de estas nuevas iniciativas”.

En la presidencia del acto de presentación estuvieron también **Rolf Tarrach Siegel**, Presidente del CSIC, **Román Rodríguez Rodríguez**, Presidente del Gobierno Autónomo de Canarias, **Ramon Marimon i Suñol**, y **Francisco Sánchez**.

El acto en sí contó con la proyección de un vídeo de presentación y varias intervenciones a cargo de responsables relacionados con el proyecto: **Pedro Álvarez Martín**, como Director General de la sociedad GRANTECAN, en su charla “Desafíos del GTC”, hizo una introducción sobre los escollos que debe superar un proyecto de esta envergadura a lo largo de su desarrollo. **Vicente Gómez Domínguez**, Director

General del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), en su conferencia titulada "Implicación de las empresas españolas", destacó la importancia de la participación de empresas de nuestro país en el proyecto. Por su parte, en la charla "Ciencia con el GTC", **José Miguel Rodríguez Espinosa**, Director Científico del GTC, explicó cuáles

serán los trabajos que se desarrollarán con el Gran Telescopio CANARIAS. "España en la Astronomía del siglo XXI" fue el título de la última conferencia, ofrecida por **Francisco Sánchez Martínez** como Director General del IAC y Secretario del Consejo de Administración de GRANTECAN, quien situó el gran avance e importante papel que ha desempeñado nuestro país en los últimos años dentro de la Astrofísica y proyectó las ventajas estratégicas de España en el nuevo siglo.



*Imágenes de la rueda de prensa con motivo del Acto de Presentación del proyecto GTC en el Salón de Actos del CSIC. En este encuentro estuvieron presentes Ramon Marimon i Suñol, Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica y Presidente del Consejo de Administración de la empresa pública GRANTECAN; Urbano Medina Hernández, Director General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias; Francisco Sánchez Martínez, Director General del IAC; Pedro Álvarez Martín, Director General de GRANTECAN; Vicente Gómez Domínguez, Director General del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) y José Miguel Rodríguez Espinosa, Director Científico del GTC..*

Tras la presentación, tanto los miembros de la mesa como los invitados al acto (personalidades destacadas del ámbito científico, empresarial y político, además de los medios de comunicación) pudieron conversar acerca de los contenidos de la presentación y valorar el impacto de la misma en la sociedad. El mundo empresarial y la comunidad científica, especialmente la relacionada con la Astrofísica y la Física en general, tuvieron una presencia significativa en este acto -entre los invitados se encontraban los representantes de las empresas contratadas por GRANTECAN así como miembros de la Real Academia de Ciencias, de la Sociedad Española de Astronomía y del Comité Científico Asesor del GTC- que aprovecharon la ocasión para intercambiar impresiones.

La gran asistencia de invitados, que abarrotó la sala, y el incondicional apoyo de los representantes de todas las entidades implicadas, fue una clara demostración del interés suscitado por este proyecto en la sociedad española. Se ha puesto de manifiesto que el mundo de la ciencia y la tecnología, así como la investigación y sus productos, aplicables a campos diversos como las telecomunicaciones o la medicina, pueden suscitar un gran

interés entre la opinión pública, dejando patente que, como afirmaba **Francisco Sánchez**, "el objetivo de la Astronomía es científico y cultural, pero también estimula el desarrollo tecnológico de la sociedad" haciendo que, con proyectos como éste, evolucionemos a través del estudio de nuestro propio origen y avancemos gracias al pasado.

El pasado mes de abril tenían lugar, en las sedes del IAC y de GRANTECAN, las revisiones del diseño de los instrumentos ELMER y OSIRIS y la cuarta revisión general de la evolución del proyecto del GTC (*Project Progress Review, PPR4*). Tras estos encuentros, el Comité Científico Asesor (SAC) de este telescopio se reunió para valorar las primeras impresiones como resultado de estas revisiones. A continuación se ofrece el resultado de breves entrevistas con dos de sus miembros: José Cernicharo, Profesor de Investigación del CSIC en el Instituto de Estructura de la Materia, y Luis Colina, Investigador del CSIC en el Instituto de Astrofísica de Cantabria.

**P- ¿Cuál es su opinión con respecto a un instrumento de investigación como el GTC, desde un punto de vista general?**

**R- (Cernicharo)** Es un instrumento que nos va a permitir acceder a observaciones que antes eran muy difíciles de realizar porque no disponíamos de la instrumentación adecuada. Es un proyecto que verdaderamente representa un desafío, tanto desde el punto de vista tecnológico como desde el punto de vista científico y de instrumentación. Se va llevando hacia delante en los plazos adecuados y personalmente creo que representará un gran empuje para la astronomía española.

**R- (Colina)** El GTC abrirá unas puertas extraordinarias a la investigación astrofísica para toda la comunidad española y nos va a poner a la altura de los demás grupos europeos y americanos de carácter mundial cuando se haga una realidad dentro de dos o tres años.



José Cernicharo

**P- ¿Qué piensa de la participación por parte de Estados Unidos y de México?**

**R- (Cernicharo)** Me parece que es muy positivo para el instrumento, demuestra una confianza de países que tiene una gran tradición científica y una gran tradición en el campo de la Astrofísica, y es verdaderamente una clara demostración de que el proyecto tiene un alto grado de confianza por parte de instituciones exteriores a España.

**R- (Colina)** Creo que es muy interesante el que se abra el instrumento a otros grupos internacionales que entren a formar parte como socios de este desarrollo, sobre todo en el área instrumental, que es un área en la que España todavía tiene todavía mucha falta de experiencia. Le vendrá bien la participación con otros grupos que tienen más experiencia en ello.

**P- ¿Cómo valora el desarrollo del proyecto tras su última revisión?**

**R- (Cernicharo)** Se han sacado conclusiones, evidentemente, sobre los instrumentos y sobre el estado del proyecto. Es evidente que un proyecto tan complejo puede tener momentos más o menos críticos, y es necesario que se realicen estas evaluaciones para que la comunidad esté informada, en particular para que la Oficina del Proyecto tenga un *input*, es decir, que reciba información por parte de expertos, (como en el caso de los instrumentos, cuyas revisiones han contado con expertos internacionales). En definitiva, creo que es muy positivo que se realicen este tipo de reuniones.

**R- (Colina)** El proyecto va encaminado. Tiene, como todos los proyectos de esta envergadura, sus problemas y dificultades pero, realmente, la gente está muy motivada, tanto en la oficina del proyecto como en los instrumentos y eso es lo que a la larga hace funcionar estas cosas: saber resolver todos los problemas y todas las dificultades que tengan a lo largo del camino.



Luis Colina

**P- ¿Considera importante dar a conocer este proyecto al público en general?**

**R- (Cernicharo)** Yo creo que es importante que la opinión pública, los ciudadanos, estén informados de que España está haciendo un proyecto de estas características, un proyecto de muy alta tecnología. Creo que es primordial que la ciencia termine siendo una parte importante de la cultura. En nuestro país, desgraciadamente, por razones históricas, la cultura ha sido siempre una cuestión de humanidades. La ciencia siempre ha sido apartada, y no solamente el GTC, sino todos los aspectos de la ciencia en España (desde el punto de vista de la física, de la biología, etc.) deberían tener un mayor impacto en la sociedad. Por tanto creo que, no solamente en el caso del GTC, sino globalmente, los científicos deberíamos ser conscientes de la importancia que representa para nosotros y para nuestro propio país el que los ciudadanos sean conscientes de que la ciencia existe, que la ciencia tiene muchas contrapartidas en todos los campos de la vida, desde el punto de vista industrial hasta la medicina. En realidad, la gente muchas veces no se da cuenta de que muchos de los instrumentos que se utilizan para curar han sido desarrollados por científicos y por ingenieros, y es una campaña que tiene que ser global, es decir, todo lo que se hace en este país debería ser mucho más conocido por los ciudadanos.

**R- (Colina)** Lo considero muy importante. Creo que el tema de la ciencia básica y la relación que pueda tener con el desarrollo industrial y tecnológico en un país es una cuestión que nadie pone en duda en estos momentos y, efectivamente, el que haya un desarrollo de esta envergadura que se está realizando prácticamente, única y exclusivamente por empresas e institutos españoles, es algo que tiene que conocer el público para darse cuenta de que nuestro país es capaz de llevar a cabo esto y que es absolutamente importante como motor tecnológico de la sociedad.

# MÉXICO FIRMA CON ESPAÑA LOS ACUERDOS QUE FORMALIZAN SU PARTICIPACIÓN EN EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS (GTC)

El acto tuvo lugar en la sede del IAC, en La Laguna (Tenerife)

El pasado 31 de julio se firmaban, en la sede central del IAC, los acuerdos en virtud de los cuales esta institución y la empresa pública GRANTECAN, que gestiona la construcción del Gran Telescopio CANARIAS (GTC), afianzan sus relaciones de intercambio y colaboración con el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

La financiación del GTC se reparte entre el Gobierno Central y el Gobierno de Canarias en un 50% por parte de cada administración. En virtud de los acuerdos firmados con GRANTECAN, las instituciones mexicanas implicadas aportan un 5% del presupuesto del telescopio y de otras actuaciones e inversiones preparatorias previas a su explotación, equivalente a 5,4 millones de euros. Como contrapartida, obtendrán un 5% del tiempo de observación y contribuirán, también con un 5%, a los gastos de operación del GTC, incluyendo, además, intercambio de tiempo de observación entre el GTC y el Gran Telescopio Milimétrico (GTM), de 50 metros, que el INAOE y la Universidad de Massachusetts construyen en la actualidad.

## PROTOCOLO CON EL IAC

Simultáneamente, con el fin de fomentar y afianzar el intercambio científico y tecnológico entre estas instituciones mexicanas y el IAC, se firmó un Protocolo de Cooperación Astrofísica con el INAOE y el IA-UNAM. Este acuerdo incluye programas de intercambio de postdocs y tecnólogos, además de colaboración en futuros proyectos instrumentales.

Según palabras de **José Silviano Guichard**, Director General del INAOE, “es un honor firmar estos convenios por parte de la institución que represento para trabajar juntos y tener acceso a la alta tecnología que nos dan los grandes telescopios, como son el GTC y el GTM, y así poder desentrañar los misterios del universo”.

**René Raúl Drucker Colin**, Coordinador de la Investigación Científica de la UNAM, afirmó que “para

la UNAM, realmente es un placer firmar este convenio a través del cual podemos internacionalizar nuestras actividades científicas y tener impacto a nivel internacional. Sin duda, el fruto de este convenio será de beneficio para el trabajo de todos los que participan en investigación”.

Por otro lado es fundamental que “el proyecto más importante desarrollado por España se abra a la colaboración con México implicando a estas instituciones emblemáticas del país”, según afirmó el Secretario de Estado de Ciencia y Tecnología español, **Ramon Marimon**.

Finalmente, el Presidente del Gobierno de Canarias, **Román Rodríguez**, señaló que la Astrofísica es el área donde más aportan al conocimiento los españoles, destacando el papel del IAC en este desarrollo. Asimismo subrayó que “es muy importante la incorporación de México, país hermano, a este proyecto”, paso que sin duda abrirá el camino a nuevas incorporaciones.

Por su parte, los acuerdos con la Universidad de Florida (que implican la aportación a su vez del 5%, ampliable hasta un 10%) serán firmados en breve, una vez finalizados los trámites internos en dicha universidad. Con estos acuerdos, el GTC formaliza su apertura a la participación de otros países.

Tras la firma de los acuerdos con México se constituyó el “Comité de Seguimiento de Utilización del GTC”, un órgano creado con la finalidad de supervisar y regular el uso del GTC. Este comité está formado por miembros nombrados por cada parte y, tras la futura firma con la Universidad de Florida, ésta también formará parte del comité.



**ASISTENTES A LA FIRMA DE LOS ACUERDOS:**

**FIRMANTES DEL ACUERDO DE PARTICIPACIÓN EN EL GTC ENTRE GRANTECAN E INAOE/ IA-UNAM POR PARTE DE GRANTECAN:**

**Ramon Marimon**

Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica y Presidente de GRANTECAN

**POR PARTE DE IA-UNAM e INAOE:**

**René Raúl Drucker Colín,**

Coordinador de la Investigación Científica de la UNAM

**José Silviano Guichard,**

Director General del INAOE

**FIRMANTES DEL PROTOCOLO DE COOPERACIÓN ASTROFÍSICA ENTRE IAC E INAOE/ IA-UNAM POR PARTE DEL IAC:**

**Román Rodríguez**

Presidente del Gobierno de Canarias (en representación de la Ministra de Ciencia y Tecnología) y miembro del Consejo Rector del IAC.

**POR PARTE DE IA-UNAM e INAOE:**

**René Raúl Drucker Colín,**

Coordinador de la Investigación Científica de la UNAM

**José Silviano Guichard,**

Director General del INAOE.



Además, asistieron a la firma miembros del **Consejo Rector del IAC** y del **Consejo de Administración de GRANTECAN**, el Director Adjunto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), **Alfonso Serrano**, el Director Científico del GTM y miembro del INAOE, **Luis Carrasco**, y la directora del IA-UNAM, **Silvia Torres**.

**Más información:**

Página web de "GRANTECAN, S.A.":

<http://www.gtc.iac.es>

Página web del IAC sobre el GTC:

<http://www.iac.es/gabinete/grante/gtc.html>

Instituciones:

CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México:

<http://www.conacyt.mx/>

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

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

Gran Telescopio Milimétrico (GTM):

<http://www.lmtgtm.org>

Universidad de Florida:

<http://www.ufl.edu>



Las imágenes recogen distintos momentos del acto de la firma de los acuerdos con México el pasado 31 de julio en La Laguna.



# UN MECANO LLAMADO "GTC"

## COMIENZAN A LLEGAR PIEZAS DE LA CÚPULA DEL GRAN TELESCOPIO CANARIAS DESDE VITORIA

El traslado de los contenedores con las diferentes piezas del "Gran Telescopio CANARIAS" (GTC), procedentes de Vitoria, se está llevando a cabo en barco desde Bilbao hasta la isla de La Palma. Desde el puerto palmero son transportadas en enormes camiones hasta el Observatorio del Roque de los Muchachos, donde finalmente será instalado este telescopio de más de 10 metros de diámetro.

Desde el pasado mes de marzo están llegando a las instalaciones del GTC diversos contenedores con piezas de la cúpula. Las primeras remesas incluían, entre otros elementos, los 12 segmentos, de 30 grados cada uno, que componen la viga carril sobre la que girará la cúpula. También traían consigo herramientas para el montaje de la cúpula y tornillería: se van a acoplar un total de 59.000 piezas: 16.000 tornillos (más de 4.000 kg) y 43.000 tuercas (casi 1.500 kg) y arandelas (unos 450 kg). En total, seis toneladas sólo de tornillería.

En julio llegaron once nuevos contenedores con los paralelos y meridianos (el "esqueleto" de la cúpula), además de piezas como anillos base, mecanismos, vigas, cubiertas, carretones (las ruedas), motores y sensores, todos ellos elementos que se irán acoplado paulatinamente. Ya se han instalado las vigas carrileras y los raíles, las piezas sobre las que girará esta enorme estructura que, en conjunto, tendrá 41 m de altura.

En los próximos meses, está previsto que suban al Observatorio un total de 50 contenedores sólo con las piezas de la cúpula. En total, se calcula que serán alrededor de 200 los contenedores que hagan el mismo trayecto hasta el final de las obras de construcción.

### EL SIGUIENTE PASO: LAS "RUEDAS"

El siguiente paso será el montaje de los "carretones", unas cajas rectangulares de unas 200 piezas, con dos ruedas de aleación con capacidad autolubrificante más cuatro ruedas de guiado de menor tamaño, que en conjunto superan, cada uno, la tonelada de peso.

De los veinte carretones, 12 son motorizados, entre ellos todos los carretones dobles (5), que se colocarán en puntos estratégicos con el fin de repartir el peso que soportará la viga. Tres de ellos incorporarán un codificador que hará que el sistema informático proporcione en todo momento datos sobre la posición exacta de la cúpula con respecto al resto de la estructura.

En agosto ha comenzado el traslado de estos 11 contenedores a través de las 498 curvas que tienen los 37 km de recorrido hasta el Observatorio. Está previsto que el montaje de la cúpula, tras recibir el resto de las piezas, comience a lo largo del mes de octubre. Será entonces cuando seamos testigos de cómo va tomando forma la "carcasa" del telescopio.



Imágenes de la llegada al Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, de los contenedores con piezas de la cúpula del GTC.

## DATOS TÉCNICOS

La cúpula estructural tiene forma de casquete esférico de 34 m de diámetro, con una base de 32 m de diámetro y una altura máxima de casi 26 m, equivalente a un edificio de 7 alturas. El conjunto, que tiene un peso de unas 500 toneladas, se apoya en un raíl en su base, de forma que es posible rotar toda la estructura alrededor de su eje de simetría vertical. Se compone de un entramado de meridianos y paralelos en celosía que soporta una chapa esférica de cerramiento exterior así como la estructura soporte del aislamiento térmico interior.

La cúpula tiene dos compuertas de observación móviles, de 13 m de vano, que una vez abiertas permiten al telescopio observar el firmamento. Dichas compuertas se desplazan sobre los raíles de dos vigas de arco circulares que forman parte de la estructura portante de la cúpula.

Adicionalmente, la cúpula dispone de 16 grandes ventanas de ventilación, cada una de ellas de aproximadamente 4 x 4 m, 1.500 kg y forma trapezoidal, cuya finalidad es controlar una adecuada ventilación natural dentro de la cámara del telescopio, clave para el control de temperaturas que precisa

un telescopio de estas dimensiones. Finalmente, existe un último componente móvil, una pantalla antiviento metálica, desplegable a modo de persiana, para proteger al telescopio del posible viento o luces exteriores que pudieran perturbar la observación.

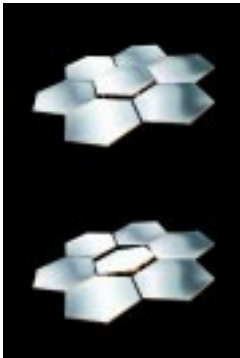
## EMPRESAS ESPAÑOLAS

La cúpula ha sido fabricada al 100 % por empresas españolas. Su construcción se ha llevado a cabo en Vitoria por parte de la empresa alavesa "Construcciones Metálicas URSSA", que forma parte de la Unión Temporal de Empresas (UTE) "GMU", responsable de la ejecución del diseño, fabricación, montaje y pruebas de la cúpula del GTC. Además, componen esta UTE las sociedades "GHESA Ingeniería y Tecnología, S.A.", empresa de Madrid que pertenece al grupo de Empresarios Agrupados y que es responsable de la ingeniería y del suministro de componentes no estructurales, y "MONCOBRA CANARIAS INSTALACIONES, S.A." (MONCAINSA), empresa de instalaciones industriales con sede en Las Palmas de Gran Canaria y perteneciente al grupo nacional COBRA, que asume el montaje definitivo en Canarias.



*Vista general (marzo 2001) de la cúpula del GTC montada para pruebas en la factoría de URSSA, en Vitoria (España). El proceso de montaje y el funcionamiento de la cúpula ha sido probado en factoría para optimizar su montaje final en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma.*

**El pasado mes de mayo, el equipo formado por el catedrático de física aplicada, Leopoldo Acosta Sánchez, el profesor titular y doctor en ingeniería informática Alberto Hamilton Castro y la profesora asociada Marta Sigut Saavedra, recibía el premio "Agustín de Bethencourt 1999" de Investigación, otorgado por CajaCanarias, por el trabajo realizado en el diseño de las estrategias de control de los espejos primarios del GTC. En el siguiente artículo detallan en qué ha consistido su trabajo.**



## **EL SISTEMA DE CONTROL PARA EL ESPEJO PRIMARIO DEL GTC, PREMIO "AGUSTÍN DE BETHENCOURT 1999" DE INVESTIGACIÓN DE CAJACANARIAS**

**EL SISTEMA HA SIDO DISEÑADO POR UN GRUPO DE INVESTIGADORES DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA**

En el año 1997, el Grupo de Computadoras y Control del Departamento de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas de la Universidad de La Laguna tuvimos la oportunidad y el placer de colaborar en el proyecto GTC. Nuestra participación directa, que duró algo más de un año, consistió en el estudio de un sistema de control para el espejo primario del Gran Telescopio CANARIAS (GTC). Este es un aspecto que, aunque muy concreto dentro de un proyecto tan ambicioso y que comprende tantos campos diferentes, es de vital importancia de cara al óptimo funcionamiento del telescopio. Los diez metros de diámetro de su espejo primario, que lo convierten, junto con el Keck en Hawai, en el mayor telescopio del mundo, han hecho necesaria su segmentación en 36 piezas hexagonales. Hay que tener en cuenta que el espejo estará sometido a vibraciones producidas, por ejemplo, por la acción del viento sobre el mismo que, en general, afectarán de forma diferente a los distintos segmentos y, por tanto, tenderán a deformar la superficie del espejo. Además, prescindiendo de estas perturbaciones externas, la propia dinámica del espejo hará que se induzcan vibraciones en el sistema, degradándose igualmente las prestaciones del mismo. Por todo ello, se hace imprescindible algún tipo de política de control que garantice que, en todo momento, los segmentos del primario se comporten como si se tratara de un espejo monolítico, formando una superficie paraboloidal.

La colaboración en el proyecto GTC fue sólo el comienzo de unos años de intenso trabajo de investigación, un trabajo que aún continúa y que ha tenido como fruto, aparte de la publicación en diversos congresos internacionales de reconocido

prestigio, como el *American Control Conference* de los años 2000 y 2001 o el *IEEE International Conference on Control Applications* de 2001, la concesión del premio "Agustín de Bethencourt 1999" de Investigación otorgado por CajaCanarias.

En este tiempo hemos abordado problemas de muy diversa índole que, de una forma más o menos directa, se relacionan con nuestro objetivo final de diseñar un controlador para el espejo primario del Gran Telescopio CANARIAS que cumpla unas especificaciones de calidad estrictas. En primer lugar, llevamos a cabo un análisis de las características dinámicas del espejo tanto en el dominio temporal como en el de las frecuencias, lo que nos permitió, entre otras cosas, estudiar los principales modos de vibración de los distintos elementos que componen el primario del GTC. A continuación diseñamos un primer controlador para eliminar las oscilaciones naturales del sistema. Se trataba de un controlador por asignación de polos diseñado en base a una política de control local-global, es decir, dos acciones de control distintas aplicadas a diferente nivel, cuya viabilidad pudimos estudiar en base a las frecuencias de actuación exigidas para cada una de ellas. En un siguiente nivel, realizamos un análisis de las perturbaciones que afectan al sistema y de las incertidumbres presentes en algunos de los parámetros físicos que lo caracterizan, con el objeto de incorporar ambos efectos en el propio proceso de diseño del controlador. Así, estudiamos las prestaciones ofrecidas por un controlador robusto, una estrategia que incluye tanto las perturbaciones como las incertidumbres en la planta de una forma natural.

El espejo primario del GTC es un sistema multivariable de gran escala y con sus múltiples entradas y salidas interconectadas. Esto hace que el diseño de un controlador robusto y, en general, de cualquier estrategia de control para el espejo sea una tarea muy laboriosa y que entraña un gran número de dificultades. Éstas se refieren no sólo a la complejidad de la síntesis de un controlador con un número elevado de entradas y salidas, sino incluso a limitaciones desde el punto de vista computacional. Por ello, uno de los logros más importantes de nuestra investigación es, sin duda, el diseño de un método para el desacoplo de la dinámica del primario del GTC. Gracias al procedimiento desarrollado, que consiste básicamente en un cambio de la base de vectores propios del sistema, es posible convertir el sistema original en un conjunto de subsistemas más pequeños e independientes los unos de los otros. De hecho, uno de estos subsistemas tiene tantas entradas y salidas como modos (en general  $N$  modos) se consideran para la caracterización dinámica de la estructura que soporta al espejo primario, mientras que el resto son sistemas SISO, es decir, con una única entrada y una única salida. Desde el punto de vista del control, el desacoplo juega un papel fundamental en tanto reduce el problema del diseño de un controlador para un sistema multivariable de gran escala al diseño de un controlador cuya dimensionalidad variará en función de  $N$  y un conjunto de controladores SISO. De esta manera, se abre una puerta al estudio y la aplicación de un gran número de técnicas de control que hubiera sido prácticamente imposible utilizar con la planta original. Concretamente, ya hemos dise-

ñado un controlador por compensación para los sistemas SISO resultantes del desacoplo, lográndose rechazo a ruido justo en la frecuencia de resonancia de los segmentos del primario. En este momento estamos trabajando en la optimización del método de desacoplo del espejo y en el diseño de distintos controladores para el sistema desacoplado.

Actualmente, son varios los grupos de investigación que, en diferentes partes del mundo, trabajan, como nosotros, en el estudio y diseño de políticas para el control activo de grandes telescopios segmentados y, en general, de grandes estructuras flexibles. Además, con los planes de futuro actuales, parece claro que esta línea de trabajo se consolidará e incluso cobrará un mayor auge en los próximos años. En este sentido, cabe destacar sobre todo, el 'Giant Segmented-Mirror Telescope' (GSMT), un gran telescopio con un espejo primario de 30 metros de diámetro que se espera que esté construido antes de que finalice la próxima década. Otro gran telescopio, éste con un espejo primario de 50 metros de diámetro, se planea construir en la isla de la Palma. Al igual que ocurre con el del Gran Telescopio CANARIAS, ambos espejos deberán ser segmentados debido a su gran tamaño y, por tanto, precisarán también de un sistema de control activo de la posición de dichos segmentos.

MARTA SIGUT SAAVEDRA

Profesora asociada del Departamento de Física Fundamental y Experimental de la Universidad de La Laguna.

---

## STARTEC, una colaboración de grandes telescopios



Desde el punto de vista científico, las grandes instalaciones telescópicas tienen un papel muy importante en el avance del conocimiento, y ésta es su principal misión. Sin embargo, debido a que poseen, junto con la Astronomía en sí, un gran potencial para atraer el interés de la sociedad, representan estandartes de la creatividad humana y son vistos como iconos de la ciencia y la tecnología.

Por ello, deben ser utilizados como herramientas para canalizar el conocimiento científico y elevar la cultura de la sociedad. Con esta finalidad nació STARTEC (STate-of-the-ART Telescope Educational Collaboration, Colaboración Educativa de Telescopios de Última Generación) de la primera reunión de los representantes de las actividades educativas de los grandes centros astronómicos mundiales, que tuvo lugar en la sede del Observatorio Astronómico de Sudáfrica en Ciudad del Cabo entre los días 16 y 19 de febrero, con el objetivo de buscar un modelo de colaboración educativa. A esta primera reunión asistieron miembros representantes del Observatorio de Arecibo, en Puerto Rico, del Observatorio de McDonald, en Texas, del Observatorio Nacional de Radioastronomía de EEUU, del Proyecto GEMINI, del Observatorio de Jodrell Bank, en Reino Unido, del Observatorio Astronómico de Sudáfrica, de la NASA, de ESO y del IAC. Luis Cuesta, representando al IAC, en su presentación titulada "The door is open. Educational programs of the Gran Telescopio CANARIAS", explicó las propuestas del centro en este sentido y defendió los intereses del GTC en esta colaboración.

STARTEC tiene un gran camino por recorrer y pretende involucrar a todos los sectores de la sociedad en esta empresa de transmitir el conocimiento. Las actividades más inmediatas son la presentación de la iniciativa en los principales foros de astronomía internacional y la propuesta de incorporación de nuevos miembros como los telescopios KECK o SUBARU.

# REUNIÓN DEL CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN DE GRANTECAN

El pasado 16 de febrero, el Consejo de Administración de GRANTECAN, la sociedad pública creada para la construcción del «Gran Telescopio CANARIAS» (GTC), presidido por *Ramon Marimon Suñol*, Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica, mantuvo una reunión a través de videoconferencia desde la sede de la Presidencia de Gobierno de Canarias, en Tenerife, y desde el Ministerio de Ciencia y Tecnología, en Madrid.

En esta reunión se revisó el estado de desarrollo del proyecto del GTC, que sigue cumpliendo estrictamente los planes previstos y el presupuesto estimado. También se abordó el estado de negociación de los correspondientes acuerdos internacionales, y en concreto los aspectos formales del acuerdo con México.

En las instalaciones de la empresa URSSA<sup>1</sup>, en Vitoria, ya se han realizado las pruebas en factoría de la cúpula del telescopio y, una vez superadas, las piezas fueron desmontadas para el inicio de su traslado a partir del mes de marzo al Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. También se está montando en fábrica, en las instalaciones de la empresa SCHWARTZ-HAUTMONT<sup>2</sup>, en Tarragona, la estructura metálica del telescopio, cuyas pruebas se realizarán durante los meses de septiembre y octubre, estando previsto su traslado al Observatorio en el mes de noviembre. En cuanto a la obra civil, a cargo de la empresa ACS<sup>3</sup>, iniciada en octubre de 1999 e interrumpida durante los pasados meses de invierno por razones meteorológicas, prosigue su ejecución en el Observatorio. En función de estos plazos, se estima que a finales del año 2002 se habrá instalado el telescopio en su cúpula y que, a principios del año 2003, el GTC tendrá su primera luz, a la que seguirá su explotación científica un año después.

<sup>1</sup> La **UTE GMU**, que diseña y construye la Cúpula del GTC, está 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.

<sup>2</sup> La **UTE SG**, que diseña y construye la estructura metálica del telescopio y sus mecanismos de movimiento, está formada por las empresas **GHESA** (Madrid) y **SCHWARTZ-HAUTMONT** (Tarragona). **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.

<sup>3</sup> La empresa **ACS** (Madrid) realiza la construcción de la Obra Civil y tiene delegación en la Isla de La Palma.



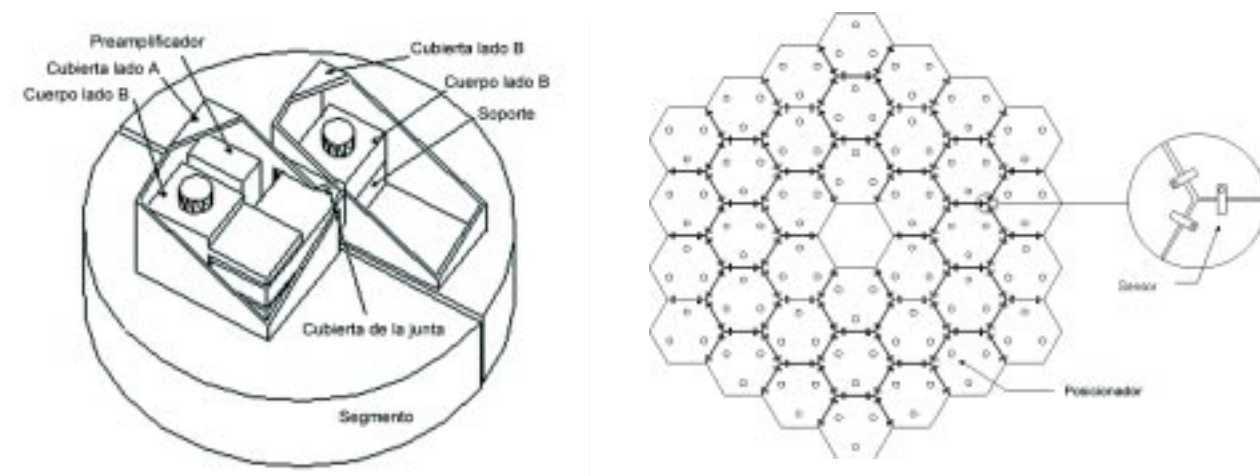
Vista general (julio 2001) de la estructura mecánica del telescopio que se está fabricando y montando en la factoría de Shwartz-Hautmont, en Tarragona (España). El funcionamiento de esta estructura será probado entre los meses de septiembre y octubre de este año 2001. La experiencia del montaje en factoría simplificará el montaje final en el Observatorio.

## FIRMADO EL CONTRATO PARA EL DISEÑO, FABRICACIÓN Y SUMINISTRO DE LOS SENSORES DE BORDE DE LOS SEGMENTOS DEL ESPEJO PRIMARIO DEL GTC

El pasado 9 de abril, en el Salón de Actos del Edificio de Usos Múltiples II, en Santa Cruz de Tenerife, la empresa pública “Gran Telescopio de Canarias, S.A.” (GRANTECAN), firmó con la Unión Temporal de Empresas IDS-UTE (formada por las empresas “Imasde Canarias, S.A.” y “SERVIPORT Canarias, S.A.”) el contrato en virtud del cual esta UTE diseñará, fabricará y suministrará los sensores de borde de los segmentos del espejo primario del GTC, así como la electrónica asociada. Con esta firma se incrementa la importante implicación de empresas españolas en el proyecto de diseño y construcción del GTC. Es de destacar que IDS-UTE, que participó en un concurso público para acceder a este contrato compitiendo con otras entidades de carácter internacional, está integrada por empresas de capital canario radicadas en el archipiélago.

Los sensores de borde que fabricará IDS-UTE son elementos de gran precisión –del orden del nanometro (millonésima de milímetro)- y su misión es determinar la posición relativa entre cada uno de los 36 segmentos del espejo primario y captar los movimientos o desplazamientos no deseados. Esa información es proporcionada al sistema de control, que a través de unos actuadores es capaz de inducir movimientos muy precisos a cada espejo y lograr que los 36 segmentos compongan la figura integrada del espejo primario del telescopio. La precisión de los 172 sensores de borde que se fabricarán es tal, que será posible medir incluso las deformaciones que la fuerza de la gravedad produce sobre cada espejo para que el sistema de control pueda compensarla posteriormente.

La ejecución del contrato se extiende hasta julio del año 2003 y tiene un montante aproximado de 200 millones de pesetas. A la firma, que tuvo lugar en la Sala de Juntas del Edificio de Usos Múltiples II, en Santa Cruz de Tenerife, asistieron el Vicepresidente de GRANTECAN y Consejero de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno Autónomo de Canarias, José Miguel Ruano León, el Secretario de GRANTECAN y Director del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) Francisco Sánchez Martínez, el Director General de GRANTECAN, Pedro Álvarez, y el Gerente de la Unión Temporal de Empresas IDS-UTE, Antonio Lecuona Ribot.



Esquema de los sensores (a la izquierda) y del espejo primario (a la derecha).

# El GTC, día a día



**Vista aérea (julio 2001) de la construcción del edificio que contendrá en su interior el telescopio GTC, protegido con su cúpula. Puede apreciarse el anillo exterior de hormigón y el carril sobre el cual se desplazará la cúpula, la estructura metálica soporte del piso de la cámara del telescopio y el pilar de hormigón sobre el que descansará la estructura del telescopio.**

*"GRAN TELESCOPIO DE CANARIAS, S.A." (GRANTECAN) C/ Vía Láctea s/n (Instituto de Astrofísica de Canarias).  
38200-La Laguna (Tenerife). ESPAÑA. Tel: 922 31 50 31. Fax: 922 31 50 32  
**Direcciones en Internet:** <http://www.gtc.iac.es> y <http://www.iac.es/gabinete/grante/gtc.html>  
Edita: Gabinete de Dirección del IAC.*