



IAC NOTICIAS

Revista del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) N. 2-2001



Instrumentación astrofísica



Última hora

La Comisión de Investigación del Parlamento Europeo visitó el IAC, los días 20 y 21 de enero de 2002

Miembros de la Comisión de Industria, Comercio Exterior, Investigación y Energía del Parlamento Europeo :
Carlos Westendorp y Cabaza (Presidente)
Giles Chichester
Paul Rübig
Sergio Marques
Glyn Ford
Reto Pieslin
Ralf Linkohr
Erl Mørch
Ely Ploidi-Vin Gorsol
Kostasinos Alysandris

Acompañados por :
Barcen Martínez, Secretario de Estado de Política Científica y Tecnología del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT)
Manuel de Hermeñilde, Director General de Investigación del MCT
Alonso Arco, Presidente de la Comisión de I+D del Senado
Francisco Sánchez, Director del IAC,
y otros investigadores de este Instituto.



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 Amia Domènech
Asesoramiento científico: *Luis Cuesta*
Asesoramiento técnico: *Juan Calvo*
Directorio y distribución: *Ana M. Quevedo*
Diseño original: *Gotzon Cañada y Carmen del Puerto*
Edición digital: *M.C. Anguita*
Dirección web: <http://www.iac.es/gabinete/iacnoticias/digital.htm>
Fotografías: *Servicio Multimedia del IAC (SMM), Gabinete de Dirección y otros*
Tratamiento digital de imágenes: *Gotzon Cañada y SMM del IAC*
Edita: *Gabinete de Dirección del IAC*
Preimpresión e Impresión: *Producciones Gráficas*
Depósito Legal: TF-335/87 ISSN: 0213/893X. Núm. 50.

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.

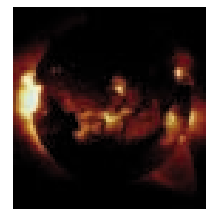
FOTO DE PORTADA: Cámara espectrógrafo LIRIS, desarrollada en el IAC, durante las primeras pruebas de criogenia.
Foto: *Miguel Briganti (SMM/IAC)*. Tratamiento: *Gotzon Cañada*.

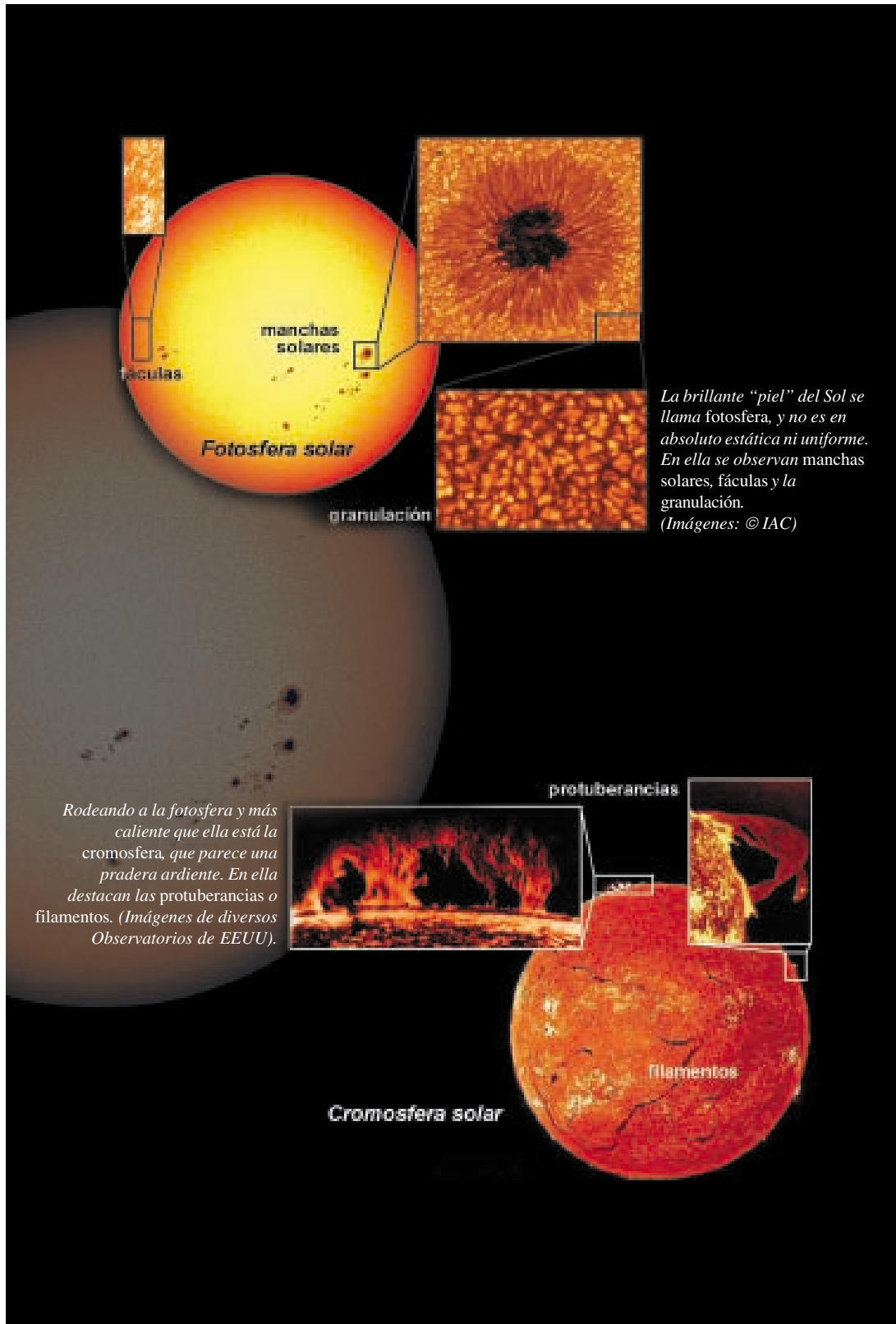
La estrella de nuestra vida

Cuanto más avanzamos en el estudio del Sol, más misterios nos desafían. La nuestra es una estrella fascinante, dinámica y turbulenta. Y necesitamos conocerla muy bien porque el Sol es, sin duda alguna, la estrella de nuestra vida. Por esta razón y con motivo del V aniversario de la puesta en marcha del satélite solar SOHO, las agencias espaciales europea y americana (ESA y NASA) dedicaron el año pasado un esfuerzo especial a la divulgación de la investigación del Sol y de sus efectos en el planeta Tierra. El IAC, el Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna y el Museo de la la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, entre otros, se sumaron a la celebración del Día Internacional Sol-Tierra. Hoy, los observatorios de Canarias albergan el más completo conjunto de telescopios y otros instrumentos para la investigación solar, que seguirá aumentando en el futuro.



**Inés Rodríguez
Hidalgo**
(ULL/IAC)





Los antiguos griegos pensaban que el Sol era eterno e inmutable, una esfera perfecta. Pero hace ya casi cuatro siglos Galileo observó por primera vez su superficie a través de un telescopio, descubriendo en ella regiones oscuras llamadas *manchas solares*, que emergen, cambian y desaparecen. Hoy sabemos que las manchas son uno de los fenómenos magnéticos que ocurren en el Sol. Su número e intensidad aumenta y disminuye aproximadamente cada 11 años a lo largo del llamado *ciclo de actividad solar* (en Astrofísica, «actividad» designa lo relacionado con el magnetismo), y a este ciclo se superponen variaciones temporales más lentas. La cantidad de energía emitida por el Sol es mayor en épocas de máxima actividad, como la de los últimos años, lo que hace a nuestra estrella parcialmente responsable del cambio climático en la Tierra. Además, a escalas de tiempo mucho más cortas, el espacio interplanetario en que domina el campo magnético solar es afectado por fenómenos transitorios, principalmente emisiones de partículas cargadas -a veces tan violentas que producen *tormentas magnéticas*- que constituyen el *clima o medioambiente espacial*. A pesar de la protección de la *magnetosfera* o escudo magnético terrestre, el clima espacial influye notablemente sobre nuestro entorno: causa las espectaculares *auroras boreales y australes*, normalmente en latitudes próximas a los polos, afecta a los satélites y naves espaciales, sus instrumentos y tripulantes, y perturba las comunicaciones y hasta las redes de tuberías y fluido eléctrico y los aparatos magnéticos en Tierra. Aunque a simple vista el Sol no parece cambiar, una observación más atenta y cuidadosa, como la que realizan los físicos solares con potentes telescopios e instrumentos en Tierra y en el espacio, revela que *convivimos con una estrella fascinante, dinámica y turbulenta*.

El Sol es una más de los doscientos mil millones de estrellas que componen nuestra galaxia, la Vía Láctea. La Tierra y los otros planetas del Sistema Solar describen órbitas elípticas alrededor del Sol. La distancia promedio de nuestro planeta a él es de unos 149 millones de km, por lo que siempre vemos el Sol como era hace 8 minutos, el tiempo que su luz tarda en alcanzarnos. Veamos ahora algunos de sus "datos de

«La cantidad de energía emitida por el Sol es mayor en épocas de máxima actividad, como la de los últimos años, lo que hace a nuestra estrella parcialmente responsable del cambio climático en la Tierra.»

identidad": es una estrella ordinaria, con una masa un tercio de millón de veces mayor que la de la Tierra y un radio de 696.000 km; emite *radiación electromagnética* de la que forman parte la *luz* que percibimos con los ojos, y otros "colores" que no podemos ver, como la radiación infrarroja, las ondas de radio, los rayos ultravioleta, rayos X y gamma; su potencia total es 386 trillones de megawatios, de la que recibimos el equivalente a la de unas 14 bombillas de 100 w por cada metro cuadrado. Un kilogramo de materia de la superficie solar está formado por unos 730 gramos de hidrógeno, 250 de helio y 20 de elementos químicos más pesados, casi todos los que encontramos en la Tierra (hierro, carbono, calcio, potasio, sodio, etc).

Pero el material del Sol no es sólido, ni líquido, ni gaseoso, sino un *plasma*, similar a un fluido caliente en el que gran parte de las cargas positivas y negativas de los átomos están separadas. En el plasma solar, un excelente conductor de la electricidad y en continuo movimiento, se originan corrientes eléctricas de hasta billones de amperios y campos magnéticos unas mil veces mayores que el terrestre. La edad actual del Sol, según los *modelos de estructura y evolución estelar* (complejas "maquetas" físico-matemáticas expresadas en forma de ecuaciones) se estima en unos 4.600 millones de años, y le queda otro tanto en una situación similar... así que no hay motivo de alarma inmediata a este respecto.

Para entender el "funcionamiento" del Sol hay que saber cómo es por dentro, pero la materia bajo su superficie es opaca a la luz, así que no es posible observar directamente el interior solar. Nuestro conocimiento del mismo proviene de los modelos mencionados y es confirmado en gran medida por técnicas indirectas: la *Heliosismología*, que investiga el "pulso" del Sol, que vibra como si fuese un instrumento musical, desde su interior a su superficie; y el estudio de los *neutrinos* solares, partículas elementales producidas en el "corazón" del Sol que aportan información de primera mano sobre éste ya que apenas interaccionan con la materia que encuentran. Ésta es la estructura interna del Sol: en su *núcleo*, un gran horno a 15 millones de grados y 160 veces más denso que el agua, se



El 2 de abril de 2001 una intensa fulguración y una expulsión de masa coronal, asociadas al mayor grupo de manchas de los últimos 10 años, produjeron auroras incluso en Niza. (Imágenes cortesía de SOHO).

unen núcleos de hidrógeno (el elemento químico más ligero y más abundante en el Universo) para formar núcleos de helio en las *reacciones termo-nucleares de fusión* que liberan neutrinos y generan la energía solar en forma de radiación electromagnética. Rodea al núcleo la *zona radiativa* (como un material "al rojo vivo") en la que ondas electromagnéticas transportan la energía, igual que hacen viajar por el aire hasta nosotros el calor de una resistencia eléctrica. Hacia el último tercio del radio solar este mecanismo de transporte de energía es sustituido por enormes burbujas de material que llevan el calor desde la base de esta *zona convectiva* hasta la superficie, como sucede en un caldero de potaje hirviendo.

De poco serviría que la energía fabricada en el núcleo solar viajase hacia fuera a través de un material opaco a la luz... si no fuera porque los últimos 500 km son transparentes a la radiación, que escapa por fin desde la superficie visible del Sol o *fotosfera*. A unos 5.800 grados, emite

fundamentalmente luz visible. El aspecto de la fotosfera es el de una "paella" con granos brillantes de unos 1.500 km, que corresponden a la parte superior de las más pequeñas burbujas convectivas: la *granulación*. De forma transitoria y frecuentemente en grupos aparecen *manchas*, intensas concentraciones de campo magnético unos 2.000 grados más frías que sus alrededores, rodeadas de *fáculas*, extensas áreas brillantes. A veces se producen *fulguraciones*, que son enormes explosiones que liberan una energía equivalente a 10 millones de bombas de hidrógeno almacenada en el campo magnético. Pero nuestra

estrella no termina en su superficie habitualmente visible: durante unos segundos al comienzo y final de la totalidad en un eclipse de Sol se observa un resplandor rojizo que corresponde a la *cromosfera*, una capa de espesor irregular, más caliente que la fotosfera a la que rodea. En ella destacan las *protuberancias*, grandes formaciones de plasma, más denso y frío que sus alrededores, suspendidas sobre la superficie del Sol, a menudo siguiendo la forma de las líneas de campo magnético. Se llaman *filamentos* cuando se observan como cintas oscuras proyectadas sobre el disco solar. Tampoco en la *cromosfera* termina

el Sol: a medida que el eclipse continúa resulta visible una majestuosa "diadema" blanquecina llamada la *corona*. Emite rayos ultravioleta y X, exhibe *chorros* y *penachos* de tamaño hasta varias veces el radio solar, y puede alcanzar los 2 millones de grados: la causa de este calentamiento es todavía uno de los misterios que el Sol guarda. Desde la corona se emite un flujo continuo de partículas cargadas, a gran velocidad y en todas direcciones, denominado *viento solar*. Frecuentemente se producen gigantescas erupciones llamadas *expulsiones de masa coronal* (o *CMEs*, por sus siglas en inglés), los fenómenos más violentos y espectaculares del Sol. Es como si la corona se desgarrase para liberar, en oca-

siones, hasta 20.000 millones de toneladas de materia solar en forma de enormes burbujas de plasma que viajan a millones de kilómetros por hora a través del espacio, a veces hacia la Tierra. Ni siquiera la corona es el límite exterior de la tenue "atmósfera" del Sol (sus capas observables): el amplio espacio de nuestro sistema planetario en el que la densidad del viento solar es mayor que la del medio interplanetario es la *heliosfera*, y realmente vivimos dentro de ella, ya que su límite exterior queda más allá de la órbita de Plutón.

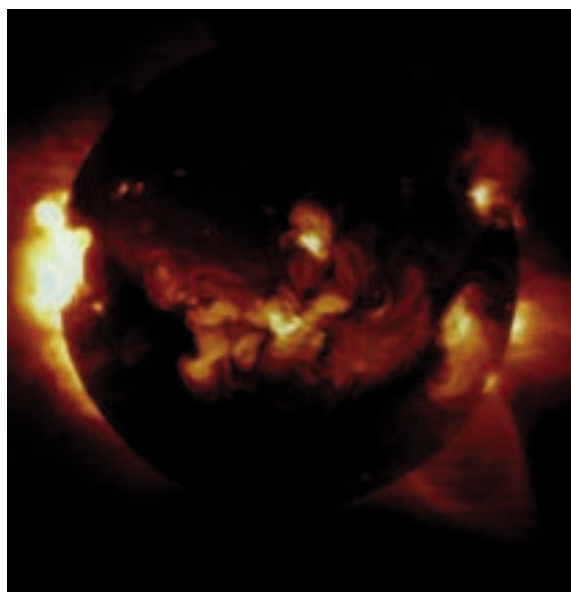


La corona solar durante el eclipse del 11 de agosto de 1999. (Imagen cortesía de SheliOS).

El gran desafío para la Física Solar del siglo XXI es conocer en detalle el magnetismo solar, que origina las manchas, protuberancias y fulguraciones, determina la estructura y dinámica de la corona y conduce el viento solar y las CMEs. Gracias a los avances de la alta tecnología espacial, los telescopios y ordenadores en tierra y los incansables estudios sobre el Sol (desde los antiguos dibujos a mano de su superficie), los científicos van desvelando los secretos del sistema Sol - Tierra: además de realizar investigación básica sobre la estructura, "funcionamiento" y variabilidad de nuestra estrella, buscan señales de CMEs y fulguraciones, registran continuamente el viento solar para ver si trae "mal tiempo espacial", y miden la energía que fluye en la alta atmósfera de la Tierra para ver si se está "fraguando" una tormenta magnética. Sus descubrimientos permitirán algún día predecir el medioambiente espacial y entender mejor el impacto sobre la Tierra de *la estrella de nuestra vida*.

«El gran desafío para la Física Solar del siglo XXI es conocer en detalle el magnetismo solar, que origina las manchas, protuberancias y fulguraciones, determina la estructura y dinámica de la corona y conduce el viento solar y las llamadas *expulsiones de masa coronal*.»

La corona solar está tan caliente que emite rayos X. (Imagen del satélite Yohkoh).



TELESCOPIOS E INSTRUMENTACIÓN DE TIPO SOLAR EN LOS OBSERVATORIOS DEL IAC

Observatorio del Teide



- Telescopio Newton al Vacío (VNT)

Instalado en 1972 por el Instituto Kiepenheuer de Física Solar de Friburgo (Alemania), fue, después del Heliógrafo Razdow, el primer telescopio solar del Observatorio. Su diámetro y su capacidad de tomar imágenes del Sol con diferentes filtros ha permitido realizar multitud de trabajos de investigación y confirmar la excepcional calidad del cielo del Observatorio. Actualmente se dedica a tomar imágenes CCD y a realizar trabajos de fotometría. Hoy es propiedad del Instituto de Astrofísica de Canarias. Datos técnicos: torre con tubo al vacío, montura ecuatorial, espejo primario de 40 cm de diámetro, cámara CCD y fotómetro.



- Telescopio Gregory Coudé (GCT)

(En fase de desmantelamiento para ser sustituido por GREGOR, de 1,5 m de diámetro).

Instalado en 1985 tras dos décadas en Locarno (Suiza), pertenece a la Universidad alemana de Gotinga. En un principio, destinado principalmente a analizar el estado físico de la atmósfera del Sol utilizando diferentes detectores y filtros, y a medir los campos magnéticos en las manchas solares. Datos técnicos: torre de 20 m con tubo al vacío de 18 m, montura ecuatorial, espejo primario de 45 cm de diámetro, sistema óptico Coudé, distancia focal efectiva 25 m, espectrógrafo de alta resolución.



- Torre Solar al Vacío (VTT)

Instalado en 1989, pertenece al Instituto Kiepenheuer de Física Solar de Friburgo (Alemania). Estudia la dinámica, estructura y composición química de la atmósfera solar, además de la evolución de la granulación solar utilizando un «correlador solar», instrumento único en su género desarrollado por el IAC. Datos técnicos: torre de 38 m con tubo al vacío de 25 m, espejo primario de 70 cm de diámetro, espectrógrafo vertical de 15 metros de longitud, montura ecuatorial, distancia focal efectiva de 46 m ($f/77$), laboratorio óptico con interferómetro Fabry Perot y correlador solar. También cuenta con un polarímetro infrarrojo (TIP) de última generación desarrollado en el IAC



- THEMIS (Telescopio Heliográfico para el Estudio del Magnetismo y de las Inestabilidades Solares)

Instalado en 1998, es resultado de una colaboración entre Francia e Italia. Con sus 90 cm de diámetro, es el mayor telescopio solar del Observatorio del Teide y está diseñado para medir la intensidad y la dirección del campo magnético solar antes de su contaminación por polarización instrumental. Destaca su capacidad para operar simultáneamente en diversas bandas. Datos técnicos: torre de 27 m de altura con cúpula de 9 m, montura altacimutal, espejo primario de 0,90 m de diámetro, 2 espectrógrafos en serie, 20 cámaras CCD, espejo activo, analizador de polarización e interferómetro (monocromador panorámico).



- Laboratorio Solar

Su nacimiento coincidió prácticamente con el inicio de la heliosismología. En 1975 la Universidad de Birmingham (UK) instaló el instrumento «Mark-I», un espectrofotómetro solar para medir velocidades en la superficie del Sol con el que se demostró que el Sol vibra con sus modos propios de oscilación. A partir de ahí se impulsaron los estudios de sismología solar. A mediados de los años 80 se empezaron a instalar en el observatorio redes internacionales de sismología solar como GONG (*Global Oscillations Network Group*), SLOT, BiSON, IRIS, TON, ECHO, etc. En la actualidad, el laboratorio solar acoge 7 instrumentos/experimentos en los que participan, junto al IAC, instituciones del Reino Unido, Estados Unidos, Francia y Taiwan, además de la ESA.

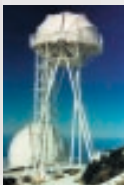
Observatorio del Roque de los Muchachos



- Telescopio Solar Sueco (SVST)

(En fase de desmantelamiento para ser sustituido por el NSST, de 97 cm de diámetro).

Pertenece a la Real Academia de Ciencias de Suecia. Instalado en 1982, vio su «primera luz» en diciembre de 1985. Ha realizado excelentes observaciones de granulación y manchas solares y de campo magnético en la atmósfera solar. Se ha destinado en diversas ocasiones a realizar observaciones planetarias, como la observación de Júpiter con motivo de la entrada de la sonda Galileo en su órbita, en 1995. También ha permitido obtener medidas de polarización como apoyo a la misión espacial SOHO para la observación del Sol. Datos técnicos: torre al vacío de 16 m de altura, montura altacimutal, lentes acromáticas de 48 cm, distancia focal efectiva de 22,4 m, espectrógrafo Littrow, sensor de frente de onda, sensores de diversidad de fase, polarímetro, magnetógrafo vectorial, óptica activa, sistema de imagen simultánea en múltiples longitudes de onda. También cuenta con un polarímetro para el visible (LPSP) de última generación desarrollado en el IAC



- Telescopio Abierto Holandés (DOT)

Pertenece a la Fundación de Tecnología de los Países Bajos, fue instalado en 1997. Su original diseño permite obtener imágenes de excelente calidad reduciendo al mínimo las perturbaciones atmosféricas y las fluctuaciones de temperatura. Combina observaciones de alta resolución de estructuras magnéticas en la superficie solar con las observaciones de los satélites solares SOHO y TRACE. Datos técnicos: telescopio abierto solar/nocturno, torre de estructura abierta de 15 m de altura sin cúpula, espejo primario de 45 cm de diámetro.

El modelo «iceberg»

El Universo y las galaxias que contiene no son exactamente como parecen. Investigaciones recientes nos hacen replantearnos la forma de ver las galaxias espirales, las estructuras más elegantes del cosmos. El tamaño relativo entre dos de sus componentes principales -el bulbo esférico central y el disco de estrellas, gas y polvo orbitando en torno al centro- no varía a lo largo de la «secuencia de Hubble» de galaxias espirales. Esta secuencia fue establecida en los años 20 del siglo pasado en función únicamente de su morfología, lo que contrasta claramente con lo que se observa en la realidad. El análisis de la luz procedente de muchas galaxias espirales, al introducir dos nuevos parámetros de medida, demuestra que sus bulbos se asemejan a un «iceberg», del que sólo vemos un pequeño porcentaje.

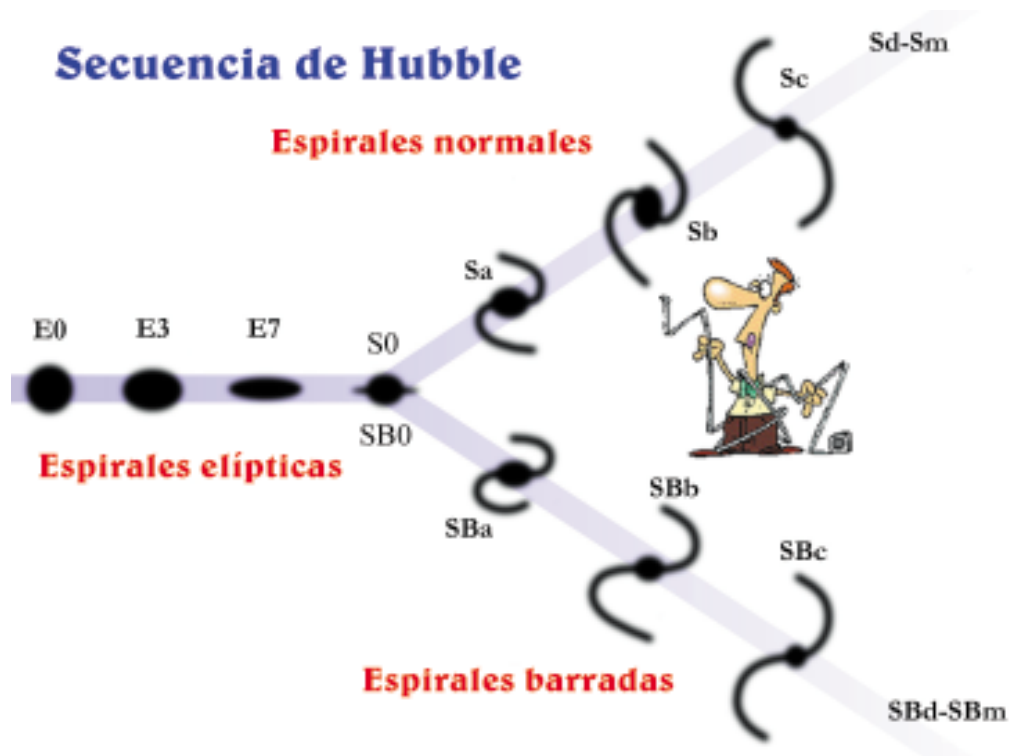


Alister Graham
(IAC)



Mercedes Prieto
(ULL/IAC)





Diseño: Alister Graham (IAC) y Gabriel Pérez (SMM/IAC).

A principios de los años 20, el astrónomo Edwin Hubble y sus colaboradores habían reunido un gran archivo de fotografías de buena calidad de galaxias obtenidas con los reflectores de 60 y 100 pulgadas del Observatorio de Mount Wilson. Aunque cada galaxia se puede considerar única en cuanto a sus características a pequeña escala, pudieron encontrar una cierta secuencia en cuanto a su morfología general. Fue entonces cuando Hubble realizó un esquema representativo de esta secuencia, dando lugar a la conocida clasificación que lleva su nombre.

Basándose en las formas estructurales de las imágenes fotográficas, Hubble adoptó tres criterios: el tamaño relativo de la región nuclear no resuelta, el grado de resolución de los brazos espirales y el enrollamiento de los mismos.

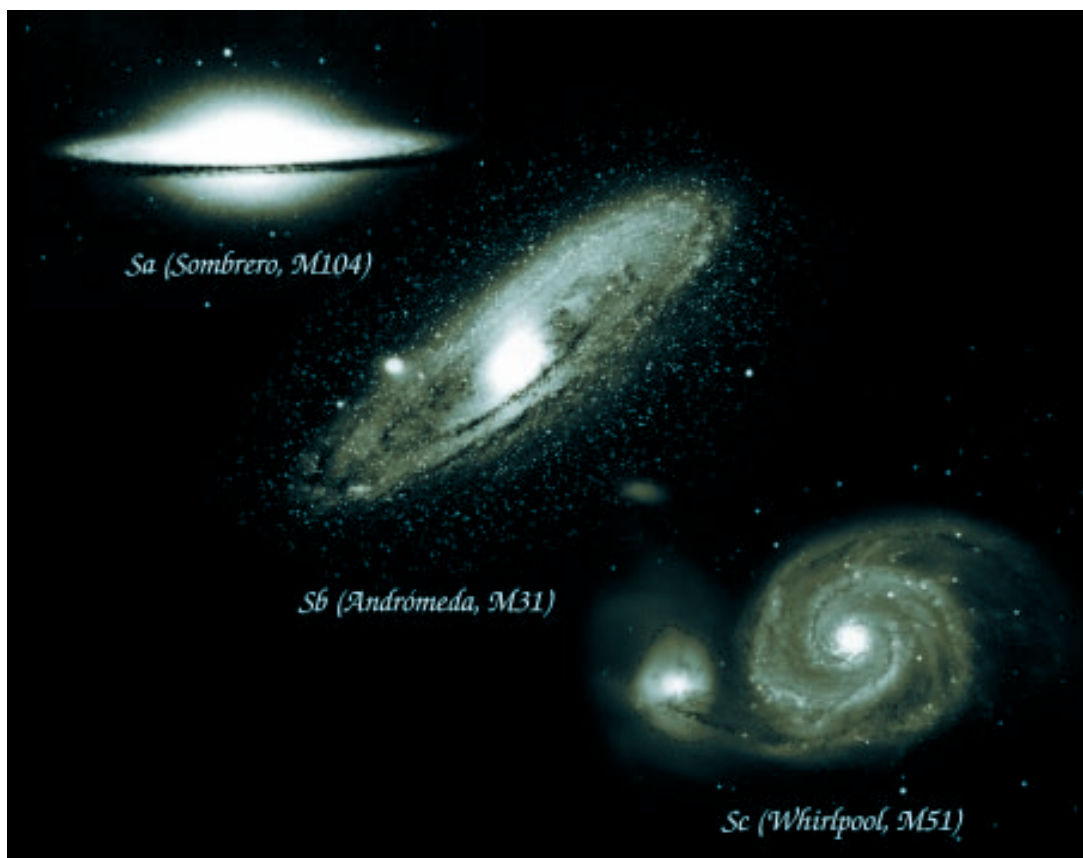
Esta clasificación no era más que un esquema empírico y no implicaba una secuencia evolutiva. No obstante, algunos investigadores han

propuesto una evolución en el sentido de que las galaxias se originan como elípticas y evolucionan pasando por las espirales hasta las irregulares o bien en el sentido contrario. Ambas corrientes se encontraron con múltiples contradicciones. Después, y hasta fecha muy reciente, se

impuso la idea ampliamente aceptada de que las galaxias de diferentes tipos morfológicos se formaron en la misma época cosmológica y evolucionaron hacia el tipo

«Una de las piedras angulares sobre las que se sustenta el estudio de la morfología de las galaxias no es más que una ilusión óptica.»

que las caracteriza en el presente. Hoy, incluso esta idea es discutible después de los últimos resultados obtenidos con el telescopio espacial Hubble en su muestreo profundo del cielo, que nos permite observar cómo eran las galaxias cuando el Universo era muy joven. La mayoría de estas galaxias tienen formas y tamaños muy distintos de los actuales. Es justamente ahora, con la nueva generación de grandes telescopios terrestres y con los telescopios espaciales, cuando estamos viendo las galaxias en sus distintas edades y cuando vamos a poder resolver científicamente y sin especulaciones uno de los gran-



Ejemplos representativos de galaxias espirales. Composición: Alister Graham(IAC) y Gabriel Pérez (SMM/IAC).

des enigmas de la Astrofísica actual: el problema de la evolución de las galaxias y el porqué de sus distintas morfologías.

Independientemente de si hay o no una evolución en la secuencia de Hubble, esta clasificación ha prevalecido en todas las épocas y aún en la actualidad se sigue utilizando, quizá por su generalidad o sencillez. Se han propuesto otras clasificaciones que permiten representar las galaxias con más detalles. No obstante, la mayoría de ellas son meramente descriptivas y, aunque ha habido algunos intentos de clasificaciones cuantitativas, ninguna tiene una base teórica sólida.

También se han desarrollado muchos modelos de formación y evolución de galaxias que deberían explicar esta secuencia. Algunos las consideran formadas a partir de una nube de material interestelar en proceso de colapso. Otros investigadores proponen que los fortuitos encuentros entre galaxias, el medio ambiente o

bien mecanismos de coalición o canibalismo podrían ser la causa que domina la evolución galáctica.

Nosotros pensamos que la secuencia ordenada de formas que presentan las galaxias aisladas se debe a una secuencia de condiciones físicas definida por determinados parámetros, fundamentalmente masa y momento angular. Estas condiciones pueden estar influenciadas e incluso determinadas por el escenario en que la galaxia se formó. Aunque éstas son magnitudes que se conservarían para galaxias aisladas, un gran porcentaje de las galaxias actuales han estado sometidas a interacciones gravitatorias con vecinas o fenómenos de canibalismo. Por ello, cuando hablamos de masa y momento angular nos referimos al actual de las galaxias.

Galaxias espirales

Investigaciones que hemos realizado en el Instituto de Astrofísica de Canarias nos han llevado



Simulación de Gotzon Cañada.

a replantearnos nuestra visión de las galaxias espirales, unas de las estructuras más elegantes del Universo.

Resulta bastante fácil clasificar las galaxias dentro de la secuencia de Hubble inspeccionando visualmente fotografías o imágenes CCD. Las llamadas espirales de "tipo temprano", como las Sa y Sb, presentan bulbos mucho mayores que el disco, y las de "tipo tardío", Sc y Sd, parecen tener bulbos mucho más pequeños.

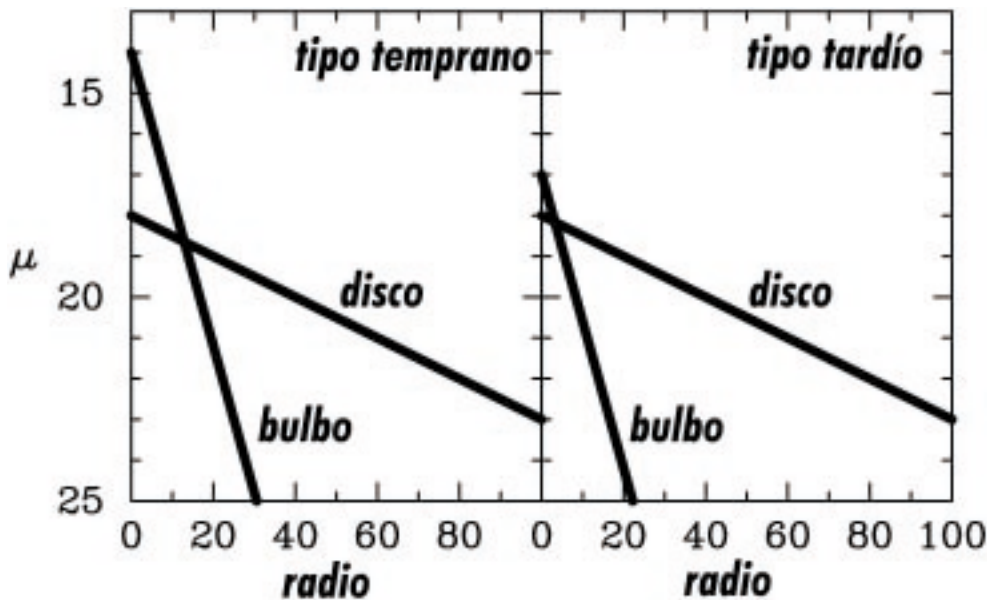
No obstante, nuestra investigación demuestra que el tamaño relativo del bulbo con respecto al disco en galaxias individuales no varía a lo largo de la secuencia espiral de Hubble, sino que es un efecto óptico, una ilusión, en claro contraste con lo que realmente se mide.

«Según el modelo del *iceberg*, a medida que se avanza hacia los tipos de galaxias espirales más tardíos, los bulbos de las galaxias están relativamente cada vez más inmersos en el disco galáctico, mientras que su tamaño real con relación al disco sigue invariable.»

Partiendo de una muestra de 86 galaxias espirales "de cara", hemos determinado el tamaño relativo bulbo-disco y la razón entre sus luminosidades empleando una rutina de descomposición bulbo-disco de precisión aplicada a los perfiles de luz de las galaxias en el infrarrojo cercano.

Si bien encontramos una razón media del tamaño algo mayor para las galaxias espirales de tipo temprano que para las de tipo tardío, este resultado no es estadísticamente significativo. Sin embargo, la razón media de luminosidad bulbo-disco resultó ser significativamente mayor (<3-sigma) para las espirales de tipo temprano que para las de tipo tardío.

Además, se ha confirmado que la forma del bulbo de la galaxia espiral varía sistemáticamente según el tipo de galaxia espiral de que se trate,



Un esquema simple que no muestra las diferentes formas de los perfiles de los bulbos pero que sirve para ilustrar cómo los bulbos de las galaxias espirales de tipo temprano pueden parecer relativamente más grandes y más brillantes que los de galaxias espirales de tipo tardío, cuando en realidad la razón del tamaño bulbo-disco es idéntica.



Galaxia espiral NGC 628. Imagen en color real obtenida con el Telescopio Isaac Newton, del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Autor: Miguel Briganti (SMM/IAC).

presentando núcleos más planos a medida que nos acercamos hacia los tipos más tardíos de las galaxias espirales. El hecho de no tener en cuenta estas variaciones de formas del bulbo ha llevado a resultados contradictorios, como por ejemplo que el tamaño relativo bulbo-disco es significativamente menor para galaxias tempranas que para tardíos. En nuestro análisis hemos considerado esta variación.

En consecuencia, introdujimos dos nuevos parámetros para medir la prominencia del bulbo que reflejaran su apariencia visual. El primero consistía en la diferencia entre el brillo superficial central de la galaxia y el brillo superficial en los puntos donde la contribución del bulbo y del disco es la misma. El otro empleaba el radio donde la contribución de la luz del disco y del bulbo era igual –normalizada para el efecto de tamaños de galaxia intrínsecamente diferentes. Ambos parámetros revelaron que las galaxias espirales de tipo temprano “parecen” tener bulbos significativamente mayores y más

brillantes (3 sigma en las bandas B, R, I y K) que las espirales de tipo tardío.

La aparente contradicción entre los parámetros clásicos y estos últimos puede explicarse recurriendo al modelo del «iceberg». En general y especialmente en la banda K, la razón de los tamaños entre el bulbo y el disco es bastante independiente del tipo de Hubble y lo que aparenta sólo puede explicarse si los bulbos de las galaxias espirales tipo tardío están más «sumergidas» en el disco que los de las galaxias tempranas. Por ello, nosotros nos referimos tentativamente a este hecho como un escenario «iceberg». Esto es, la densidad estelar en los bulbos de las espirales tardías debe ser más baja que la de las tempranas mientras que sus tamaños son muy parecidos.

Este resultado tiene profundas repercusiones, pues implica que una de las piedras angulares sobre las que se sustenta el estudio de la morfología de las galaxias no es más que una ilusión óptica.

Leónidas 2001 en Australia

Las tormentas de meteoros han sido impredecibles durante siglos. Los modelos teóricos desarrollados en los últimos años permiten ahora predecir con éxito estas tormentas con errores de pocos minutos, lo que hace posible planificar, por primera vez, el estudio científico del fenómeno con antelación. Además, con la tecnología disponible en la actualidad se pueden obtener datos sin precedentes, fundamentales para la comprensión del fenómeno y la predicción de futuras tormentas.

Varios investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), con financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología y el apoyo logístico de la asociación *Shelios*, se trasladaron a Australia el pasado mes de noviembre para observar desde allí la que prometía ser la lluvia de estrellas más espectacular de los últimos treinta años: las Leónidas 2001. En concreto, el objetivo de esta misión científica era estudiar tres aspectos fundamentales de la física y dinámica de la materia interplanetaria: las propiedades físicas de las partículas cometarias, la población de partículas de las Leónidas en la órbita terrestre y la interacción atmósfera-meteoroides. El fenómeno no defraudó. Bajo un cielo despejado, los científicos disfrutaron de un impresionante espectáculo: una estrella fugaz por segundo.

Luis Bellot
(IAC)

David Martínez
(IAC)

Miquel Serra Ricart
(IAC/Shelios)

Pablo Rodríguez
(IAC)

Luis Cuesta
(IAC)





Fotografía de larga exposición del polo sur celeste, realizada la noche anterior a la tormenta de Leónidas. Las dos manchas borrosas son las Nubes de Magallanes, invisibles desde nuestras latitudes. En esta fotografía, cada estrella ha dejado un trazo curvo debido a la rotación de la Tierra. Los trazos son más pequeños cuanto más cerca están del polo sur celeste. La foto está tomada desde el paraje conocido como Devil's Marble, cerca de Tennant Creek, un conjunto de piedras redondeadas cuya disposición parece desafiar las leyes de la gravedad. En la foto se observa una de estas piedras. Foto: Pablo Rodríguez y David Martínez. Tratamiento: Miguel Briganti (SMM/IAC).

Un equipo de investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) desplazados a Australia central pudo observar la noche del pasado 18 de noviembre, con éxito, la tormenta de Leónidas, tal y como estaba previsto. Bajo un cielo completamente despejado (aunque las nubes no desaparecieron hasta el último momento), los científicos disfrutaron de un impresionante espectáculo que quizá no vuelva a repetirse en los próximos 30 años.

En 2001, los estudios teóricos predecían una actividad cercana a 8.000 meteoros por hora, visible desde Asia y Australia. Los primeros resultados indican que la actividad del 18 de noviembre superó los 3.000 ó 4.000 meteoros por hora, es decir, aproximadamente una estrella fugaz por segundo. El máximo ocurrió alrededor de las 6 de la tarde (hora canaria), cuando en Australia eran las 3 y media de la madrugada. Durante unos 90 minutos, el cielo se llenó de enormes bolas de fuego y otros meteoros más débiles. Las observaciones realizadas confirman la hora del máximo, pero no el nivel de actividad en ese momento, que fue más bajo del esperado.

Todos los experimentos previstos fueron realizados con éxito. Los científicos del IAC emplearon cámaras de vídeo intensificadas y equipo fotográfico que permitirán determinar de forma muy precisa el número de partículas que chocaron contra la Tierra en la noche del 18 de noviembre. Todo ello servirá para tener un mayor conocimiento sobre tres aspectos fundamentales de la física y dinámica de la materia interplanetaria: las propiedades físicas de las partículas cometarias y del cometa progenitor, la población de partículas de las Leónidas en la

órbita terrestre y la interacción atmósfera-meteoroides. Además, se observó la Luna con el fin de detectar posibles impactos de Leónidas sobre nuestro satélite.

Origen cometario

Las lluvias de meteoros son producidas por pequeñas partículas que orbitan alrededor del Sol, en la mayoría de los casos de origen cometario.

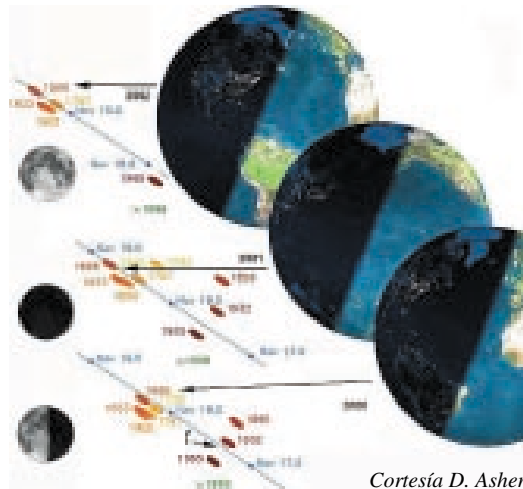
Al acercarse a nuestra estrella, el cometa progenitor desprende gases y partículas de polvo, originando tubos de materia muy densos.

En el caso de las Leónidas, estas partículas son predominantemente pequeñas (menores de 1 mm), y giran alrededor del Sol con un periodo de 33 años junto con el cometa progenitor: el cometa Tempel-Tuttle.

Cada 33 años, cuando Tempel-Tuttle pasa cerca de nuestro planeta, hay una "ventana" de unos cinco años en la cual la Tierra puede encontrar uno o más tubos de partículas de polvo. Cuando esto ocurre, se produce una tormenta de enormes proporciones (con actividades de hasta miles de meteoros por minuto) que puede durar una hora. El pico principal suele ser de corta duración (15 minutos), mientras que la actividad depende de la edad del tubo y de si la Tierra cruza

directamente las regiones centrales más densas o sólo las regiones más externas. Si la Tierra no cruza ningún tubo de partículas joven (situación habitual en los periodos inter-tormenta), las partículas más viejas dispersadas a lo largo de la órbita del cometa sólo producen lluvias modestas (menos de 50 meteoros/hora).

«Los primeros resultados indican que la actividad del 18 de noviembre superó los 3.000 o 4.000 meteoros por hora, es decir, aproximadamente una estrella fugaz por segundo.»



Cortesía D. Asher.

Fase de la Luna y nubes de meteoroides (con la época en que fueron generados) que la Tierra atraviesa en 2000, 2001 y 2002.



Dos bólidos (meteoros muy brillantes) de las Leónidas en el cielo del amanecer tras la tormenta de meteoros. El más brillante (arriba) pasa justo por debajo de la constelación de la Cruz del Sur. La trayectoria del bólido de la parte inferior – que muestra una explosión final – parece apuntar a las dos estrellas más brillantes de la constelación del Centauro (alfa y beta Centauri).



La composición química de las partículas que entran en la atmósfera terrestre durante una lluvia de meteoros da un color característico a las estrellas fugaces que observamos. En el caso de las Leónidas, se aprecia claramente un color rojo-anaranjado en la fase más brillante del meteoro y una estela de color verde.



A pesar del gran espectáculo que nos estaban proporcionando las Leónidas, cuya actividad rozó el meteoro por segundo en ciertos instantes, no menos actividad científica tenía lugar sobre el terreno. Los experimentos fueron un éxito y nos permitirán conocer mejor la naturaleza de la corriente meteórica de las Leónidas.



Composición de 10 fotografías de 1 minuto de exposición tomadas entre las 3:15 y 3:45 de la noche del 18 de noviembre. Todas las estrellas están apuntando al radiante: la constelación de Leo. Autor: Miguel Díaz Sosa. (Imagen cortesía de Shelios).

Fotos: Pablo Rodríguez y David Martínez. Tratamiento: Miguel Briganzi (SMM/IAAC).



Nueve Leónidas surcan el cielo sobre las siluetas de las Devil's Marbles. Aún se aprecian algunas nubes, que nos privaron de un cielo despejado hasta el mismo comienzo de la tormenta. Las líneas cortas que se observan son los trazos que dejan las estrellas en una fotografía de larga exposición debido a la rotación de la Tierra. Foto: Pablo Rodríguez y David Martínez. Tratamiento: Miguel Briganti (SMM/IAC).

Tormentas históricas

Las crónicas antiguas de todo el mundo contienen referencias a tormentas de meteoros de las Leónidas al menos desde el año 899. La primera observación bien documentada de esta tormenta se realizó en 1799, cuando Alexander von Humboldt observó el fenómeno desde Venezuela. La tormenta de 1833 tuvo un gran impacto en el público y la comunidad científica, ya que fue visible en Nueva Inglaterra, un área más densamente poblada. En 1866 ocurrió una tormenta menos espectacular, pero la gran sorpresa vino en 1899 y 1933 al no observarse ninguna actividad especial. En 1966, sin embargo, las Leónidas regresaron con todo su esplendor: en el observatorio americano de Kitt Peak se registró la mayor tormenta de meteoros conocida hasta la fecha, con una actividad superior a 150.000 meteoros/hora.

Desde que en el siglo XIX se descubriera que las Leónidas producen tormentas periódicas, los as-

trónomos no han tenido mucho éxito en la predicción de estos fenómenos. Después de las recomendaciones de tormentas en 1833 y 1866, las predicciones para 1899 y 1933 fallaron. En 1966 los modelos indicaban una posible tormenta, pero nadie preparó a los observadores para lo que sería la mayor tormenta de la historia. A comienzos de los años 80, las investigaciones de la órbita del cometa generador de las Leónidas revelaron que ésta se encontraba afectada por la gravedad de Júpiter, lo que explicaba algunos fallos en las predicciones del pasado e indicaba la posibilidad de una nueva tormenta en 1998 y 1999 coincidiendo con el retorno del cometa Tempel-Tuttle, con tasas de hasta 10.000 meteoros/hora. Sin embargo, las Leónidas de 1998 volvieron a sorprender a todo el mundo pues, en lugar de una tormenta de meteoros, los observadores se encontraron con una espectacular lluvia de bólidos (meteoros muy brillantes) de unos 250 meteoros/hora que, además, se produjo 16 horas antes de lo previsto.

«La primera observación bien documentada de esta tormenta se realizó en 1799, cuando Alexander von Humboldt observó el fenómeno desde Venezuela.»

Modelo teórico

El interesante comportamiento de las Leónidas en 1998 inspiró a varios astrónomos para abordar el problema de las predicciones de las tormentas de las Leónidas de un modo diferente. David J. Asher y Robert McNaught construyeron un modelo del enjambre de las Leónidas que incluía un gran número de tubos de materia, cada uno producido en un paso diferente del cometa progenitor. Calculando la evolución de cada tubo y comparando con las observaciones de las anteriores tormentas, Asher y McNaught se dieron cuenta de que el modelo era capaz de predecir la actividad de estas tormentas e incluso la hora del máximo con un error de solo diez minutos. La prueba de fuego de este modelo fue la sub-tormenta de las Leónidas de 1999, cuyas predicciones sobre la hora del máximo fueron correctas. Esta sub-tormenta de las Leónidas fue sin duda la más observada de la historia. El 65% de los datos visuales recopilados en todo el mundo fueron obtenidos por 1.500 estudiantes de enseñanza media, en una actividad organizada y coordinada por un grupo del IAC, que llevaba asociada una unidad didáctica (IAC Noticias, N. 2-1999. Págs. 44-47).

Predicciones

El modelo de Asher y McNaught predecía que la Tierra atravesaría tres tubos de materia muy densos el 18 de noviembre de 2001. Las dos tormentas más intensas se podrían observar desde el oeste de Australia y este de Asia (separadas por menos de una hora) con tasas que podían alcanzar hasta 15.000 meteoros/hora. Debido a que las tormentas de meteoros son de corta duración, los picos de actividad sólo pueden ser observados desde regiones muy restringidas del

planeta, en las que la constelación de Leo esté sobre el horizonte a la hora prevista. Estas tormentas no serían visibles desde España, lo que justificaba el desplazamiento del equipo del IAC a Australia para poder realizar observaciones del fenómeno.

De acuerdo con estas predicciones, el lugar de observación escogido fue Tennant Creek, región situada en el territorio norte de Australia, a unos 1.000 km al sur de Darwin.

Observaciones

Las observaciones consistieron en el seguimiento de la actividad meteórica de las Leónidas durante la noche del máximo en un pequeño volumen de atmósfera a 100 km de altura sobre la superficie terrestre (campo de visión de unos 20°). Para ello se emplearon intensificadores de imagen acoplados a cámaras CCD con salida de vídeo y objetivos fotográficos estándar de focal larga. Se realizaron observaciones simultáneas desde dos lugares separados unos 100 km con el fin de obtener las trayectorias atmosféricas y elementos orbitales de las partículas mediante triangulación.

Se utilizaron dos instrumentos exactamente iguales compuestos por un intensificador de imagen (placa microcanal de segunda generación y ganancias del orden de 5000) acoplado a un chip CCD monocromo con salida de vídeo. Se emplearon objetivos fotográficos luminosos de focales largas para obtener suficiente resolución angular y alcanzar al mismo tiempo magnitudes límites próximas a +8. La señal se digitalizó posteriormente con una tarjeta Matrox Meteor II para su análisis.



A la izquierda, parte del equipo técnico utilizado en Devil's Marble, uno de los emplazamientos elegidos para la observación de las Leónidas. A la derecha, sobre el mapa de Australia, lugar donde se instaló el campamento de la misión científica del IAC.



Leónidas en el polo Sur celeste. En el negativo original pueden contarse 10 meteoros, a pesar del corto tiempo de exposición. Foto: Pablo Rodríguez y David Martínez. Tratamiento: Miguel Briganti (SMM/IAC).

Con el fin de asegurar la rápida reducción de los datos, cada sistema intensificador está completamente automatizado. Para ello se usará un paquete de software para la detección automática de los meteoros que aparecen en el campo de visión. Este software extrae en tiempo real todos los parámetros básicos que interesan (velocidad, magnitud, coordenadas ecuatoriales, etc) y los graba en disco junto a las imágenes correspondientes.

Objetivos científicos

El principal objetivo de esta misión era la caracterización de la tormenta de las Leónidas del 18 de Noviembre de 2001. Las observaciones realizadas permitirán arrojar luz sobre aspectos fundamentales de la física y dinámica de la materia interplanetaria. A continuación se exponen los objetivos concretos de esta misión, así como su interés científico.

A. Estudio de la estructura y densidad de las partículas del enjambre de las Leónidas. La determinación de la densidad media del material que forma las Leónidas aporta información muy valiosa acerca de las propiedades físicas del cometa generador. Para ello, se han calculado las trayectorias atmosféricas de los

meteoroides y determinado sus curvas de luz para ajustarlas a los modelos de cuerpo único y fragmentación cuasi-continua. El resultado de este análisis nos indica si las Leónidas son cuerpos monolíticos o, por el contrario, conglomerados de varios materiales.

B. Caracterización de los filamentos de materia atravesados por la Tierra el 18 de Noviembre de 2001, haciendo énfasis en sus tamaños, densidades espaciales y distribución de masas. Las observaciones en doble estación permitieron determinar las órbitas de las partículas de las Leónidas interceptadas por la Tierra y calcular sus parámetros orbitales. Esta información es crucial para estudiar la evolución de los filamentos generados por el cometa Tempel-Tuttle, lo que contribuirá a mejorar los modelos teóricos actualmente disponibles y por tanto sus predicciones. Además, conocer los parámetros orbitales de los filamentos de materia es importante para minimizar el riesgo de impacto de meteoroides con la flota de satélites artificiales que giran alrededor de la Tierra.

C. Presencia de material orgánico en el enjambre de las Leónidas. A partir del estudio de curvas de luz se pretende determinar el porcen-

taje de Leónidas cuya composición química podría estar dominada por moléculas orgánicas. Durante la lluvia de 1998 se observó por primera vez que algunos meteoroides empiezan a emitir luz a alturas extraordinariamente grandes (del orden de 180 km). Se piensa que la ablación de material muy volátil, como los compuestos orgánicos, es la causa de este comportamiento anómalo. De confirmarse, este descubrimiento tendría importantes consecuencias para el origen de la vida en la Tierra, ya que sugiere que los meteoroides han podido tener un papel fundamental suministrando moléculas orgánicas en las primeras etapas de la formación de nuestro planeta.

Resultados científicos

La característica más importante de la tormenta de Leónidas ocurrida el 18 de noviembre de 2001 es la presencia de dos picos de actividad. El primer máximo tuvo lugar entre las 10:30 y las 10:40 TU, con tasas horarias del orden de 1.400 meteoros por hora. Fue visible desde Norteamérica. Este máximo ocurrió cuando la Tierra atravesó el filamento de materia creado por el cometa Tempel-Tuttle en su acercamiento al Sol en 1767.

El segundo máximo fue visible desde Australia y Asia. Según los primeros análisis, se alcanzaron tasas de hasta 2.600 meteoros por hora a las 18:20 TU. Este pico de actividad fue debido a los filamentos creados por Tempel-Tuttle en 1699 y 1866. Aunque no se observan dos picos superpuestos para el máximo de las 18:20 TU, un análisis más detallado de las observaciones permitirá distinguir ambos filamentos.

La relación poblacional (un indicador de la distribución de magnitudes de los meteoros) durante el primer máximo fue $r=2.0$, indicando que los meteoros eran relativamente brillantes. Ciertamente, más brillantes que durante el segundo máximo, cuando la relación poblacional aumentó hasta $r=2.21$.

Gracias a las buenas condiciones climatológicas (la mayor parte de los observadores disfrutaron de cielos despejados), el volumen de datos recogidos durante la tormenta de 2001 es comparable al de 1999, cuando se detectaron tasas máximas del orden de 3.500 meteoros por hora. Mientras que en 1999 el modelo teórico de Asher y McNaught predijo el momento de máxima actividad con un error de sólo 5 minutos, las observaciones de 2001 indican que este modelo debe ser mejorado. En concreto, las predicciones del primer máximo están equivocadas más de 35 minutos.

Desde su aparición, el modelo de Asher y McNaught ha sido mejorado por otros investigadores. Una de las mejoras introducidas en el modelo de Lyytinen es el tratamiento de la influencia de la presión de radiación. Este modelo ha sido capaz de predecir los dos máximos de actividad de 2001 con una precisión de varios minutos.



Miembros de la misión científica desplazada a Australia. Arriba preparando el material para las observaciones. Abajo, satisfechos después de una productiva noche de trabajo. Fotos: Shelios y Luis Cuesta (IAC).

Más información e imágenes:
<http://www.iac.es/educa/leonidas/>
<http://www.iac.es/educa/leo01/>
<http://www.shelios.com/leo2001/>

Instrumentación astrofísica

Los retos tecnológicos surgen constantemente en cualquier área de la moderna investigación científica, incluyendo por supuesto la Astrofísica. Los telescopios actuales son complejos sistemas observacionales que concentran en un plano la energía electromagnética procedente del espacio y que combinan elementos ópticos, mecánicos, electrónicos e informáticos.

En la concepción y desarrollo de un telescopio participan diferentes áreas del conocimiento. Para adquirir los datos es necesario que esté equipado con instrumentos post-foco y, posteriormente, sistemas informáticos analizan la información conseguida.

El Área de Instrumentación del IAC tiene como principal misión el diseño, desarrollo y fabricación de los instrumentos necesarios para la observación astrofísica. Dispone de la tecnología y los conocimientos necesarios para satisfacer las necesidades científicas desarrollando los instrumentos tecnológicamente más relevantes. Con frecuencia, los nuevos instrumentos, técnicas y metodología son de interés más allá del ámbito astrofísico y desde el IAC se trabaja para fomentar el intercambio de conocimientos entre el centro y el sector productivo, beneficioso para ambos. Actualmente, proyectos como LIRIS, OSIRIS y EMIR, junto con la participación en los proyectos espaciales HERSCHEL y PLANCK, absorben la mayor parte de los recursos técnicos del Área.



**Carlos Martínez
Roger** (IAC)



Carlos Martín
(IAC)



Juan Calvo
(IAC)



Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

La Astrofísica tiene como laboratorio natural el Universo (con su materia, galaxias, estrellas y planetas) y como única forma de experimentar la observación de la radiación emitida por los astros en todo el rango del espectro electromagnético (rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo y radio).

Los astrofísicos no pueden experimentar directamente con las estrellas. Es a través de la observación y análisis de la luz que llega a la Tierra y de su comparación con simulaciones (basadas en modelos generados por ordenador apoyados en la física conocida) como se consiguen determinar los parámetros físicos y llegar a entender la evolución de los astros (tamaño, masa, temperatura, velocidad, gravedad, campo magnético, composición química, etc.).

El telescopio es la herramienta fundamental del astrofísico. Para observar los objetos más débiles y detectar los pequeños detalles, se necesita que el telescopio sea cada vez más grande y pre-

ciso. Sin embargo, no es más que un gran objetivo de cámara de fotos sin un negativo donde las imágenes que forma puedan grabarse. Por ello, necesita estar equipado con instrumentos que, situados en el plano donde el telescopio forma la imagen, permiten analizar la luz que recoge. Estos pueden ser fotómetros, cámaras, espectrómetros, magnetógrafos, etc.

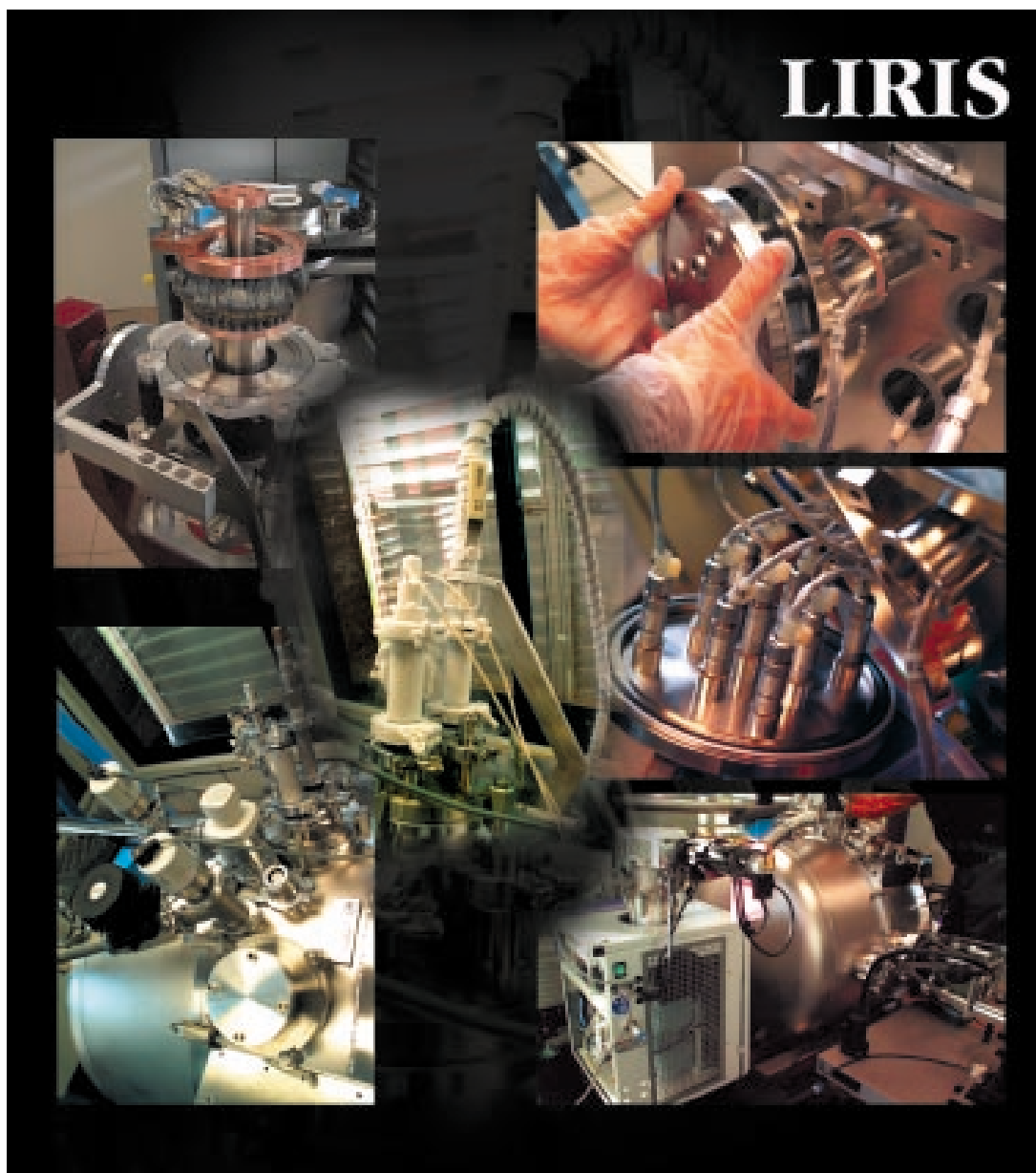
Los grandes descubrimientos en la Astrofísica, como el de las lunas de Júpiter por Galileo o el más reciente de las fluctuaciones del fondo cósmico de microondas (COSMOSOMAS), han estado ligados a mejoras en los instrumentos de observación; por ejemplo, en el primer caso fue el telescopio y en el segundo la tecnología de microondas y la observación por satélite.

La investigación de vanguardia requiere la capacidad de generar instrumentación innovadora que permita apreciar ese rasgo en la radiación que llega del Universo que hace posible un nuevo descubrimiento, y así avanzar un paso más

«Actualmente estamos inmersos en el montaje de LIRIS, una cámara y espectrómetro multiobjeto, de luz infrarroja, para el telescopio británico de 4,2 metros de diámetro, William Herschel (WHT), del Observatorio del Roque de los Muchachos.»



A la izquierda, composición de imágenes del proyecto LIRIS, una nueva cámara espectrógrafo desarrollada en el IAC para el Telescopio «William Herschel». En ella se aprecian detalles de las ventanas del criostato y la cámara durante las primeras pruebas de criogenia. Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC) Composición: Gotzon Cañada.



Composición de imágenes del proyecto LIRIS. Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC). Composición: Gotzon Cañada.

en el conocimiento. Por ello, el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) tiene desde sus comienzos la vocación de desarrollar instrumentación astrofísica, y a ello ha dedicado buena parte de su esfuerzo, convencido de que la simbiosis ciencia - tecnología es clave para el avance de ambas. Actualmente, desarrolla instrumentos para la observación astrofísica tanto desde tierra como en el espacio.

Respecto a la Astrofísica en el espacio, a principios de los noventa, el IAC lideró y construyó el ISOPHOT-S, el primer instrumento que astrofísicos españoles llevaban a cabo para un satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA), en este caso para el ISO. Después desarrolló GOLF y VIRGO dentro del satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory). VIRGO se probó previamente en el globo estratosférico SIMBA.

Actualmente, dichos proyectos tienen continuidad con la presencia del IAC en los futuros satélites HERSCHEL, para la observación del cosmos en el infrarrojo lejano, y PLANCK, destinado al estudio del fondo cósmico de microondas; ambos proyectos de la ESA que se prevé lanzar al espacio dentro de 5 o 6 años. Siguiendo esta línea está en preparación la participación del IAC en el *Solar Orbiter* (SOLO), dedicado a la observación en detalle del Sol, que estará en operación después del 2010.

Para la observación desde tierra, el Área de Instrumentación del IAC se dedica a los proyectos LIRIS, OSIRIS y EMIR que, junto con las participaciones en los proyectos espaciales HERSCHEL y PLANCK copan la mayor parte de sus recursos técnicos.

LIRIS es una cámara y un espectrómetro multiobjeto de luz infrarroja para el telescopio británico William Herschel (WHT), de 4,2 metros de diámetro y situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM).

OSIRIS, un instrumento para el Gran Telescopio Canarias (GTC), situado en el ORM, consiste en una cámara y un espectrómetro multiobjeto para el rango de longitudes de ondas visibles con un gran campo. Para el mismo telescopio se estudia la viabilidad de construir EMIR, también una cámara espectrómetro multiobjeto, pero en este caso para el análisis de la radiación infrarroja que el GTC colecte del firmamento.

Otros proyectos en marcha son los siguientes:

FIN, que consiste en la construcción de un fotómetro infrarrojo para el Telescopio de 1,5 m "Carlos Sánchez" en el Observatorio del Teide (OT).

*En la página de la izquierda, vistas del modelo 3D de OSIRIS, la cámara espectrógrafo en el rango visible para el GTC desarrollada por el IAC, combinada con vistas del modelo de elementos finitos de su estructura de soporte y los resultados del cálculo estructural.
Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC).
Composición: Gotzon Cañada.*



ROCLIS, para el análisis de la polarización de la luz solar en el magnetógrafo VIM del proyecto de globo estratosférico SUNRISE y del satélite SOLO. En él se construirán componentes ópticos de cristal líquido, en colaboración con el sector industrial.

Estrella Láser, para generar estrellas artificiales en la atmósfera terrestre mediante el uso de un láser sintonizado en la línea de sodio. Este proyecto es un paso adelante para disponer, en un futuro, de telescopios dotados de sistemas de óptica adaptativa que mejoren ostensiblemente la calidad de las observaciones desde tierra.

VNT, un sistema para el estudio de las manchas solares tanto en luz visible como infrarroja.

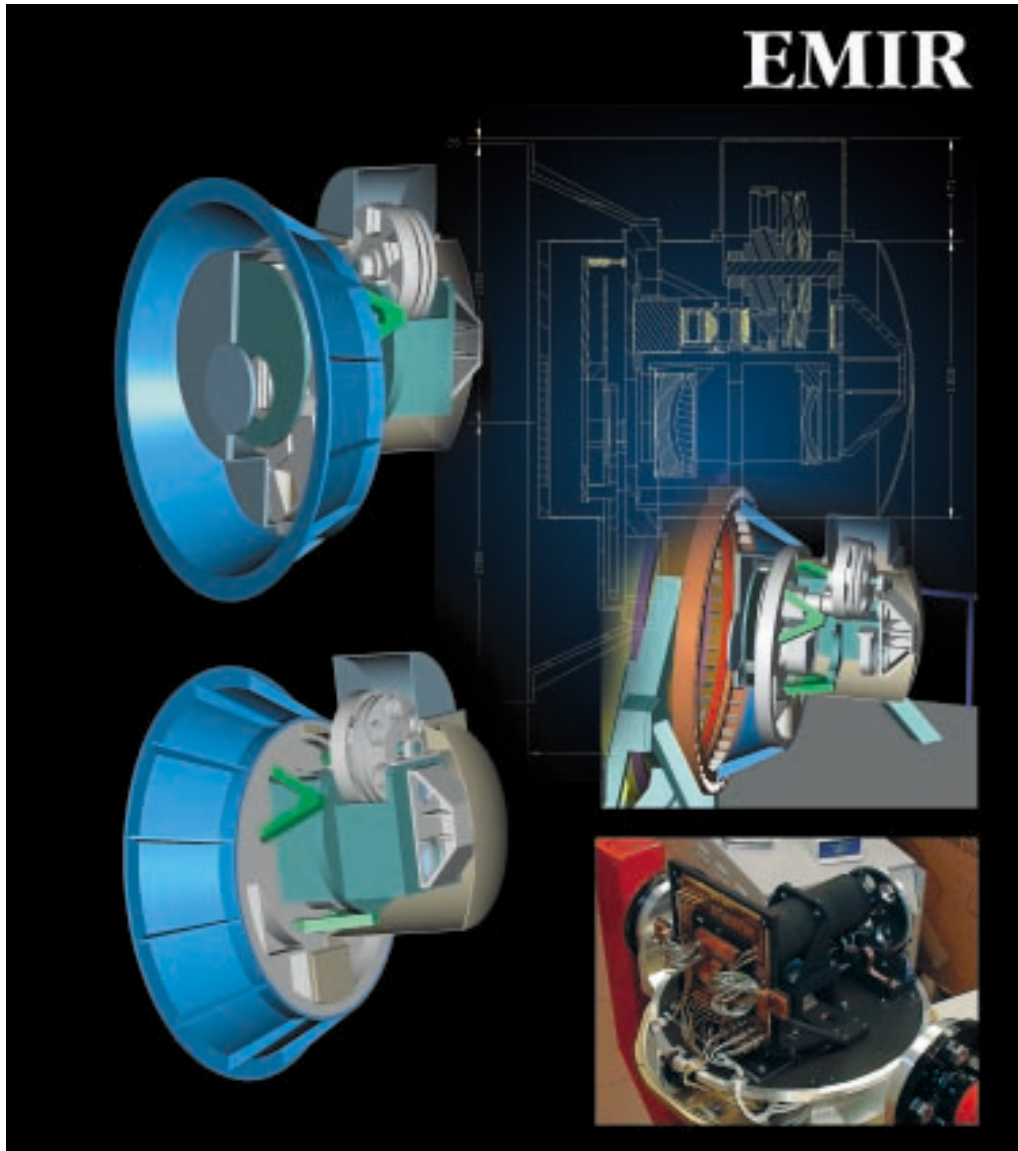
Estación Óptica Terrestre (OGS - Optical Ground Station), un telescopio de 1m de diámetro, situado en el OT cuya misión es establecer un enlace de comunicación óptica entre la

Tierra y algunos satélites en órbita alrededor de la misma, como ARTEMIS. La participación del IAC comprende el diseño, desarrollo, mantenimiento y operación de los experimentos. Se lleva a cabo en estrecha colaboración con la ESA.

Espacio Acústico Virtual, para el desarrollo de un sistema de ayuda a invidentes, en colaboración con el departamento de neurofisiología de la Universidad de la Laguna.

Conmutador de fase de microondas, consistente en la construcción de un prototipo aplicables al campo de la telefonía móvil (Ver la sección «Noticias astronómicas»), en colaboración con el Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Este proyecto ha tenido como base una patente del IAC.

El desarrollo de estos instrumentos ha permitido al IAC obtener un amplio conocimiento en muchos campos tecnológicamente avanzados. Entre éstos, podemos mencionar las técnicas y materiales necesarios para el desarrollo de mecanismos de precisión de entornos de alto vacío



Composición de imágenes del proyecto EMIR. Fotos: Miguel Briganti (SMM/IAC). Composición: Gotzon Cañada.

y bajas temperaturas, el diseño y montaje de sistemas ópticos complejos en el rango infrarrojo y visible, el diseño y fabricación de sistemas electrónicos de bajo ruido, de procesado en tiempo real y de adquisición de datos, así como el desarrollo de avanzadas aplicaciones informáticas de control y monitorización.

A su vez, el dominar estas tecnologías coloca al IAC en una buena posición para afrontar nuevos retos instrumentales, espaciales y terrestres, que faciliten las observaciones y nuevos descubrimientos científicos.

Además del desarrollo de proyectos, en el Area de Instrumentación del IAC también se realizan actividades de mantenimiento de telescopios e instrumentos ya en funcionamiento, así como de apoyo a la industria fabricando instrumentos de precisión y realizando calibraciones a través de su Laboratorio de Calibración de Magnitudes Eléctricas, acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC). En números sucesivos, se explicarán con más detalle los entresijos de cada uno de los proyectos mencionados.

CONMUTADOR DE FASE DE 180°

Del 30 de agosto al 2 de septiembre, en la VIII Feria Internacional de Inventos y Nuevas Patentes, celebrada en Vilanova i la Geltrú (Barcelona), se presentó el nuevo diseño de Conmutador de Fase de 180° ideado en el IAC en el marco de su participación para el instrumento "LFI" (*Low Frequency Instrument*) del satélite "PLANCK". Este nuevo conmutador, innovador por su diseño, recibió el primer premio de la Feria.

Misión PLANCK

El satélite PLANCK, cuyo lanzamiento está previsto para el 2007, pretende obtener, en el rango de 30 a 900 GHz, mapas del Fondo Cósmico de Microondas de una resolución y sensibilidad sin precedentes que proporcionarán un gran avance -probablemente una revolución- en el conocimiento científico sobre el origen y la evolución del Universo. La radiación del Fondo Cósmico de Microondas es el remanente de una fase inicial en la evolución del Universo donde la temperatura y la densidad eran enormemente elevadas. PLANCK llevará dos instrumentos a bordo para abarcar el rango de frecuencias previsto: uno de baja frecuencia, (el LFI, de 30 a 100 GHz) y otro de alta frecuencia (entre 100 y 900 GHz).

El nuevo conmutador de fase de 180° ideado por el IAC se incorporará al Front End Module (FEM) del LFI.

Aplicaciones en telecomunicaciones

El nuevo Conmutador de Fase de 180°, con grandes prestaciones en un amplio rango de frecuencias, tiene importantes aplicaciones y ventajas no sólo como parte del proyecto PLANCK de la Agencia Europea del Espacio (ESA), sino también en otros áreas tecnológicas, como es el caso de las telecomunicaciones. En este campo, un Conmutador de Fase de 180° permite, de manera simplificada, alterar la fase de la onda transportadora de la señal entre dos posiciones: 0° y 180°. De este modo, sobre esa onda transportadora se podrá enviar y recibir señal binaria, es decir, secuencias de unos y ceros (señal digital). Así, los teléfonos móviles emplean este tipo de conmutadores de fase para enviar y recibir información; voz y texto principalmente. La telefonía móvil actual opera en el rango de frecuencias centrado en 1 GHz. No obstante, con objeto de ampliar el ancho de banda y así transmitir con suficiente rapidez más datos (imagen), tiende a operar en rangos de frecuencia cada vez mayores, donde este nuevo diseño del IAC ofrece sus máximas prestaciones.

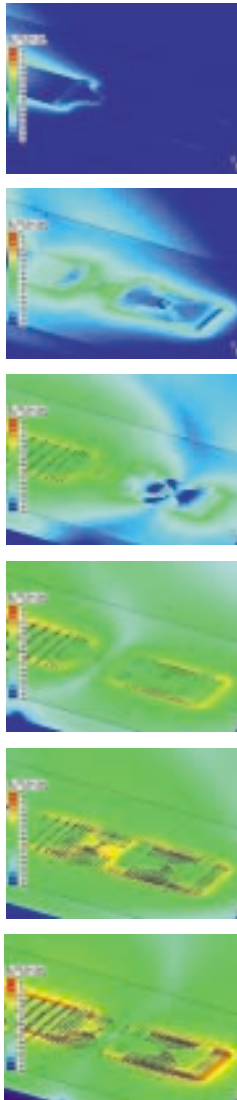
Una nueva tecnología de telecomunicaciones sin cable de banda ancha actualmente en el mercado y que empieza a ex-



Uno de los nuevos diseños de Conmutador de Fase desarrollado en el IAC.

PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL
CONMUTADOR DE FASE
DE 180°
IDEADO EN EL IAC EN
EL MARCO DE SU
PARTICIPACIÓN
PARA EL
INSTRUMENTO "LFI"
DEL SATÉLITE
"PLANCK".

EL CONMUTADOR DE
FASE, PARA EL QUE SE
CUENTA YA CON
SOLICITUD DE
PATENTE NACIONAL
E INTERNACIONAL,
TIENE IMPORTANTES
APLICACIONES EN EL
CAMPO DE LAS
TELECOMUNICACIONES.



Simulación FDTD del paso de una señal de microondas por un interruptor del conmutador de fase en el circuito MMIC.

Más información:
<http://www.iac.es/gabinete/instru/otri.htm>

tenderse cada vez más por grandes ciudades y zonas rurales de difícil acceso para la fibra óptica es la conocida como *Local Multi-point Distribution Service* (LMDS). Esta tecnología precisa también de Conmutadores de Fase para operar. Básicamente consiste en proporcionar servicios de telecomunicaciones (Internet, telefonía, TV, ...) empleando emisores y receptores en el rango de microondas. El emisor, conectado por fibra óptica a la red, permitirá el acceso a los mismos servicios a aquellos receptores que estén situados en un radio de acción de unos pocos kilómetros. La tecnología LMDS es de especial interés en zonas donde la tecnología de la fibra óptica puede no ser practicable o excesivamente cara o en zonas donde el acceso sin cable a la Red implica grandes ventajas.

En España, la tecnología LMDS opera en el rango de los 24,5 GHz a los 26,5 GHz. Varias compañías tienen adjudicadas ya las licencias para su explotación. Este rango de operación de la tecnología LMDS varía de un país a otro, si bien, todos próximos a los 25 GHz. Es precisamente en ese rango de frecuencias de los 25 GHz (± 5 GHz) y superiores donde el nuevo diseño del Conmutador de Fase de 180°, ideado y patentado por el IAC, empieza a presentar sus mejores prestaciones:

- A medida que vamos hacia frecuencias más altas es más difícil diseñar un conmutador de fase de banda ancha y de bajo consumo. El diseño del IAC presenta un consumo hasta cuatro veces inferior

(< 500 microW) al de otros diseños convencionales.

- El nuevo diseño, ideado en tecnología plana, supone también unos costes muy bajos de producción tanto en tecnología MIC (Microwave-Integrated-Circuit) como en MMIC (Monolithic-Microwave-Integrated-Circuit).

- Reducción significativa en el número de componentes de los circuitos.

- El nuevo diseño presenta además todas estas prestaciones en todo el rango de frecuencias que van desde los 26 GHz a los 36 GHz. Este nuevo diseño, inventado por el ingeniero de microondas **Roger Hoyland**, es uno de los pocos Conmutadores de Fase de 180° internacionales, es decir, para su uso en equipos LMDS para diferentes países. Ha sido desarrollado por el IAC en varias empresas y centros de investigación de prestigio internacional como TRW (EEUU), donde se fabricaron los primeros MMICs de 30GHz a 100GHz, el *Jet Propulsion Laboratory* (EEUU), *Jodrell Bank* (Reino Unido), el RAL (Reino Unido) y Ylinen (Finlandia).

La Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) del IAC coordina las actividades relacionadas con este nuevo diseño y sus aplicaciones en telecomunicaciones. En el marco de estas aplicaciones, el IAC participa, junto con el Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en un proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología que persigue el desarrollo de un prototipo basado en este nuevo conmutador de fase.

ENLACE CON ARTEMIS

En cumplimiento del acuerdo firmado con la Agencia Europea del Espacio (ESA), tras realizar el diseño de la instrumentación de la Estación Óptica Terrestre (más conocida por OGS, siglas de *Optical Ground Station*), instalada en el Observatorio del Teide, en Tenerife, el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) probó con éxito, el pasado 15 de noviembre, a la 1:00 (hora local), el funcionamiento de esta estación. Durante 20 minutos estableció un enlace bidireccional por láser con ARTEMIS, el satélite de comunicaciones más avanzado de la ESA. Posteriormente se han realizado experimentos similares que han permitido obtener más datos sobre las prestaciones de las comunicaciones ópticas en el espacio.

Proyecto SILEX

En el ámbito del programa *Data Relay and Technology Mission* (DRTM), 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 utiliza un enlace experimental entre ARTEMIS, cuya situación inicial prevista era la órbita geostacionaria (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, el estudio del medioambiente y control de contaminación, la prevención y control de catástrofes y cartografía. Tras los problemas que ARTEMIS tuvo en el lanzamiento el pasado mes de julio, la ESA ha conseguido situarlo en una órbita circular a 31.000 km de altura en la que se han realizado los experimentos.

Para realizar pruebas en órbita de éstos 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 OGS, que consiste básicamente en un telescopio convencional de 1m de diámetro, junto con la instrumentación adecuada para la transmisión y recepción de comunicaciones ópticas.

«Con este fin -explica Marcos Reyes como ingeniero responsable del proyecto-, la OGS debe poder establecer enlaces bidireccionales con ARTEMIS y realizar los procedimientos de apuntado, adquisición y seguimiento corrigiendo los problemas que plantea la presencia de la atmósfera en la transmisión de señales ópticas».



Simulación del enlace establecido entre la Estación Óptica Terrestre (OGS), del Observatorio del Teide, y el satélite ARTEMIS. .

Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).

ESTABLECIDO CON ÉXITO, DESDE LA ESTACIÓN ÓPTICA TERRESTRE (OGS), DEL OBSERVATORIO DEL TEIDE, UN ENLACE POR LÁSER CON EL SATÉLITE DE COMUNICACIONES "ARTEMIS".

EL IAC FIRMARÁ UN NUEVO CONTRATO CON LA ESA PARA REALIZAR PRUEBAS DE COMUNICACIONES ÓPTICAS, NO SÓLO CON ARTEMIS SINO TAMBIÉN CON OTROS SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA (OSCAR-40 Y SMART-1), A LO LARGO DEL AÑO 2002.



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

Estas tareas, junto con el control global de los sistemas, son llevadas a cabo por la Instrumentación de Control y Test de la OGS, diseñada y desarrollada en el IAC. Sus funciones son: 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. Dentro del marco de estas actividades, la ESA ha llevado a cabo un estudio, en el que también participó 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).

Asimismo, está previsto que el IAC firme un nuevo contrato con la ESA para realizar pruebas de comunicaciones ópticas, no sólo con ARTEMIS sino también con otros satélites de órbita baja (OSCAR-40 y SMART-1), a lo largo del año 2002, con el propósito de modelar y predecir la propagación de los láseres hacia el espacio a través de la atmósfera.

Más información:
<http://www.iac.es/gabinete/noticias/2001/feb28.htm>
<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.stec.esa.nl/content/doc/b8/19640_htm
(página de la ESA sobre Laser-Link Experiment)



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

AGUJEROS NEGROS Y GALAXIAS

Investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) -**Alister Graham, Nicola Caon, Peter Erwin e Ignacio Trujillo**- han descubierto una nueva conexión fundamental entre los agujeros negros supermasivos –los objetos singulares más masivos del Universo- y las galaxias en cuyo centro residen. Esta conexión se ha establecido estudiando la distribución global de las estrellas en las galaxias, cuya concentración resulta estar relacionada con la masa del agujero negro central. El hallazgo ha sido recientemente publicado en la revista especializada *The Astrophysical Journal Letters*.

Los agujeros negros supermasivos son objetos cuya masa es entre un millón y mil millones de veces la masa del Sol. Aún así, el tamaño del “horizonte de sucesos” (superficie que rodea a un agujero negro de cuyo interior no puede escapar ningún rayo luminoso por la intensidad del campo gravitatorio) que marca la frontera de un agujero negro de un millón de masas solares es sólo unas cuatro veces mayor que nuestra estrella, pues se trata de objetos extraordinariamente densos. El Sol pesa 2 veces 10^{30} kg (casi medio millón de veces más pesado que la Tierra) y tiene un diámetro de 1,4 millones de kilómetros. Estos agujeros negros supermasivos parecen

encontrarse en el centro de un gran número de galaxias, la nuestra entre ellas.

La distribución global de estrellas en las galaxias elípticas y en los núcleos de las galaxias espirales está directamente relacionada, según estas investigaciones, con la masa de un agujero negro supermasivo situado en el núcleo de la galaxia. Las galaxias más masivas no son simplemente versiones de mayor tamaño de galaxias menos masivas, como se ha creído en el pasado. Toda su estructura es diferente: las galaxias más masivas presentan una mayor concentración en torno a su centro. Ahora, se ha demostrado que el grado exacto de concentración presenta una gran correlación con la masa del agujero negro supermasivo central. “Este nuevo resultado proporciona una útil perspectiva sobre la formación tanto de las galaxias como de los agujeros negros que residen en su centro. Ahora sabemos que cualquier teoría viable sobre el crecimiento de los agujeros negros supermasivos debe tener en cuenta la estructura global de la galaxia que lo alberga”, según Alister Graham, investigador responsable del proyecto.

Podría resultar completamente natural que las galaxias con mayor concentración de materia en torno a su centro –que son las que tienen fuentes de



*Simulación artística de un agujero negro.
Autor: Gabriel Pérez (SMM/IAC).*

**NUEVA CONEXIÓN
ENTRE LOS
AGUJEROS NEGROS
SUPERMASIVOS Y LAS
GALAXIAS QUE LOS
ALBERGAN.**

**ASTROFÍSICOS DEL
IAC DESCUBREN SU
RELACIÓN CON LA
DISTRIBUCIÓN GLOBAL
DE LAS ESTRELLAS.**

**LA MASA DE ESTOS
ENIGMÁTICOS
OBJETOS DEL
UNIVERSO PUEDE
AHORA
DETERMINARSE
DIRECTAMENTE A
PARTIR DE LA IMAGEN
DE LAS GALAXIAS.**



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

potencial gravitatorio más intensas- puedan aportar con mayor eficacia gas y materia para alimentar su agujero negro central. No obstante, los investigadores piensan que es posible que los procesos que dan forma a la galaxia y construyen el agujero negro central se afecten mutuamente. Aún queda abierta la cuestión de si existieron o no agujeros negros primordiales más pequeños antes de que se formaran las galaxias en torno a ellos.

Implicaciones observacionales

“Este descubrimiento –explica Alister- tiene asimismo implicaciones observacionales prácticas. La relación entre la masa del agujero negro central y la dispersión de velocidad de la galaxia significa que es posible hacer una estimación de la primera partiendo de la segunda. Desgraciadamente, se trata de un proceso que lleva mucho tiempo: para obtener la dispersión de velocidad, la luz de una galaxia debe antes ser dispersada en sus diferentes longitudes de onda (colores). Este procedimiento diluye el flujo de luz que nos llega de la galaxia y requiere, por tanto, tiempos de exposición largos”. Con esta nueva relación, los astrónomos pueden estimar la masa de los agujeros negros directamente a partir de la imagen de las galaxias, midiendo la disminución de la luz desde su centro y determinando así su concentración. De este modo, miles de galaxias muy lejanas, con alto corrimiento al rojo, pueden ahora estudiarse de forma

efectiva y barata. Los astrónomos esperan poder estudiar con mayor detalle la evolución de estos enigmáticos objetos, que parecen ser muy abundantes en el Universo.

Este trabajo se ha basado en los archivos de datos del Telescopio Espacial “Hubble” (NASA/ESA) y del Grupo de Telescopios “Isaac Newton”, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).

Título del artículo: “A correlation between Galaxy Light Concentration and Supermassive Black Hole Mass”, por A.W. Graham, P. Erwin, N. Caon y I. Trujillo, 2001. *ApJ*, 563, L11.

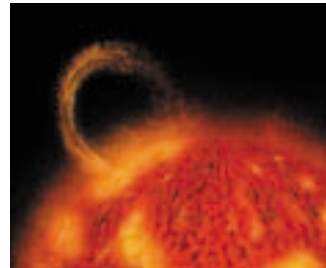
MAGNETISMO SOLAR

Los investigadores del IAC **Javier Trujillo-Bueno** (Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas), **Manuel Collados** y **Laura Merenda**, en colaboración con **Egidio Landi Degl'Innocenti** y **Rafael Manso Sainz**, de la Universidad de Florencia, han descubierto un mecanismo que produce importantes señales de polarización lineal en la luz que recibimos de regiones de la atmósfera solar donde el campo magnético es débil. La luz no sólo se caracteriza por su intensidad para cada longitud de onda, sino además por su estado de polarización, el cual está definido por la orientación del vector campo eléctrico de la onda electromagnética en el

plano perpendicular a la dirección de propagación.

“Se trata de un mecanismo físico -explica **Javier Trujillo Bueno**- que es muy difícil de estudiar en los laboratorios terrestres, pues requiere observar la luz parcialmente absorbida por un plasma de muy baja densidad pero de grandes dimensiones. Además, para que se produzca, los átomos del plasma en estudio tienen que estar iluminados de forma anisótropa, lo que acontece de forma natural en las regiones externas de las atmósferas estelares”.

La importancia del descubrimiento radica en que permitirá investigar de un modo mucho más fiable los campos magné-



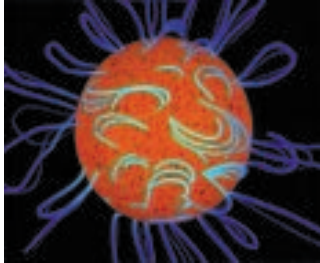
Simulación artística de una protuberancia solar. © ESA.

INVESTIGADORES DEL IAC Y DE LA UNIVERSIDAD DE FLORENCIA PREDICEN Y DESCUBREN LA EXISTENCIA DE IMPORTANTES SEÑALES DE POLARIZACIÓN EN LA LUZ DEL SOL, EN REGIONES DEL PLASMA SOLAR DONDE SE PENSABA QUE DICHA POLARIZACIÓN ERA INSIGNIFICANTE.

ESTE DESCUBRIMIENTO, PUBLICADO POR LA REVISTA *NATURE*, PERMITIRÁ DETERMINAR MEJOR LAS VARIACIONES EN LOS CAMPOS MAGNÉTICOS DE LAS PROTUBERANCIAS SOLARES, LAS CUALES SUELEN DESENCADENAR IMPRESIONANTES ERUPCIONES DE MASA CORONAL QUE EN OCASIONES AFECTAN A LA TIERRA.



Protuberancia activa observada por el telescopio espacial SOHO (SOHO es un proyecto internacional de colaboración entre la ESA y la NASA).



Simulación artística de líneas de campo magnético. © ESA.

ticos en las regiones externas de la atmósfera del Sol (cromosfera y corona). El plasma solar es un gas muy caliente que está parcialmente ionizado, es decir, con muchos de sus átomos divididos en iones y electrones. Los campos magnéticos confinan el plasma de las protuberancias solares, las cuales son gigantescos arcos de plasma que se extienden cientos de miles de kilómetros por encima de la superficie visible del Sol. Ocasionalmente, cuando el campo magnético cambia la geometría de sus líneas de fuerza, se desencadenan impresionantes erupciones de masa que son enviadas al medio interplanetario. Si están dirigidas hacia la Tierra, donde llegan a los pocos días de tener lugar el evento explosivo en el Sol, pueden producir tormentas geomagnéticas y destruir los circuitos electrónicos en satélites, dañando las comunicaciones.

“Nuestro grupo -explica **Trujillo Bueno**- lleva años desarrollando las técnicas de diagnóstico adecuadas para la exploración de los campos magnéticos en Astrofísica, y con particular interés en investigar el magnetismo solar. Gracias a la existencia de dos efectos físicos descubiertos previamente en los laboratorios terrestres (los efectos Zeeman y Hanle) podemos obtener información sobre campos magnéticos en el plasma de la atmósfera solar en un amplio rango de intensidades que va desde sólo una milésima de gauss hasta miles de gauss. Ambos efectos modifican el grado de polarización

de la luz emitida por los átomos en cada punto”.

Este trabajo ha requerido combinar estudios teóricos de Física Atómica y simulaciones numéricas junto con observaciones realizadas con un novedoso polarímetro desarrollado en el IAC. “Dicho instrumento -comenta **Manuel Collados**- está basado en cristales líquidos ferroeléctricos y permite medir con gran precisión el estado de polarización de la luz entre 1 y 2 micras, aproximadamente. Actualmente estamos estudiando seriamente la posibilidades de construir polarímetros para futuros telescopios espaciales basados en esta tecnología”.

“Nuestros trabajos -concluye **Trujillo Bueno**- involucran una continua interacción entre astrofísica teórica, simulaciones numéricas con potentes ordenadores, desarrollo instrumental y observaciones espectropolarimétricas. Es así como esperamos que nuestras investigaciones en magnetismo solar y espectropolarimetría tengan también su impacto en otros campos de la Astrofísica, ya que es en el Sol (nuestra estrella más cercana) donde podemos estudiar con suficiente detalle los resultados de la compleja interacción de un fluido conductor con sus propios campos magnéticos”.

Título del artículo: *"Selective absorption processes as the origin of puzzling spectral line polarization from the Sun"*, por J. Trujillo Bueno, E. Landi Degl'Innocenti, M. Collados, L. Merenda y R. Manso Sainz. 2002. *Nature*, 415, 403.

Más información:

<http://www.iac.es/gabinete/noticias/noticias.htm>

Resultados publicados por la revista *Nature*, el 24 de enero de 2002, en el momento del cierre de esta edición.

TELESCOPIO LIVERPOOL

El pasado 10 de noviembre, procedente de los muelles ingleses de Victoria, llegó al puerto palmero de Santa Cruz el «Telescopio Liverpool» para su instalación en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Este telescopio verá su primera luz y estará plenamente en funcionamiento en el año 2002.

Telescopio robótico

Perteneciente a la Universidad John Moores de Liverpool (Reino Unido), este telescopio funcionará robóticamente: las observaciones se llevarán a cabo de una manera automática y autónoma. Con sus 2 metros de diámetro, se convertirá en el telescopio más grande del mundo que no precise control humano. Su montura es altacimutal y su cúpula, con un diseño innovador, será completamente abatible. Una de las características fundamentales de este telescopio es la calidad de imagen que proporcionará.

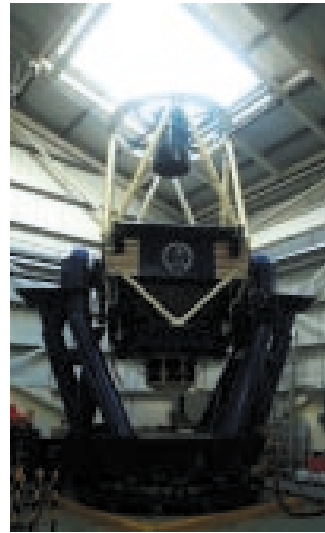
Programa para escolares

El Telescopio Liverpool está asociado con un programa de Divulgación Social de la Ciencia y la Tecnología del Reino Unido. Las imágenes directas que se obtengan con este telescopio ilustrarán las charlas

públicas del Museo y el Planetario de Liverpool. Profesores y estudiantes británicos también se beneficiarán del Programa para Escolares de este telescopio pudiendo realizar prácticas con él. Una página web educativa facilitará la comunicación entre el Telescopio Liverpool y los colegios y escuelas universitarias que soliciten datos observacionales. Asimismo, se está desarrollando un software de procesamiento de imágenes que permitirá a los alumnos trabajar con los datos requeridos.

En virtud de los Acuerdos Internacionales de Astrofísica, España dispondrá, como en los demás telescopios instalados en los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, del 20% de uso del Telescopio Liverpool, más un 5% en programas de colaboración internacional. Centros escolares españoles podrán beneficiarse igualmente de este telescopio.

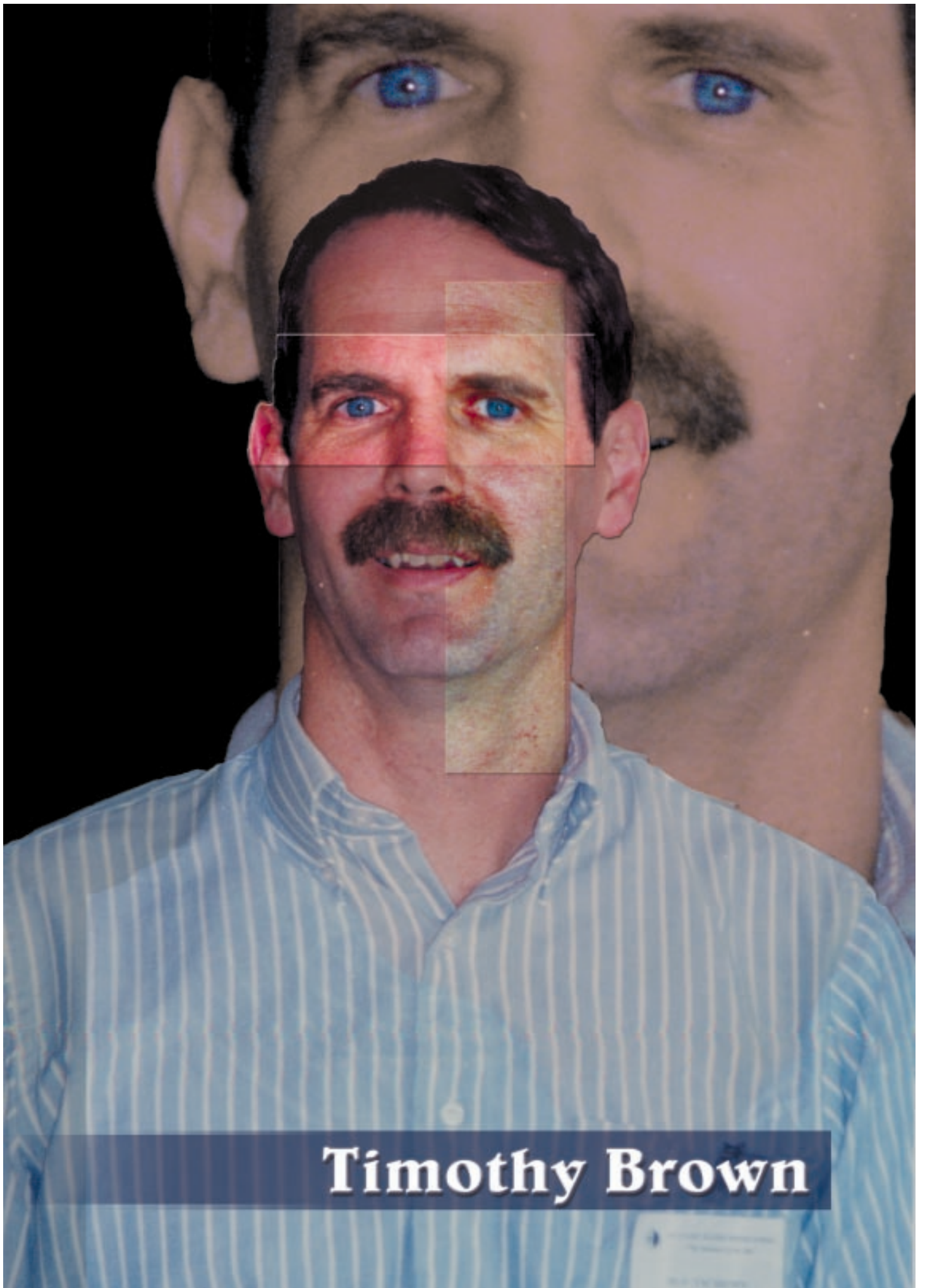
Más información:
<http://telescope.livjm.ac.uk/>



El «Telescopio Liverpool», antes de su traslado al Observatorio del Roque de los Muchachos.

LLEGADA AL
OBSERVATORIO DEL
ROQUE DE
LOS MUCHACHOS
DEL "TELESCOPIO
LIVERPOOL".

ESTE TELESCOPIO
FUNCIONARÁ POR
CONTROL REMOTO
Y ESTARÁ
ASOCIADO
A UN PROGRAMA
DE DIVULGACIÓN
CIENTÍFICA ENTRE
ESCOLARES.



Timothy Brown

TIMOTHY BROWN



High Altitude Observatory (HAO), del NCAR (Estados Unidos)

Investigador principal del *High Altitude Observatory* (HAO), del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica, Tim Brown fue director del grupo de técnicas de reducción y análisis de datos de la red heliosismológica GONG. Experto en el desarrollo de técnicas instrumentales, trabajó durante años en el estudio de las oscilaciones solares, pero lleva más de una década “tratando de buscar en otras estrellas las pulsaciones que observamos en el Sol”, y considera “pura coincidencia” que las técnicas heliosismológicas en las que se especializó sean las mismas que se necesitan en la búsqueda de exoplanetas. No podía dejar pasar la oportunidad y, desde mediados de los años 90, se ha embarcado en esta reciente cruzada de la Astrofísica. En julio de 2001, instaló en el Observatorio del Teide el pequeño telescopio STARE, que vigila el cielo esperando registrar tránsitos planetarios en otras estrellas.

PROYECTO “STARE” La búsqueda de exoplanetas

PROYECTO "STARE" **La búsqueda de exoplanetas**

ENTREVISTA CON TIMOTHY BROWN



Hasta hace poco tiempo se le incluía a usted en los círculos de la Física Solar, mientras que ahora le vemos en los medios de comunicación anunciando nuevos éxitos en la búsqueda de planetas extrasolares ¿a qué se debe este cambio de campo de investigación?

“Mi trabajo se ha centrado tradicionalmente en el campo de las oscilaciones solares, pero llevo ya diez años trabajando también en oscilaciones estelares, tratando de buscar en otras estrellas el mismo tipo de pulsaciones que observamos en el Sol. Hay dos formas de hacerlo: una es mediante técnicas fotométricas de alta precisión y la otra mediante el estudio de la velocidad radial. Y resulta que la precisión necesaria para estos dos métodos es la misma que la que se precisa en la búsqueda de planetas extrasolares. Fue pura coincidencia que yo estuviera trabajando justamente en las técnicas adecuadas para la búsqueda de planetas. Me pareció una oportunidad demasiado buena como para dejarla escapar, así que llevo unos cuantos años trabajando cada vez más en el tema de los planetas y menos en cuestiones solares, tanto que ya no trabajo en oscilaciones solares. En algún momento volveré a ese campo, pero por el momento me dedico a los planetas extrasolares.”



Recientemente ha trasladado usted un telescopio al OT de una ubicación anterior. ¿De qué tipo de telescopio se trata y en qué consiste este proyecto?

“Se trata de un pequeño telescopio, el STARE (*Stellar Astrophysics & Research on Planets*). Tan pequeño que cabe en el maletero de un coche, es capaz de observar muchos miles de estrellas a la vez. Con él tratamos de registrar el paso de un planeta pequeño por delante de una estrella grande. Cuando se produce el tránsito lo que sucede es que la estrella se ve ligeramente más débil, y esto ocurre de forma periódica, una vez en cada órbita que el planeta traza alrededor de la estrella.

Ya hemos tenido éxito en la búsqueda de planetas con este telescopio. La cuestión es saber a qué estrella hay que apuntar. Por ahora sabemos que podemos observar el tránsito de planetas por delante de sus estrellas, lo que hace falta es observar muchas estrellas y esperar encontrar algún planeta.

El emplazamiento original de STARE era el jardín trasero del *Foothills Lab* del NCAR, en Boulder (Colorado), una especie de aparcamiento donde no había oscuridad suficiente. Tras algunos trámites, conseguimos instalarlo en Canarias y ahora se encuentra en el Observatorio del Teide desde julio de 2001. Gracias a su reducido tamaño, tras dos semanas de instalación comenzó a estar operativo y a almacenar datos de una calidad muy superior a los anteriores. El número de estrellas detectadas

en su chip CCD es ahora unas 3 veces mayor que en su antiguo emplazamiento; de esta forma, la probabilidad de detectar un tránsito planetario es también considerablemente mayor. En estos momentos, se dispone de datos de una campaña de más de dos meses de observación en una región de la constelación del Cisne, que se están terminando de analizar. Esperamos que entre ellos se encuentre la traza de algún nuevo planeta.

El telescopio STARE, ¿es el único telescopio de su clase que está funcionando, o forma parte de alguna red o colaboración?

“Colaboro con dos grupos de los EEUU, uno está en Arizona y el otro en California. Ambos tienen telescopios similares. Para nosotros era un desperdicio tener los tres telescopios en EEUU,



Arriba: el telescopio STARE en su nueva ubicación en el Observatorio del Teide (Tenerife).

Abajo: Tim Brown instalando el telescopio en el Foothills Lab (Boulder)

por eso nos interesaba trasladar uno de ellos a la misma latitud pero en Europa, para poder observar la misma parcela de cielo pero durante 16 horas, lo que sirve de gran ayuda para el proyecto. La idea es funcionar como una red.

También está prevista una colaboración con el equipo del satélite europeo COROT, un satélite cuyo funcionamiento es básicamente idéntico al de STARE, que será lanzado en el 2005. En esta colaboración, STARE ayudará a encontrar estrellas variables en los campos que observará COROT.”

¿Cómo funciona este telescopio en relación con telescopios de mayor tamaño?

“La idea es encontrar con telescopios pequeños planetas que sean candidatos interesantes y luego utilizar los telescopios mayores para determinar de qué objeto se trata y cuáles son sus características físicas. Lo primero que hay que hacer es una medida de velocidad radial para comprobar si estamos ante un planeta o ante otro cuerpo menor pero más masivo, como una enana marrón, por ejemplo, o una estrella muy pequeña. Pero hay muchas más cosas que se pueden hacer: creo que lo más útil de todo el proyecto es que cualquier planeta que observemos durante su tránsito en torno a su estrella puede observarse también de muchas otras formas y podemos aprender mucho de estos planetas si los observamos con grandes telescopios. Precisamente en los observatorios canarios hay telescopios mayores que podrían utilizarse para estos fines.”

“Creo que hemos llegado al punto en que los investigadores están pasando de buscar objetos a dedicarse a estudiar su física, y eso es bueno.”

Usted ha colaborado con Michel Mayor en trabajos de fotometría de uno de los objetos que ha identificado su grupo.

“Sí, apuntamos nuestro telescopio a este objeto por las observaciones de velocidad radial realizadas por Michel Mayor y David Latham y sus colaboradores. Ellos observaron la estrella HD 209458 durante dos años y vieron que tenía las características ideales para tratar de buscar un planeta girando a su alrededor. Así que uno de los estudiantes de Latham, David Charbonneau, vino de Harvard hasta Boulder para trabajar conmigo y trajo consigo la sugerencia de que deberíamos observar aquella estrella. Lo hicimos y allí estaba: el tránsito que buscábamos.

No tenía por qué haber sido así, las probabilidades de encontrarlo eran de 1 entre 10, pero tuvimos suerte. Muchas veces es cuestión de suerte.”

¿Qué más puede decir de esta rama reciente de la astrofísica que es la búsqueda de planetas extrasolares?

“Pues que está avanzando muy rápidamente. El primer planeta girando en torno a otra estrella se encontró en octubre de 1995. Desde entonces se han encontrado más de treinta; las enanas marrones eran algo muy raro hace unos pocos años, y ahora conocemos docenas de ellas y parece que cada noche se encuentra alguna más, un campo en el que, por ejemplo, el grupo de Rafael Rebolo está muy activo. Creo que hemos llegado al punto en que los investigadores están pasando de buscar objetos a dedicarse a estudiar su física, y eso es bueno. Para mí es un campo de trabajo realmente apasionante, hay más cosas de las que se pueden abarcar.”

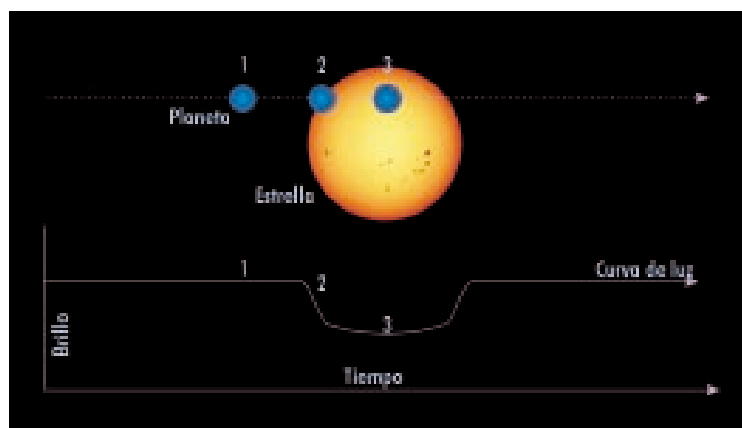


Figura basada en una realizada por Hans Deeg para «Tránsitos de planetas extrasolares». Tratamiento: Gotzon Cañada (IAC)

BEGOÑA LÓPEZ BETANCOR (IAC)



Fred Hoyle

PERSONAJES



John Beckman
(IAC/CSIC)

Fred Hoyle (1915-2001)

Fred Hoyle era uno de los astrofísicos más creativos del siglo XX. Su contribución fundamental a la física fue establecer los detalles de los procesos que han formado los elementos químicos dentro de las estrellas, y dentro de la bola de fuego primordial después de la gran explosión que inició el universo. Irónicamente, él nunca creyó en el modelo de la gran explosión porque era uno de los autores de una teoría alternativa, la del universo de estado estacionario. Inventó el término «Big Bang» como jerga menospreciativa de la gran explosión, y a su *chagrin* el término se adoptó como el de uso profesional serio. Su modelo se vino abajo no por ser menos probable a priori que el de la gran explosión, sino porque como en toda ciencia bien hecha, las observaciones que se han acumulado en las últimas décadas se explican mucho mejor por el último que por el primero, lo que no le quita a Hoyle su genialidad. Además de sus trabajos sobre la formación de los elementos, y de cosmología, Hoyle y sus colaboradores propusieron nuevas ideas sobre la formación del Sistema Solar, y de los cometas, y fueron pioneros en proponer la importancia de los procesos de atracción por gravedad del gas y polvo interestelares hacia los objetos más pesados en un sistema estelar, el dicho proceso de «acreción» que ahora se sabe desempeña un papel fundamental en la física de la emisión de radiación de los alrededores de los agujeros negros en los centros de las galaxias.

Hoyle era un gran divulgador, tanto para el público en general, como para un público más sofisticado. Se hizo famoso vía charlas en la BBC, que atraían audiencias muy grandes, pero también escribió libros de texto de

gran calidad y claridad. Con su hijo Geoffrey escribió libros de ciencia ficción, algunos de los cuales se convirtieron en series para la televisión, y uno que fue explícitamente para niños. Tenía un carácter controvertido y controvertialista, manteniendo ideas heterodoxas sobre el origen de la vida fuera de la tierra, por ejemplo, que le crearon enemigos entre los biólogos y geneticistas. Criticó fuertemente al comité Nobel por no dar el premio a Jocelyn Bell (co-descubridora de los púlsares), y como consecuencia no le concedieron el premio a él cuando se lo dieron a su colaborador Fowler; como consuelo recibió el Premio Crafoord, del mismo comité en el año 1997. Odiaba la administración, pero creó el Instituto de Astronomía de Cambridge, ahora considerado el mejor del mundo en astrofísica teórica, impulsó la creación del observatorio Anglo-Australiano y la implantación de los grandes telescopios británicos en la isla canaria de La Palma.

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS



Carmen del Puerto
(IAC)

El Big Bang

El término *Big Bang* fue acuñado por el astrónomo británico sir Fred Hoyle (1915-2001) cuando trataba de explicar en tono eufemístico y burlesco -se dice que se sirvió de este término por sus connotaciones sexuales- una teoría acerca del origen del Universo con la que no estaba de acuerdo. Hoyle había sido invitado a dar una serie de seis charlas en la BBC Radio 3. Entonces trabajaba en el Instituto de Astronomía Teórica de Cambridge, hoy sólo Instituto de Astronomía, en cuyos jardines se encuentra una estatua que honra su memoria.

Según el Diccionario de Oxford, el término apareció escrito por primera vez en su libro *The nature of the Universe* (La naturaleza del Universo), un manual que recoge el contenido de sus charlas en la radio y que fue publicado en 1950. Bajo el epígrafe “Teorías del Universo en expansión”, Hoyle clasifica

las ideas al respecto en dos grupos: «Uno, que el Universo comenzó su vida hace un tiempo finito en una única enorme explosión [en inglés, *huge explosion*] y que la expansión actual es una reliquia de la violencia de esta explosión. La idea de esta gran explosión [ahora escrito *big bang* en inglés] no me pareció satisfactoria -explica Hoyle- incluso antes de que un examen detallado mostrara que conduce a serias dificultades».¹

No deja de ser una paradoja que fuera el propio Hoyle quien acuñara el término *Big Bang*. Seguramente, él nunca imaginó

que su propio ingenio terminaría haciendo tan popular la teoría que detestaba, aunque según Dennis Overbye, “le encantó que esta denominación se convirtiera luego en la terminología normal”.²

Tuvimos la oportunidad de entrevistar a Fred Hoyle el 30 de octubre de 1992, con ocasión de su estancia en el IAC como invitado a los Coloquios organizados por este Instituto y la Fundación BBV. Resultado de la entrevista que mantuvimos fueron los artículos *La herejía de los genios*³, en la sección *A través del prisma* de la revista *IAC Noticias*, y la entrevista-perfil titulada “La vida no pudo originarse en la Tierra”⁴, publicada en la revista *Muy Interesante*. Destacamos a continuación algunos fragmentos de interés: *Con un marcado acento de Yorkshire y un carisma que brinda no sólo la edad, Sir Fred Hoyle -cosmólogo, británico y caballero- se dirigió a un público que esperaba oír al ‘padre del Universo Estacionario’ con singular interés. En un momento en que la actualidad científica -el satélite COBE, por poner un ejemplo reciente- parece respaldar sin reservas el modelo del Big Bang, escuchar a Hoyle mantener la teoría contraria, su teoría, era para muchos una tentación irreprimible. Un hombre iconoclasta, dialéctico y tan combativo -dicen- como si hubiera ganado a caballo su título de caballero; que con sus libros -algunos de pura ciencia ficción- despertó vocaciones en muchos astrónomos, hoy situados quizá al otro lado del espejo. Un hombre, en cualquier caso y al margen de su heterodoxia, que figurará entre los grandes pensadores de este siglo.*



Fred Hoyle siguió rechazando las pruebas en favor de la teoría del Big Bang, como los resultados del satélite *COBE*, que en nuestra entrevista calificó sin pudor de “affaire periodístico”: *Es un heterodoxo para quien el conocimiento no tiene límite. Su osadía ha llegado tan lejos que, aún hoy, con pruebas que respaldan la teoría del Big Bang, él sigue condenando lo que cree más bien una teoría política, con un buen montaje periodístico. En el momento de la entrevista que le hicimos durante su visita, Hoyle se mostró contundente con las supuestas pruebas que respaldan la teoría del Big Bang. “Los resultados del satélite COBE no prueban en absoluto la teoría del Big Bang”, pues según él pueden tener otras explicaciones distintas a la dada por el propio equipo del satélite. “Probablemente los datos son correctos, pero se refieren a fenómenos en nuestra propia galaxia. Creo que, como en el caso de la fusión fría, todo ha sido un affaire periodístico”.*

Al afirmar que la vida no pudo originarse en la Tierra, Hoyle se mostró como un firme y polémico defensor de la “panespermia” griega, aunque en versión siglo XX, abordando el problema con una visión meramente cosmológica.

La primera vez que Fred Hoyle expuso sus teorías sobre la existencia de moléculas orgánicas extraterrestres y de que la vida podía aportar formas muy diferentes de las conocidas en la Tierra, no fue a través de un artículo en una revista científica, como habitualmente se hace en estos casos. Quizá por temor al descrédito frente a sus colegas científicos lo hizo a través de una apasionante novela de ciencia ficción titulada *The Black Cloud* (La nube negra, 1957). En ella proponía que la vida en el medio interestelar habría evolucionado hasta adoptar la forma de una nube inteligente que se

alimentaba de la luz de las estrellas. La amenaza que para la Tierra supone el acercamiento de esta nube detectada en el Sistema Solar provoca en la novela un enfrentamiento entre astrónomos y gobernantes, que Hoyle utilizó hábilmente como pretexto para hacer dura crítica tanto a las interferencias políticas en la labor científica como a la cantidad de errores que los científicos pueden cometer.

La revista de divulgación *Sky and Telescope* organizó en 1993 un concurso para dar un nombre nuevo a la teoría del *Big Bang*, dado que esta «Gran Explosión» ni fue «Grande» ni consistió en una «Explosión», no tuvo lugar dentro del espacio existente, sino que creó el espacio mientras se expandía (y continúa haciéndolo)⁵. Según Carl Sagan, miembro del jurado, de las 13.099 postales procedentes de 41 países que llegaron a la redacción de la revista ningún término superaba al *Big Bang* “en oportunidad, especialmente cuando sopesamos su familiaridad y facilidad de uso en todo el mundo”⁶.

NOTAS

1 HOYLE, Fred. *The Nature of the Universe*. A series of Broadcast Lectures. Basil Blackwell. Oxford, 1950. Pág. 102.

2 OVERBYE, Dennis. *Corazones solitarios en el Cosmos*. (Lonely Hearts of the Cosmos). Editorial Planeta (Documentos). Barcelona, 1992 (e.o. 1991). Pág. 51.

3 DEL PUERTO, Carmen. “La herejía de los genios”, en *IAC Noticias*, N. 1-1993. Págs. 22-25.

4 DEL PUERTO, Carmen. “La vida no pudo originarse en la Tierra”, en *Muy Interesante*, N. 146, julio, 1993. Págs. 80-82.

5 FERRIS, Timothy. «En busca de un nuevo nombre para el Big Bang» en *Cosmos*, octubre de 1993. Págs. 672-673. Artículo en inglés.

«Needed: A Better Name for the Big Bang», en *Sky and Telescope*, agosto de 1993. Págs. 4-5.

6 BEATTY, Cheryl J., y FEINBERG, Richard T. «Cosmología Participativa: Nuevos Nombres para el Big Bang» en *Cosmos*, mayo de 1994. Págs. 286-288. Artículo en inglés: «Participatory Cosmology: The Big Bang Challenge», en *Sky and Telescope*, marzo de 1994. Págs. 20-22.

PERSONAJES



John Beckman
(IAC/CSIC)

Fred Hoyle (1915-2001)

Fred Hoyle era uno de los astrofísicos más creativos del siglo XX. Su contribución fundamental a la física fue establecer los detalles de los procesos que han formado los elementos químicos dentro de las estrellas, y dentro de la bola de fuego primordial después de la gran explosión que inició el universo. Irónicamente, él nunca creyó en el modelo de la gran explosión porque era uno de los autores de una teoría alternativa, la del universo de estado estacionario. Inventó el término «Big Bang» como jerga menospreciativa de la gran explosión, y a su *chagrin* el término se adoptó como el de uso profesional serio. Su modelo se vino abajo no por ser menos probable a priori que el de la gran explosión, sino porque como en toda ciencia bien hecha, las observaciones que se han acumulado en las últimas décadas se explican mucho mejor por el último que por el primero, lo que no le quita a Hoyle su genialidad. Además de sus trabajos sobre la formación de los elementos, y de cosmología, Hoyle y sus colaboradores propusieron nuevas ideas sobre la formación del Sistema Solar, y de los cometas, y fueron pioneros en proponer la importancia de los procesos de atracción por gravedad del gas y polvo interestelares hacia los objetos más pesados en un sistema estelar, el dicho proceso de «acreción» que ahora se sabe desempeña un papel fundamental en la física de la emisión de radiación de los alrededores de los agujeros negros en los centros de las galaxias.

Hoyle era un gran divulgador, tanto para el público en general, como para un público más sofisticado. Se hizo famoso vía charlas en la BBC, que atraían audiencias muy grandes, pero también escribió libros de texto de

gran calidad y claridad. Con su hijo Geoffrey escribió libros de ciencia ficción, algunos de los cuales se convirtieron en series para la televisión, y uno que fue explícitamente para niños. Tenía un carácter controvertido y controvertialista, manteniendo ideas heterodoxas sobre el origen de la vida fuera de la tierra, por ejemplo, que le crearon enemigos entre los biólogos y geneticistas. Criticó fuertemente al comité Nobel por no dar el premio a Jocelyn Bell (co-descubridora de los púlsares), y como consecuencia no le concedieron el premio a él cuando se lo dieron a su colaborador Fowler; como consuelo recibió el Premio Crafoord, del mismo comité en el año 1997. Odiaba la administración, pero creó el Instituto de Astronomía de Cambridge, ahora considerado el mejor del mundo en astrofísica teórica, impulsó la creación del observatorio Anglo-Australiano y la implantación de los grandes telescopios británicos en la isla canaria de La Palma.

LA JERGA DE LAS ESTRELLAS



Carmen del Puerto
(IAC)

El Big Bang

El término *Big Bang* fue acuñado por el astrónomo británico sir Fred Hoyle (1915-2001) cuando trataba de explicar en tono eufemístico y burlesco -se dice que se sirvió de este término por sus connotaciones sexuales- una teoría acerca del origen del Universo con la que no estaba de acuerdo. Hoyle había sido invitado a dar una serie de seis charlas en la BBC Radio 3. Entonces trabajaba en el Instituto de Astronomía Teórica de Cambridge, hoy sólo Instituto de Astronomía, en cuyos jardines se encuentra una estatua que honra su memoria.

Según el Diccionario de Oxford, el término apareció escrito por primera vez en su libro *The nature of the Universe* (La naturaleza del Universo), un manual que recoge el contenido de sus charlas en la radio y que fue publicado en 1950. Bajo el epígrafe “Teorías del Universo en expansión”, Hoyle clasifica

las ideas al respecto en dos grupos: «Uno, que el Universo comenzó su vida hace un tiempo finito en una única enorme explosión [en inglés, *huge explosion*] y que la expansión actual es una reliquia de la violencia de esta explosión. La idea de esta gran explosión [ahora escrito *big bang* en inglés] no me pareció satisfactoria -explica Hoyle- incluso antes de que un examen detallado mostrara que conduce a serias dificultades».¹

No deja de ser una paradoja que fuera el propio Hoyle quien acuñara el término *Big Bang*. Seguramente, él nunca imaginó

que su propio ingenio terminaría haciendo tan popular la teoría que detestaba, aunque según Dennis Overbye, “le encantó que esta denominación se convirtiera luego en la terminología normal”.²

Tuvimos la oportunidad de entrevistar a Fred Hoyle el 30 de octubre de 1992, con ocasión de su estancia en el IAC como invitado a los Coloquios organizados por este Instituto y la Fundación BBV. Resultado de la entrevista que mantuvimos fueron los artículos *La herejía de los genios*³, en la sección *A través del prisma* de la revista *IAC Noticias*, y la entrevista-perfil titulada “La vida no pudo originarse en la Tierra”⁴, publicada en la revista *Muy Interesante*. Destacamos a continuación algunos fragmentos de interés: *Con un marcado acento de Yorkshire y un carisma que brinda no sólo la edad, Sir Fred Hoyle -cosmólogo, británico y caballero- se dirigió a un público que esperaba oír al ‘padre del Universo Estacionario’ con singular interés. En un momento en que la actualidad científica -el satélite COBE, por poner un ejemplo reciente- parece respaldar sin reservas el modelo del Big Bang, escuchar a Hoyle mantener la teoría contraria, su teoría, era para muchos una tentación irreprimible. Un hombre iconoclasta, dialéctico y tan combativo -dicen- como si hubiera ganado a caballo su título de caballero; que con sus libros -algunos de pura ciencia ficción- despertó vocaciones en muchos astrónomos, hoy situados quizá al otro lado del espejo. Un hombre, en cualquier caso y al margen de su heterodoxia, que figurará entre los grandes pensadores de este siglo.*



Fred Hoyle siguió rechazando las pruebas en favor de la teoría del Big Bang, como los resultados del satélite *COBE*, que en nuestra entrevista calificó sin pudor de “affaire periodístico”: *Es un heterodoxo para quien el conocimiento no tiene límite. Su osadía ha llegado tan lejos que, aún hoy, con pruebas que respaldan la teoría del Big Bang, él sigue condenando lo que cree más bien una teoría política, con un buen montaje periodístico. En el momento de la entrevista que le hicimos durante su visita, Hoyle se mostró contundente con las supuestas pruebas que respaldan la teoría del Big Bang. “Los resultados del satélite COBE no prueban en absoluto la teoría del Big Bang”, pues según él pueden tener otras explicaciones distintas a la dada por el propio equipo del satélite. “Probablemente los datos son correctos, pero se refieren a fenómenos en nuestra propia galaxia. Creo que, como en el caso de la fusión fría, todo ha sido un affaire periodístico”.*

Al afirmar que la vida no pudo originarse en la Tierra, Hoyle se mostró como un firme y polémico defensor de la “panespermia” griega, aunque en versión siglo XX, abordando el problema con una visión meramente cosmológica.

La primera vez que Fred Hoyle expuso sus teorías sobre la existencia de moléculas orgánicas extraterrestres y de que la vida podía aportar formas muy diferentes de las conocidas en la Tierra, no fue a través de un artículo en una revista científica, como habitualmente se hace en estos casos. Quizá por temor al descrédito frente a sus colegas científicos lo hizo a través de una apasionante novela de ciencia ficción titulada *The Black Cloud* (La nube negra, 1957). En ella proponía que la vida en el medio interestelar habría evolucionado hasta adoptar la forma de una nube inteligente que se

alimentaba de la luz de las estrellas. La amenaza que para la Tierra supone el acercamiento de esta nube detectada en el Sistema Solar provoca en la novela un enfrentamiento entre astrónomos y gobernantes, que Hoyle utilizó hábilmente como pretexto para hacer dura crítica tanto a las interferencias políticas en la labor científica como a la cantidad de errores que los científicos pueden cometer.

La revista de divulgación *Sky and Telescope* organizó en 1993 un concurso para dar un nombre nuevo a la teoría del *Big Bang*, dado que esta «Gran Explosión» ni fue «Grande» ni consistió en una «Explosión», no tuvo lugar dentro del espacio existente, sino que creó el espacio mientras se expandía (y continúa haciéndolo)⁵. Según Carl Sagan, miembro del jurado, de las 13.099 postales procedentes de 41 países que llegaron a la redacción de la revista ningún término superaba al *Big Bang* “en oportunidad, especialmente cuando sopesamos su familiaridad y facilidad de uso en todo el mundo”⁶.

NOTAS

1 HOYLE, Fred. *The Nature of the Universe*. A series of Broadcast Lectures. Basil Blackwell. Oxford, 1950. Pág. 102.

2 OVERBYE, Dennis. *Corazones solitarios en el Cosmos*. (Lonely Hearts of the Cosmos). Editorial Planeta (Documentos). Barcelona, 1992 (e.o. 1991). Pág. 51.

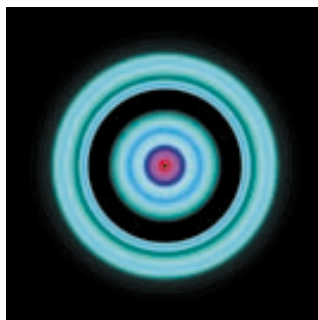
3 DEL PUERTO, Carmen. “La herejía de los genios”, en *IAC Noticias*, N. 1-1993. Págs. 22-25.

4 DEL PUERTO, Carmen. “La vida no pudo originarse en la Tierra”, en *Muy Interesante*, N. 146, julio, 1993. Págs. 80-82.

5 FERRIS, Timothy. «En busca de un nuevo nombre para el Big Bang» en *Cosmos*, octubre de 1993. Págs. 672-673. Artículo en inglés.

«Needed: A Better Name for the Big Bang», en *Sky and Telescope*, agosto de 1993. Págs. 4-5.

6 BEATTY, Cheryl J., y FEINBERG, Richard T. «Cosmología Participativa: Nuevos Nombres para el Big Bang» en *Cosmos*, mayo de 1994. Págs. 286-288. Artículo en inglés: «Participatory Cosmology: The Big Bang Challenge», en *Sky and Telescope*, marzo de 1994. Págs. 20-22.



La figura muestra el logaritmo de la densidad del gas después del último pulso térmico para una estrella de $1M_{\odot}$.
© IAC (Eva Villaver).

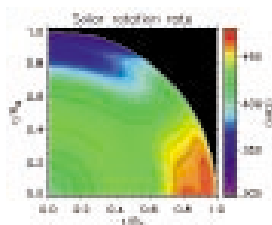
Nebulosas planetarias

“La evolución del gas circunestelar desde la RAG hasta la formación de nebulosas planetarias”

EVA VILLAVER SOBRINO
Director: Arturo Manchado (IAC) y Guillermo García Sefura (UNAM)
Fecha: 20/07/01

En esta tesis se ha llevado a cabo una aproximación al problema de la formación de nebulosas planetarias (NPs) desde dos frentes. Por un lado, se han observado las propiedades de una amplia muestra de NPs que morfológicamente presentan capas múltiples, estudiando la cinemática de las diferentes capas mediante la obtención y análisis de espectros *echelle* de alta resolución. Por otro lado, se ha estudiado la evolución del gas circunestelar desde la fase de pulsos térmicos durante la rama asintótica de gigantes (RAG) hasta la formación de la NP. Para ello se han realizado simulaciones numéricas de la hidrodinámica del gas utilizando descripciones realistas del viento estelar en cada fase, tal y como predicen los modelos teóricos de evolución estelar. En un intento por obtener una visión completa del proceso de formación de NPs y de sus características, se ha investigado la evolución del gas expulsado para todo el rango de masas que da lugar a su formación.

La energía inyectada por la estrella central determina la evolución del gas circunestelar, por tanto, se ha separado la descripción de su evolución en tres partes: la RAG, el tiempo de transición y finalmente la formación de la NP.



Perfil de rotación solar inferido a partir de un año de observaciones con LOWL.
© IAC (Sebastián J. Jiménez).

Heliosismología y ciclo solar

“Análisis heliosísmico del ciclo de actividad solar”

SEBASTIÁN JESÚS JIMÉNEZ REYES
Director: Pere Lluís Pallé (IAC) y Steve Tomczyk (HAO/NCAR)
Fecha: 22/11/01

Las oscilaciones solares y, en particular, sus frecuencias características, proporcionan una herramienta de diagnóstico única para comprender la estructura y la dinámica del Sol. Estas frecuencias varían de forma conocida mediante diferentes mecanismos dinámicos internos, como la rotación o el magnetismo, permitiendo el estudio de los procesos físicos subyacentes.

El experimento LOWL constituye uno de los mejores instrumentos de análisis Doppler para la observación de las oscilaciones solares. Analizando sus datos en bruto se obtienen parámetros precisos de modos acústicos o modos *p*. El análisis de series temporales consecutivas a lo largo del ciclo de actividad solar nos permite estudiar las variaciones de estos parámetros y los fenómenos que lo originan. En esta tesis se estudiaron las variaciones de los parámetros de los modos *p* a lo largo del ciclo de actividad solar y los posibles cambios de la *tachoclina*, interfase entre la zona de convección solar que rota de forma diferencial, y la zona radiativa, que rota como un sólido rígido. Las principales conclusiones del trabajo son las siguientes: la fuente principal de la variación en la frecuencia se localiza en la superficie solar y presenta una dependencia clara con la latitud; y no hay evidencias de variaciones o de tendencia general en los parámetros de la *tachoclina* correlacionadas con el ciclo de actividad solar.

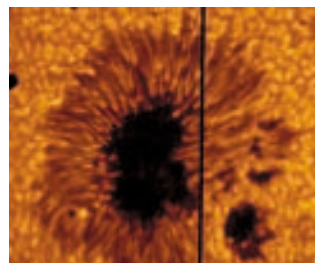


Imagen de una mancha solar.
© IAC (Eduardo J. Vela).

Efecto Evershed y manchas solares

“Estudio del efecto Evershed y de la estructura fina del campo magnético en la penumbra de las manchas solares”

EDUARDO JUAN VELA VILLAHOZ
Directores: Jorge Sánchez Almeida (IAC)
Fecha: 14/12/01

A pesar de que se conoce la existencia de las manchas solares desde hace mucho tiempo, todavía no se entienden completamente los procesos físicos que hacen posible que aparezcan, mantengan su estructura casi inalterada durante semanas o incluso meses y, finalmente, desaparezcan. Resulta también muy difícil la identificación inequívoca del origen del efecto Evershed, un importante fenómeno presente en todas las manchas y descubierto hace más de noventa años. La polarización instrumental es un inconveniente común a las observaciones capacitadas para responder a estas cuestiones, por lo que en esta tesis se introduce un método destinado a minimizar dicho inconveniente de una manera sencilla: las líneas sin polarización instrumental. Utilizando este método se realizan unas observaciones de muy alta resolución espacial, las cuales son descritas en la tesis. A partir de los datos recogidos en estas observaciones, se estudia el campo magnético y la velocidad en la penumbra de las manchas solares, y se propone un escenario simple que consigue reproducir, al menos cualitativamente, la relación existente entre la velocidad y su gradiente.

Estrellas emparejadas

ESTRELLAS BINARIAS (P7/88)

Investigador Principal: C. Lázaro

Investigadores: M.J. Arévalo, P. Rodríguez Gil, I.G. Martínez-Pais, J. Casares, T. Shahbaz

El Sol es una estrella individual. Como es la más cercana y conocida, por extrapolación se suele pensar que las estrellas son objetos solitarios, alejados los unos de los otros. Nada más lejos de la realidad. La mayoría de las estrellas forman parte de sistemas múltiples que se denominan en función del número de componentes. Así, hablamos de sistema binario o estrella binaria cuando el sistema está formado por dos estrellas; de sistema triple o estrella triple cuando son tres, y así sucesivamente.

Independientemente de que formen parte de un sistema, las estrellas evolucionan, y lo hacen mucho más rápidamente cuanto más masa tienen.

Por tanto, una estrella de mayor masa que el Sol, pasará por las diferentes etapas de evolución mucho más rápidamente que nuestra estrella. Podemos encontrar sistemas múltiples de estrellas cuyas componentes se encuentran en distintos estados evolutivos entre sí.

Unos objetos muy interesantes son los que denominamos variables cataclísmicas. Son sistemas binarios formados por una estrella de masa similar o menor a la del Sol (la componente secundaria) y una enana blanca (la componente primaria). Una enana blanca es una estrella en las últimas etapas de su evolución, que ha agotado todo el combustible que es capaz de quemar con relación a su masa. Su densidad es tal que un terrón de azúcar de enana blanca pesaría unas mil toneladas. Es como si metiéramos al Sol en el volumen de La Tierra. En cambio, la componente secundaria es una estrella de poca masa, por lo que no ha evolucionado tan rápidamente como su densa compañera.

El efecto de la gravedad provoca que la enana blanca “robe” gas, principalmente hidrógeno (el elemento químico más abundante), a la secundaria, mientras ambas orbitan rápidamente alrededor de un centro de masas común. Debido al giro, el material de la secundaria no cae directamente en la enana blanca. Es parecido a lo que ocurre cuando se salta de un tiovivo en movimiento: la zona del suelo sobre la que se aterriza está un poco más hacia adelante en el sentido de giro del tiovivo que el lugar escogido antes de saltar. Del mismo modo, el chorro de gas es desviado y se pone en órbita alrededor de la enana blanca. Con el tiempo, se forma un “disco de acrecimiento” (normalmente llamado de acreción por influencia del inglés), en el que el material “robado” a la secundaria cae en espiral hacia la enana blanca. Este disco emite luz en un rango amplio de energía debido principalmente a fuerzas de fricción; de hecho, prácticamente toda la luz que se percibe de una variable cataclísmica es generada en el disco.



Modelo de una variable cataclísmica. Imagen construida con el programa BINSIM (Dr. Rob Hynes, Universidad de Southampton)"

Quizás, los ejemplos más conocidos de variables cataclísmicas son las “novas”. Desde la antigüedad se observan estas “estrellas nuevas”, que en realidad no son tales, sino variables cataclísmicas en las que el borde interno del disco choca con la superficie de la enana blanca, lo que produce reacciones termonucleares de fusión de hidrógeno similares a las que ocurren en el interior del Sol y del resto de estrellas, e incluso más energéticas. El brillo del sistema binario aumenta tanto que puede llegar a ser visible con el ojo a simple vista.

Las variables cataclísmicas son laboratorios excelentes para el estudio del acrecimiento de la materia, un fenómeno bastante común en el Universo (por ejemplo, se piensa que en el centro de cada galaxia existe un agujero negro súper-masivo rodeado por un disco de acrecimiento), ya que permiten observar cambios significativos casi “en directo”, extrapolables después a grandes estructuras cuyo tiempo de evolución es excesivo para la escala de vida del ser humano.

El proyecto Estrellas Binarias se dedica al estudio de sistemas binarios. Parte del grupo de investigación se centra en el estudio en particular de las variables cataclísmicas.

Actualmente, se están estudiando unas variables cataclísmicas de comportamiento peculiar llamadas “sistemas SW Sextantis”. Hasta este momento, el logro más significativo ha sido el descubrimiento de campos magnéticos intensos en las enanas blancas de estos sistemas, los cuales juegan un papel muy importante en la geometría del acrecimiento de materia, es decir, en la forma en la que el material llega desde la secundaria hasta la enana blanca.

Material elaborado por PABLO RODRÍGUEZ, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).

Restaurar una imagen

DESARROLLO DE SISTEMAS DE IMAGEN DE ALTA RESOLUCIÓN (P35/86)

Investigador Principal: J.J. Fuensalida

Investigadores: C. Hoegemann, S. Chueca, J.M. Rodríguez González, J.M. Rodríguez Ramos, A.M. Varela

Colaboradores del IAC: C. Muñoz Tuñón, M. Reyes, L. Jochum, A. Alonso

No todos los telescopios permiten ver los mismos objetos ni con idéntico detalle. Su capacidad de discriminación, llamada resolución, aumenta con el tamaño y calidad de los espejos. Asimismo, existe un elemento que influye negativamente en el buen funcionamiento del instrumento, se trata de la atmósfera terrestre. La misma atmósfera que protege al hombre de los rayos nocivos del Sol influye en la radiación procedente de objetos lejanos que la atraviesa, de tal modo que las imágenes obtenidas por el telescopio aparecen distorsionadas y emborronadas. El efecto es similar al que se aprecia al mirar justo por encima de una carretera asfaltada en un día caluroso.

Los telescopios espaciales al observar desde fuera de esta capa gaseosa no sufren el problema; la radiación que analizan no ha tenido que atravesar el envoltorio de la Tierra. ¿Por qué entonces no se utilizan habitualmente en detrimento de los terrestres? Por razones económicas: construir y mantener un telescopio espacial es mucho más costoso; y de tiempo, su gestación y puesta en activo es extremadamente larga, lo que comporta que puedan incluso quedar anticuados respecto a sus homólogos en Tierra. Esto último especialmente desde la introducción de la óptica adaptativa o restauración de imágenes distorsionadas: igual que en una pintura antigua se limpian las huellas de los años, en la imagen de un objeto estelar se busca eliminar las distorsiones introducidas bien sea por la atmósfera bien sea por los defectos inherentes al mismo instrumento de observación.

Para poder corregir la distorsión generada por la atmósfera es necesario medir previamente su magnitud. Un dispositivo llamado "sensor de frente de ondas" determina mide constantemente, en intervalos de unos 25 milisegundos, la influencia atmosférica. La elevada frecuencia de registro es necesaria puesto que la acción de la atmósfera es extremadamente variable tanto en posición como en el tiempo. La corrección de imágenes mediante espejos deformables también es continua.

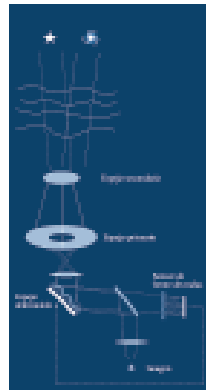
La presencia de una estrella puntual lo bastante brillante y cercana al objeto que se desea estudiar, sobre cuyo haz luminoso se detectan las perturbaciones presentes en la radiación, es imprescindible para aplicar

esta técnica. Como no es frecuente encontrar la estrella requerida en el lugar preciso, se está estudiando la posibilidad de generar artificialmente fuentes de luz mediante la emisión de un láser desde la Tierra con unos sistemas llamados Estrellas Láser de Guiado que se prevé sean incorporados en la mayoría de los futuros grandes telescopios.

En este sentido- aunque también se investiguen otros campos- se trabaja en el proyecto *Desarrollo de sistemas de imagen de alta resolución* del Instituto de Astrofísica de Canarias, que además cuenta con la facilidad de poder experimentar con la Estación Óptica Terrestre (OGS) en el Observatorio del Teide, en Tenerife. Asimismo, se investiga un tipo de sensor llamado "sensor de curvatura", que es uno de los más utilizados hoy en día. Específicamente, se busca determinar cómo influyen en las observaciones los defectos típicos de un telescopio con un gran espejo segmentado, como el Gran Telescopio CANARIAS (GTC), actualmente en fase de construcción en el Observatorio del Roque de los Muchachos, ubicado en la isla de la Palma.

En los grandes telescopios, el uso de espejos formados por segmentos es necesario porque un espejo de gran tamaño de una pieza presenta problemas de construcción –tecnológicamente hablando el máximo se establece en ocho metros- y transporte. Sin embargo, la alineación incorrecta de los segmentos influye negativamente en la precisión de las observaciones.

El objetivo es utilizar el sensor de curvatura para determinar los errores de alineación de los segmentos y cómo estos repercuten en las imágenes con vistas a una corrección posterior.



Esquema simplificado de un sistema de óptica adaptativa. Con el espejo deformable se realiza la corrección de la distorsión introducida por la atmósfera.

Material elaborado por JOSÉ M. RODRÍGUEZ, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).

El halo estelar

A. García Gil

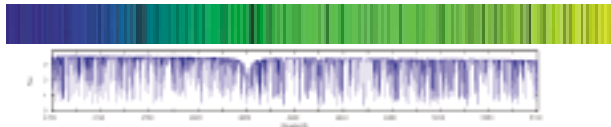
Colaboradores del IAC: G. Israelian

Una estrella es esquemáticamente un núcleo con una atmósfera rodeándolo a través de la cual la energía resultado de la fusión nuclear sale al exterior. Dicha atmósfera no consume ni genera energía, pero sí puede introducir variaciones en su distribución. El espectro estelar, que no es más que la distribución de la radiación, informa a los astrofísicos sobre las características de la estrella. Para ello, los modelos de atmósferas, como los que se desarrollan en el proyecto de *Modelización de Atmósferas Estelares* del Instituto de Astrofísica de Canarias, intentan reproducir el espectro mediante la descripción de los procesos físicos que tienen lugar en su interior.

Durante el trayecto que recorre desde el interior hasta salir de la estrella, la radiación interacciona con la materia que encuentra a su paso y parte de la energía es absorbida por los átomos situados en la atmósfera estelar, cuyos electrones saltan a un nivel energético superior. Esto se refleja en la aparición de líneas de absorción en el espectro, que se muestran como franjas más oscuras y son la huella de los átomos presentes: a partir de ellas se deduce la composición, temperatura y presión del gas de la atmósfera estelar; esto es posible porque la longitud de onda de estas franjas es característica de cada elemento químico. El espectro de la mayoría de las estrellas, exceptuando las más calientes, está lleno de líneas de absorción, lo que dificulta delimitar las líneas espectrales y, por tanto, conocer su composición. En este proyecto se trabaja principalmente con estrellas frías, que son estrellas con temperaturas similares o inferiores a la solar y que, pese a su nombre, emiten radiación. El mismo Sol que hace posible la vida en la Tierra es una estrella fría.

En el conocimiento de las estrellas, su masa, edad y lugar de formación son parámetros muy informativos. Por ejemplo, su origen influye directamente en su grado de metalicidad. Si están situadas en el disco de una galaxia, suelen contener más metales que si se formaron en el halo. Asimismo, sus particularidades determinan la facilidad del estudio: cuantos menos metales contienen, como sus líneas están más separadas, es más fácil determinar cuáles son.

Un modelo teórico para una estrella debe cumplir una serie de condiciones como que, puesto que la estrella no modifica su tamaño continuamente, el peso compense la presión hacia el exterior o que su energía total se mantenga



Ejemplo de un espectro típico de una estrella de tipo solar con líneas de absorción superpuestas sobre un continuo.
(Cortesía del Observatorio de Armagh)

estable de tal modo que la generada por la quema de combustible iguale a la utilizada para calentar el astro más la emitida. A partir de esto, se determinan los modelos de atmósferas para distintos tipos de estrellas, haciendo ciertas aproximaciones como en cualquier estudio del cielo, cuya realidad es todavía una gran desconocida.

El análisis de las atmósferas estelares también consta de una parte de observación. Una zona del espectro con gran número de líneas espectrales y, por tanto, que suministra mucha información es la ultravioleta. Hasta hace poco no se podía estudiar con detenimiento. La capa de ozono impide que la radiación ultravioleta llegue a la superficie de la Tierra, por suerte para el ser humano puesto que es muy nociva. Sin embargo, con el lanzamiento de telescopios al espacio como el Hubble, hoy ya se puede intentar discernir cómo son y cómo transportan la energía las atmósferas de las estrellas.

Y es que ajustando el modelo que reproduce el espectro observado de una estrella se determinan en gran detalle las propiedades físicas y composición química de una atmósfera estelar.

Estrellas de diferente edad y espectro presentan diferentes modelos de atmósfera cuyo estudio tiene múltiples aplicaciones, entre otras conocer la estructura y evolución de las estrellas, la evolución química de las galaxias (incluida la nuestra), la química del medio interestelar o las restricciones de los modelos de formación del Universo que pone en evidencia la observación.

Material elaborado por ALEJANDRO GARCÍA, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).

Alumbramiento de estrellas

GRUPO DE ESTUDIOS DE FORMACION ESTELAR "GEFE" (P1/92)

Investigador Principal: C. Muñoz Tuñón

Investigadores: J.C. Vega, M. Prieto, V. Melo Martín, E. Recillas, J.M. Rodríguez Espinosa, A.M. Varela, L.M. Cairós, N. Caon, D.R. Gonçalves, A. Graham, D. Cristobal Hornillos, O. Fuentes, J. Iglesias

Colaboradores del IAC: H. Deeg, A.M. Pérez García, J.A. Acosta Pulido

Una galaxia *starburst* -la traducción literal es estallido de estrellas- es aquella en la que en un período temporal muy breve ocurre una gran formación estelar, como si se tratara de un parto múltiple pero, además, con todos los recién nacidos emergiendo casi simultáneamente.

Qué provoca este violento incremento del número de astros, cómo, dónde, cuándo ocurre... son algunas de las incógnitas a las que intentan responder los astrofísicos que investigan este fenómeno dentro del proyecto *Grupo de Estudios de Formación Estelar "GEFE"*

del Instituto de Astrofísica de Canarias. Para ello, utilizan métodos de observación -toma de imágenes, espectroscopía (análisis de la luz), fotometría (medida de la luminosidad total de una galaxia) e interferometría (utilización de varios instrumentos simultáneamente)- en los Observatorios del Roque de los Muchachos (ORM) y del Teide (OT); y cálculos teóricos -analizando los diferentes tipos de galaxias donde se podría producir con técnicas variadas, principalmente simulaciones sobre sus características, tasa de formación estelar, temperatura, etc.

Para que se desencadene una generación estelar, es imprescindible la presencia de una elevada densidad de gas en la zona, habitualmente el núcleo, aunque puede ser cualquier lugar de una galaxia con las condiciones necesarias. Durante el proceso se consume este gas, que es junto con el polvo interestelar el material que al colapsar da lugar a una estrella. Cuando el gas se agota, el *starburst* cesa, aunque pueda continuar la formación de estrellas a un ritmo inferior.

Para explicar el brote continuo de estrellas de las galaxias *starburst* se piensa que debe existir un suministro constante de gas a esa parte activa de la galaxia. El proceso podría variar según dónde tiene lugar el brote y bajo

qué circunstancias. Las *starbursts* se han observado en núcleos de galaxias, pero también en regiones HII (en las que el hidrógeno está ionizado), en galaxias irregulares y enanas, así como en galaxias gigantes espirales. Por ejemplo, en una galaxia espiral barrada como podría ser nuestra Vía Láctea (aunque todavía no se ha establecido definitivamente la presencia de la barra), la barra intervendría dejando caer material hacia su centro.

Desde la Tierra, estas regiones se perciben como grandes fuentes de luz debido a que en ellas se genera mucha energía, de hecho son una de las fuentes más luminosas del

Universo. Constan de miles de millones de estrellas formándose al mismo tiempo, algunas con una masa ocho veces mayor que la del Sol. Esta formación tan intensa de estrellas puede modificar la forma de la galaxia. Como una estrella vive menos cuanto más masa posee, las estrellas masivas mueren jóvenes tras sufrir una gran explosión que, además de liberar la energía responsable de su luminosidad, también expulsa material de la estrella formándose una burbuja en expansión. Si se une a las burbujas de miles de estrellas situadas cerca, se forma una super-burbuja, que puede romperse liberando material de su interior, un probable punto de partida para la

aparición de nuevas estrellas. Este fenómeno recibe el nombre de super-vientos.

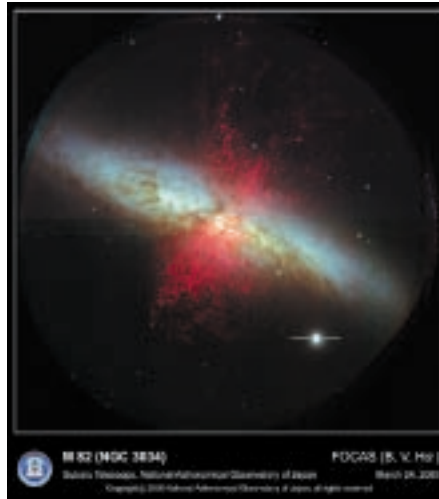


Imagen de M82 tomada con el telescopio Subaru (8m). En la imagen se ha superpuesto la imagen en la banda óptica de la galaxia; se aprecia claramente su forma de cigarro (a esta galaxia se le conoce como "cigar galaxy"). Podemos apreciar los conos de material ionizado perpendicularmente a la galaxia que canalizan el material caliente procedente del *starburst* nuclear.

Material elaborado por VERÓNICA MELO, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).

Centro Común de Astrofísica de La Palma



Vista del edificio del albergue juvenil de Breña Baja, que será parte de la futura sede del CALP. Foto: Juan Carlos Pérez Arencibia (IAC).

La evolución de la operación del Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM) y la llegada del Gran Telescopio CANARIAS (GTC) son más razones para disponer en la Isla de La Palma, en un lugar bien comunicado y de fácil acceso, de una sede complementaria del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). La decisión de crear el Centro Común de Astrofísica de La Palma se produce en un momento muy oportuno, en que todas las insti-

tuciones usuarias del Observatorio del Roque de los Muchachos están interesadas en un espacio común donde puedan instalar su infraestructura actual y dar servicio a sus instalaciones telescópicas, enriqueciendo la atmósfera de cooperación que es el fundamento del *European Northern Observatory* (ENO). Además permitirá aumentar la presencia del IAC en La Palma, impulsar la tecnología y la difusión de la ciencia en la isla y, en definitiva, potenciar el acercamiento del Observatorio a la sociedad palmera.

El centro será construido en el municipio de Breña Baja (La Palma), en terrenos situados entre el barranco de "Amangavinos" y la "Cuesta de San José", que han sido cedidos por el Ayuntamiento de Breña Baja y el Cabildo de La Palma, aprovechando el edificio nunca terminado del Albergue Juvenil. Entre sus instalaciones contará con una zona de despachos y oficinas para los astrónomos, una biblioteca, una sala de reuniones y una sala de conferencias, además de almacenes. Los talleres y laboratorios permitirán el mantenimiento y desarrollo de instrumentación científica.

Acuerdos

ACUERDO PARA LA CREACIÓN DEL GDRE

El IAC ha firmado con el *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS), la Universidad de Cambridge, la Universidad de Leiden y la Sociedad Max-Planck para el Fomento de las Ciencias, un acuerdo de colaboración para la creación del GDRE (Grupo Europeo de Investigación), con el fin de promover la colaboración en investigación en todas aquellas áreas que sean de interés para las cinco instituciones miembros del grupo.

ACUERDO CON LA UNIVERSIDAD DE LUND

Acuerdo de cooperación con la Universidad de Lund (Suecia) para el diseño de un super gran telescopio de 50m, denominado "Euro-50". El Departamento de Física y el Instituto de Investigación Larmor de la Universidad Nacional de Irlanda en Galway y el Departamento de Astronomía de la Universidad de Turku (Finlandia) se han sumado a esta colaboración formando "Euro-50 Board". Estas instituciones han decidido combinar sus experiencias y esfuerzos para diseñar y construir un telescopio óptico e infrarrojo de 50m que podría estar operativo en 2011, si se consiguieran los apoyos necesarios.

PARTICIPACIÓN EN EL CONSORCIO PACS

Acuerdo para participar en la construcción y operación del PACS

(*Photodetector Array Camera and Spectrometer*), instrumento que formará parte del *Herschel Space Observatory* (HSO) de la Agencia Europea del Espacio. El IAC se suma así al grupo de 14 instituciones de 6 países europeos que ya forman parte del Consorcio PACS.

ACUERDO CON LA USTAN

Acuerdo con la Universidad de St. Andrews, Reino Unido (USTAN) para entrar a formar parte de la red de formación de investigadores denominada "*Plasma Astrophysics: Theory, Observations and Numerics of Heating Flares and Winds*", en el marco del programa de formación "*Improving the Human Research Potential and the Socio-Economic Knowledge Base*".

Reunión del Consejo Rector

El Consejo Rector del IAC se reunió el 31 de julio de 2001, en la sede central de este centro, en La Laguna. Tras la exposición del Director del IAC, Francisco Sánchez, sobre la situación general del Instituto y el desarrollo de proyectos y actuaciones, se abordaron en la reunión asuntos económicos como la liquidación del presupuesto del año 2000, el anteproyecto de presupuesto para el año 2002 o el proyecto de sede del IAC en la isla de La Palma. Aunque "se reconoce la necesidad del gasto", que figura en el anteproyecto de presupuesto para el 2002, presentado por la Dirección del IAC, "no se puede hacer frente al mismo" por las restricciones del Gobierno de Canarias, aprobándose un presupuesto inferior al del año anterior en un 0,2%. Para subsanar de una vez por todas los problemas presupuestarios de este Consorcio Público, el Estado y la Comunidad Autónoma de Canarias se han comprometido a establecer en breve un nuevo pacto consorcial. Al finalizar la reunión del Consejo Rector del IAC, tuvo lugar la firma de los Acuerdos con las instituciones mexicanas que van a participar en el Gran Telescopio CANARIAS (GTC). (ver Suplemento especial GTC, N. 1-2201, págs. 8-9).

Reunión del CCI

El Comité Científico Internacional (CCI) de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) celebró su 46ª reunión ordinaria el pasado 26 de octubre, en el Parador Nacional de Santa Cruz de La Palma. La anterior reunión tuvo lugar en el mes de junio en la Universidad de Bolonia (Italia). En esta reunión se trataron, entre otros temas, la adhesión de nuevos miembros, los proyectos existentes para la instalación de nuevos telescopios -entre ellos el Gran Telescopio CANARIAS (GTC)-, el estado actual del Centro Común de Astrofísica de La Palma (CCALP), así como las propuestas para el 5% del Tiempo Internacional disponible en el 2002 para proyectos de colaboración internacional y proyectos comunitarios en los Observatorios. Las propuestas aprobadas fueron "Multi-colour Taxonomy of Centaur and Trans-Neptunian Objects", de Doressoundiran et al., y "Omega and Delta through Supernovae, and the Physics of Supernova Explosions", de Ruiz Lapuente et al.

A través del CCI, del que forman parte representantes de todas las instituciones con intereses e instalaciones en los Observatorios del IAC, se garantiza la participación de cada uno de los países participantes en la adopción de decisiones concernientes a los Observatorios.

Un tema especial en esta reunión fue la discusión del acuerdo para la formalización de una red con la denominación EUROPEAN NORTHERN OBSERVATORY (ENO), cuyo objetivo principal será la provisión de servicios esenciales a la comunidad científica, y en especial a la europea, en relación con las observaciones astronómicas que se lleven a cabo desde el hemisferio norte. Este acuerdo surge como reconocimiento de que las Islas Canarias constituyen el principal emplazamiento en Europa para la investigación astronómica basada en tierra en este hemisferio, y de que las instituciones científicas de numerosos países han estado colaborando en los observatorios internacionales del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) desde 1979, en el marco de los Acuerdos de Cooperación en Materia de Astrofísica. Los miembros del CCI están convencidos de que ha llegado

Miembros del Consejo Rector que asistieron a esta reunión:

- Román Rodríguez, Presidente del Gobierno de Canarias y miembro del Consejo Rector del IAC.
- Ramon Marimon, Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica
- Dolores de la Fuente, Subsecretaria de la Presidencia
- José Gómez Soliño, Rector de la Universidad de La Laguna
- Francisco Sánchez, Director del Instituto de Astrofísica de Canarias
- Rafael Arnay, Administrador de los Servicios Generales del IAC y Secretario de Actas



el momento de reforzar dicha cooperación abriendo caminos para la integración de sus iniciativas, sin que ello suponga un conflicto con las competencias del Comité Científico Internacional y demás regulaciones de los mencionados acuerdos inter-nacionales.

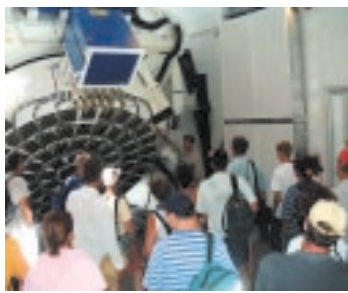
El objetivo fundamental del ENO será promover todas aquellas acciones, proyectos y otras iniciativas con vistas al establecimiento de facilidades comunes, a la construcción de instrumentación conjunta, a la formación de científicos y tecnólogos y cuantas otras líneas de acción que se consideren necesarias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

Homenaje



El pasado 20 de octubre, en los actos de homenaje al Dr. PAUL MURDIN, Director de Astronomía del PPARC (*Particle Physics and Astronomy Research Council*), con motivo de su jubilación, el Director del IAC, Francisco Sánchez, glosó la importante actividad del homenajeado en relación con los Observatorios canarios y le hizo entrega de una escultura alegórica, diseñada por Gotzon Cañada. Paul Murdin, en cuyo honor se organizó el workshop "Science from La Palma-Past, Present and Future", ha estado muy vinculado a los Observatorios del IAC desde sus orígenes.

Visitas



En el segundo trimestre de este año, entre alumnos de diferentes centros de enseñanza, participantes en congresos, equipos de filmación y particulares, 1.905 personas visitaron el Observatorio del Teide, 1.004 el Observatorio del Roque de los Muchachos y 37 el Instituto de Astrofísica, en La Laguna.

PUERTAS ABIERTAS

Como cada verano, el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) celebró sus Jornadas de Puertas Abiertas. El 15 de julio y el 9 de septiembre visitaron el Observatorio un total de 5.048 personas. Para organizarlas, el Instituto de Astrofísica de Canarias contó con la colaboración de astrónomos de las distintas Instituciones Usuarias del Observatorio, personal propio de apoyo (administrativo, sanitario y de mantenimiento) y de diversas entidades, como la agrupación de astrónomos aficionados Isla de la Palma, AEA, Guardia Civil y Cruz Roja, que realizaron un gran esfuerzo para poder acercar el Observatorio al ciudadano.

Durante las jornadas se visitaron seis instalaciones distintas: el telescopio «William Herschel», el telescopio «Isaac Newton», el telescopio Nacional Galileo, el telescopio Nórdico Óptico, el experimento HEGRA y el telescopio «Mercator». Las visitas se realizaron en tres idiomas: español, inglés y alemán.

Premios

PREMIOS PARA JÓVENES CIENTÍFICOS

La XII edición de los premios para jóvenes científicos convocados por la Comisión Europea (*EU Contest for Young Scientists*) como parte de su programa de potencial humano (*Improving Human Potential Programme*), celebrada en Amsterdam en septiembre de 2000, recayó sobre tres estudiantes: Tanja Annette Brown (EEUU-Noruega), Florent Durrey (Francia) y Jakub Onufry Wojtaszczyk (Polonia). Estos estudiantes recibieron el premio especial del jurado para participar en proyectos organizados por el ENO (*European Northern Observatory*), por lo que disfrutaron de dos semanas de estancia en el IAC a lo largo del mes de agosto.

PREMIO "CANARIAS INNOVA"

El programa de radio de promoción y divulgación científica "Canarias Innova", realizado por el IAC en colaboración con Radio Nacional de España en Canarias (Radio 1), ha recibido un Premio en la Convocatoria Premios de Periodismo "Salud y Sociedad" II Edición, convocada por la Fundación Canarias de Salud y Sanidad del Cabildo Insular de Tenerife. El programa de radio del pasado 29 de julio, titulado «Salud, Ciencia y Sociedad», ha recibido un Accésit en la mencionada convocatoria. El programa tuvo como invitados al Dr. Amós García Rojas, epidemiólogo y Jefe de la sección de Promoción de la Salud de la Dirección General de Salud Pública, y al Dr. Emilio Sanz, profesor titular del Departamento de Farmacología y Medicina Física de la Universidad de La Laguna. También, en una de sus secciones, se mantuvo durante el programa una pequeña entrevista con el Dr. Ramón García López, quien nos habló sobre las salidas profesionales

para astrofísicos. El programa está accesible en la web de CANARIAS INNOVA: <http://www.otri.iac.es/cinnova/>

PREMIO "VÍDEO CIENTÍFICO"

La Universidad de Zaragoza y la CAI (Obra Social) han otorgado el segundo premio de la X Bienal Internacional de Cine y Vídeo Científico en español, al vídeo titulado «Agujeros Negros: Magia en el Universo», de 30 minutos de duración, realizado por la productora "Creativos Multimedia", en colaboración con el IAC (el guión del vídeo fue elaborado por Carmen del Puerto, Alejandro Oscoz y Clemente González). La entrega del premio tuvo lugar el 20 de diciembre, previa muestra del vídeo el día 18.

PREMIO DE LA ASOCIACIÓN DE LA PRENSA DE MURCIA a Rafael Rebolo López, investigador del IAC y Profesor de Investigación del CSIC, por su labor científica y de divulgación.

CONFERENCIAS

INÉS RODRÍGUEZ HIDALGO:

- «Y eso de la Ciencia, ¿qué es?» (31/10). Orfeón La Paz de La Laguna. Ciclo de conferencias «Ciencia y pseudociencia en el siglo XXI». Ateneo y el Orfeón La Paz de La Laguna.
- «¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?» (21/11). Aula Magna de la Facultad de Física de la Universidad de La Laguna. Coloquios Laguneros de Física. Facultad de Física de la Universidad de La Laguna para alumnos y profesores.
- «Una estrella de película» (14/12). IES San Nicolás, El Sauzal.
- Sección «Un tiempo para el espacio». Enero- junio. Programa «Canarias Innova», de RNE, Radio 1.

JESÚS BURGOS:

- «Innovación Tecnológica. Recursos tecnológicos, fuentes de información y estrategias» (4-5/12). Curso «Innovación, Prospectiva y Creatividad en la empresa y las organizaciones». Escuela de Magisterio de la ULL y CIATEC.
- «Innovación Tecnológica. Gestión de proyectos» (11/12). Curso «Innovación, Prospectiva y Creatividad en la empresa y las organizaciones». Escuela de Magisterio de la Universidad de La Laguna y CIATEC.

JOSE A. ACOSTA PULIDO:

- «Telescopios fuera de la atmósfera terrestre» (7/11). Casa de Colón de Las Palmas de Gran Canaria. VI Semana Astronómica de Gran Canaria.

ANTONIA M. VARELA:

- «Estudio de la Calidad del Cielo de Canarias» (22/11). Facultad de Física de la ULL.

- «Astronomía en Canarias». Curso dentro del Programa para Mayores de 55 años de la Universidad de La Laguna.

FRANCISCO SÁNCHEZ:

- «Ciencia e Internet», octubre. (19/10) I Jornadas de Ciencia, Periodismo e Internet. (videoconferencia)

- «Catástrofes cósmicas» (07/01). Inauguración de los VI Cursos Universitarios Lanzarote 2001.

- «Astronomía en el siglo XXI» (11/01). Trigésimo aniversario del INAOE. México.

LUIS MARTÍNEZ:

- «Internet: un cambio en la manera de comunicar la ciencia» (19/10). I Jornadas de Ciencia, Periodismo e Internet. (videoconferencia)

CARMEN DEL PUERTO:

- «Difusión de información del IAC en la red: La lista "peri@astros"» (19/10). I Jornadas de Ciencia, Periodismo e Internet. (videoconferencia)

IGNACIO GARCÍA DE LA ROSA:

- «La frontera del Universo» (17/11). Curso «La Física hoy: Física Cuántica, Relatividad y algunas de sus aplicaciones». CosmoCaixa, Madrid.

“Conexiones cósmicas”

Gary Steigman

Fecha: 20/11/01

Lugar: Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife. Conferencia con motivo de la XIII Canary Islands Winter School of Astrophysics.

El Universo se expande y podemos observar en él la radiación residual de la explosión que le dio origen, la denominada Radiación del Fondo de Microondas. Hoy se sabe que el Universo temprano consistió en un plasma denso y muy caliente cuya radiación se fue enfriando, dejando un Universo transparente con pequeñas perturbaciones que fueron creciendo bajo el efecto de la gravedad y que llevaron a la formación de la estructura que observamos en el Universo actual. Midiendo la velocidad de expansión del Universo y utilizando los datos que proporcionan las supernovas de tipo Ia, los astrónomos han llegado a la conclusión de que el Universo se está expandiendo a un ritmo constante. En su conferencia, Steigman expuso por qué este hecho puede considerarse una sorpresa para la cosmología y cómo los cosmólogos tienen que vivir con esa denominada “constante cosmológica”.



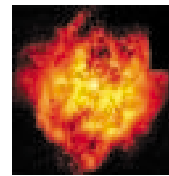
“Catástrofes cósmicas”

Francisco Sánchez Martínez

Fecha: Julio 2001

Lugar: Lanzarote. Inauguración de los VI Cursos Universitarios Lanzarote 2001.

El Universo es todo lo contrario a la imagen idílica que se ha mantenido hasta hace poco de un todo infinito apacible, sereno e inmutable. Encontramos fenómenos violentísimos por doquier, los cuales constituyen hitos constructivos del misterioso impulso evolutivo que impregna todo lo que sucede en nuestro Universo. Con perspectiva humana, lo que observamos parece un derroche gigantesco de energía y catástrofes inmensas.



M1 67. (HST).

“Comunicación Social de la Ciencia”

Participación del IAC en el “II Congreso de Comunicación Social de la Ciencia”, celebrado en Valencia, del 28 al 30 de noviembre.

CHARLAS:

- “Un tiempo para el espacio: cinco minutos semanales de Astronomía”. Inés Rodríguez Hidalgo.
- “Marketing de planetas: descubrimientos astronómicos en los medios de comunicación”. Carmen del Puerto Varela.
- “Internet: nuevos horizontes para la divulgación de la ciencia desde los centros de investigación”. Luis Antonio Martínez Sáez.
- “Experiencias educativas en la web”. Miquel Serra-Ricart, Luis Bellot, David Martínez, Angel Gómez Roldán.
- “Un Universo de cine”. Noemí Pinilla Alonso.
- “Atención a los medios audiovisuales en instalaciones científicas: el caso de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias”. Begoña López Betancor.

POSTERS:

- “Proyecto Cosmoeduca: del cielo a las escuelas”. María Concepción Anguita.
- “Canarias innova. Un programa de radio sobre Ciencia y Tecnología en RNE”. Juan José Martín Suárez.
- “Startec: la unión hace la fuerza”. Luis Cuesta Crespo.
- “Un camino abierto en la divulgación: CAOS”. Annia Domènech

Galileo Galilei



Hoy tengo el inmenso placer y el honor de entrevistar al matemático, astrónomo y físico italiano Galileo Galilei. En esta transcripción escrita me he permitido conservar algunas expresiones italianas originales del Profesor... estoy segura de que no tendrán dificultad con ellas.



Urania, la musa de la Astronomía

(Simon Vouet. *Las Musas Urania y Calíope*. National Gallery of Art)

URANIA: Buenos días, Profesor Galilei, es un verdadero privilegio poder conversar con usted. Por favor, ¿podría hablarnos un poco de su infancia y juventud?

GALILEO: Buon giorno, Urania. Sono nato a Pisa nel 1564. Mio padre, Vincenzo Galilei, era músico e tenía una gran aptitud para las Matemáticas, ma debía vivir de un comercio de ropa blanca. Mia madre era molto colérica e sarcástica, come io lo sono (e, por cierto, questo me causó molti problemi...) La mia prima educación fue in Vallombrosa, vicino a Firenze, e comencé a estudiar Medicina a l'Università de Pisa alle diciassette anni.

U: ¡Muy bien ese español, Profesor! Se cuenta que durante su primer año en la Universidad, un día vio oscilar una lámpara colgando de una cuerda en la Catedral de Pisa y... ¿qué pasó?

G: Questo è vero. Midiendo il tempo con le mie pulsazioni, comprobé que la duración de las oscilaciones non era minore cuando decrecía l'arco de la lámpara. E questo è el principio del pendulum, aplicado piú tardi agli orologi.

U: ¡Ah, fantástico, y con aplicación a los relojes, algo realmente útil! ¿Y cómo se despertó su interés por las Matemáticas y la Física?

G: Veramente fue per casualidad: io escuché una lección de Geometría e comencé a estudiar Matemáticas con Ostilio Ricci. Ma solo quattro anni piú tardi dejé l'Università por falta de fondos, e retorné a Firenze, per dar clase all'Accademia.

U: Y por aquellos años, ¿también estudiaba usted por su cuenta?

G: Sí, io ho letto Arquímedes, publicqué un ensayo sobre il balance idrostatico, que fue molto conocido in tutta Italia, y luego, un tratado sobre centros di gravità de los sólidos. Fui nombrado profesor de Matemáticas a l'Università de Pisa... ma con povero sueldo. Estudié también la teoría del movimiento, perchè non era d'accordo con la idea de Aristóteles que corpi con diferente peso caen a diferente velocità. Se dice incluso que io invité ai sapienti professori a la torre de Pisa per comprobar questa affermación... ma è sólo una leggenda.

U: Y luego estuvo en Padua, ¿no es así?

G: Vero, como catedrático de Matemáticas per diciotto anni. En aquella época, hice molti experimenti con corpi su piani inclinati, e con proyectiles. Ora sono considerato il creatore de la dinámica, la ciencia dei corpi in movimento. E después de Padova, fui nombrado Primo Matemático e Filósofo del Gran Duque della Toscana.

U: ¿Y cómo fue su primer contacto con la Astronomía?

G: ¡Ah, qué bello! Io estaba a Venice nel mille seicento nove, e tuve noticia de l'invención del telescopio a Holanda. Io fabriqué uno per me, con tre aumenti, e dopo, uno con trentadue. Così, vi la superficie irregolare della Luna, e descubrí satélites de Júpiter, e las fases de Venus, e vi Saturno, e le macchie solari, e que la Vía Láctea è formada di stelle... Io continué

osservando las maravillas dell'Universo fino a quando quedé ciego, con settanta tre anni.

U: ¿Puede comentarnos brevemente su idea del Cosmos?

G: Io insegnaba l'Universo geocentrico di Aristóteles e Ptolomeo, ma era convinto que Copérnico tenía razón, que la Tierra giraba intorno a se stessa ed attorno al Sole; e comprobé que questo era correcto con mis osservaciones. Pensaba que per explicar un fenómeno della Natura debía construir una teoría matemática e validar la ley trovata per il *cimento*, voglio dire, la prueba, l'experimentación.

U: Una idea realmente revolucionaria para su época... Cambiando de tema: nos consta que usted era un hombre religioso, convencido del valor de revelación de la Naturaleza según la idea de la creación, pero sabemos también que tuvo serios problemas con la Iglesia de Roma, ¿no?

G: Certamente. Se dice que io escribía molto chiaramente e bene, e como lo hacía in toscano, il mio penso fue molto popular. Además, ricorda que io era molto sarcástico... así que los profesores "aristotélicos" e los Dominicos se unieron contra me, dicendo que había contradicción entre las Escrituras e la teoría de Copérnico. Il suo libro fue proibito e ritirato, e io fui informado de que non podía defender la sua doctrina, ma solamente discutirla como una suposición matemática.

U: No obstante, en 1632 publicó, con el "imprimatur" completo, su libro "*Diálogo sobre los dos sistemas máximos del mundo, ptolemaico y copernicano*", que fue muy elogiado y tuvo gran éxito...

G: Sí, porque obtuve permesso per escribir sobre questo tema. Pero un anno piú tardi (io estaba enfermo, tenía hernia e problemi de cuore) fui citado a Roma dalle autorità eclesiástica e, dopo cuatro meses de interrogatorios e prisión, forzado a abjurar de mis ideas. Fui confinado nella mia casa di Arcetri, per los otto últimos anni della mia vita.

URANIA ENTREVISTA A...

U: ¿Pero es cierto que, de rodillas, mientras decía que la Tierra no giraba alrededor del Sol, susurró “E pur si muove”?

G: ¡No, no, no, no, è falso, un'altra leggenda! questa frase fue mencionada per la prima volta un secolo dopo la mia morte.

U: Profesor, hoy consideramos que la mayor aportación de su vida y su trabajo fue establecer los fundamentos del *método científico*, un nuevo modo de “preguntar a la Naturaleza”. Para terminar, ¿podría resumirnoslo brevemente?

G: Sí, voglio citare un párrafo del mio libro “*Il saggiatore*”, que significa il ensayador, il experimentador. Dice così:

“La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico, l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impára a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intendere umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.”

U: Realmente, es difícil añadir nada a estas sabias palabras. Estaríamos hablando horas con usted, pero el texto de esta entrevista ocuparía

demasiado; así que, Profesor Galilei, muchísimas gracias por estar con nosotros, y hasta siempre.

G: ¿Come si dice?, ah sí, de nada, arrivederci.

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

IN MEMORIAM

Fernando Cabrera Guerra (1969-2001)



Fernando Cabrera Guerra, investigador post-doctoral del Instituto de Astrofísica de Canarias, falleció en La Laguna, Tenerife, el 30 de julio de 2001, a la edad de 32 años. Natural de La Palma, su afición por la Física y Astrofísica le llevaron a cursar estudios de la licenciatura de Física, primero en el Centro Asociado de la Universidad Nacional de Educación a Distancia en la isla de La Palma, donde cursó los primeros tres años de la licenciatura, y posteriormente en la Universidad de La Laguna, en Tenerife, donde estudió la especialidad de Astrofísica. Por sus excelentes resultados académicos le fue concedido el Premio Extraordinario de Licenciatura.

Tras acabar la carrera fue seleccionado para realizar una tesis doctoral en el IAC como Astrofísico Residente. Su trabajo doctoral sobre “Observaciones de alta resolución de la radiogalaxia Cygnus A”, demostró una gran capacidad de análisis de datos astrofísicos de diversos telescopios, en tierra y espaciales, y su interpretación. Además, colaboró en varios proyectos internacionales en los que realizó aportaciones muy importantes, como los desarrollados por las colaboraciones *ROSAT International X-ray Survey* (RIXOS) y *European Large Area ISO Survey* (ELAIS). También participó en las actividades de dos redes de investigación europeas (ISO Survey y POE) y en numerosas observaciones en varios observatorios y en diversas reuniones científicas y conferencias internacionales, la última en la isla de La Palma poco antes de su fallecimiento, el congreso “The Central Kiloparsec of Starbursts and AGN: The La Palma Connection”, cuyo libro de actas está dedicado a su memoria.

Fernando Cabrera se encontraba en su tercer año como investigador post-doctoral del IAC, donde además de desarrollar sus proyectos de

investigación realizaba tareas de soporte de software astronómico. Era un trabajador infatigable, de un carácter excepcional y siempre de buen humor. El IAC era como su segunda familia, era de los últimos en irse a casa cada noche. Compartía sus conocimientos y también sus aficiones con todos con una gran generosidad. Le gustaba participar en discusiones sobre todo tipo de temas en la cafetería del IAC con sus compañeros y visitantes. Todos le queríamos y admirábamos y estábamos orgullosos de él, no sólo en el IAC y en la Universidad de La Laguna. A su fallecimiento nos llegaron numerosas muestras de condolencia de sus amigos y colaboradores en centros de investigación repartidos por el mundo.

Fernando constituye un ejemplo a seguir para todos los que trabajamos en Astrofísica y para aquellos que están empezando. En el IAC lamentamos su fallecimiento. Siempre le tendremos en el recuerdo.

ISMAEL PÉREZ FOURNON (IAC/ULL)

Director de tesis de
Fernando Cabrera Guerra.

Lo relativo de la Relatividad

Dar cuatro nociones sobre Relatividad es un asunto complejo. Por suerte, Evencio Mediavilla, investigador "relativo" del IAC, se prestó a explicar un poco de qué iba la historia y, según él, para todos los públicos. Juzguen por ustedes mismos...

Un principio de relatividad intenta establecer...

un marco único para las leyes de la física, que deben ser válidas para todos los observadores, independientemente de que se muevan uno respecto al otro. El término "relativo" se utiliza porque pretende que las medidas realizadas por un observador puedan ponerse en relación con las de otro.

Las leyes de la naturaleza...

no se modifican para cada observador. Al contrario, si utilizamos el principio de relatividad de la física adecuado, todos los observadores deben escribir las ecuaciones de la física de una única manera, las leyes de la naturaleza deben ser absolutas.

La relatividad de Galileo no sirve...

se necesita que las ecuaciones que describen la luz tengan la misma forma para dos observadores diferentes. Esto no sucede al utilizar el principio de relatividad de Galileo, que era el aceptado antes de Einstein y que, sin embargo, no podía aplicarse satisfactoriamente a la luz.

Einstein abandona...

la idea de un tiempo y un espacio absolutos y la cambia por la constancia de la velocidad de la luz en el vacío ($c=300.000$ km/s), igual para todos los observadores, definida como la máxima alcanzable en contra de lo aceptado en el marco newtoniano.

Basándose en la velocidad constante de la luz...

quería imponer la invariabilidad de la ecuación de ondas que representa la luz. Sin embargo, la teoría se puede enunciar con mayor generalidad diciendo que existe una velocidad máxima en el vacío ($c=300.000$ km/s) y que ninguna información puede transmitirse a mayor velocidad, aunque la interacción electromagnética (luz) o la gravitatoria la igualan. Desde un punto de vista formal, hay quien prefiere basar la relatividad en la medida del tamaño de los objetos, que varía según el estado de movimiento de los observadores. Este efecto se llama "contracción de FitzGerald-Lorentz".

Y se llaman Teoría de la Relatividad Especial o Restringida porque...

sólo es válida para observadores inerciales, que son los que se mueven con velocidad constante unos respecto a otros. Es decir, son observadores que no experimentan aceleraciones (no están sujetos a la acción de fuerzas).

Einstein introdujo la Teoría de la Relatividad General...

el motivo fue que la fuerza de la gravedad afecta a cualquiera en cualquier sitio e impide, por tanto, la existencia de observadores inerciales en el sentido de la Teoría de la Relatividad Especial. Para construir la Teoría de la Relatividad General, Einstein pensó en observadores localmente inerciales, es decir, en caída libre en cualquier punto del campo gravitatorio, por lo que la fuerza de la gravedad se equilibraría perfectamente con la aceleración de la caída del objeto, como ocurre en el típico ejemplo de un hombre dentro de un ascensor cayéndose.

Una teoría probada...

la dilatación del tiempo para partículas aceleradas es uno de los experimentos clásicos para probar la Teoría de la Relatividad Especial. Algunas partículas que se desintegrarían espontáneamente en cuestión de segundos recorren miles de años luz hasta llegar a la Tierra porque, como su velocidad es muy elevada, el tiempo transcurre para ellas muy lentamente y su viaje no dura ni un segundo. Esto se ve diariamente en los aceleradores de partículas, donde partículas que en reposo se desintegrarían rápidamente giran durante largo tiempo.

En cambio...

la comprobación experimental de la Teoría de la Relatividad General es mucho más difícil y es cierto que existen teorías alternativas a ella cuya validez todavía no ha sido descartada. Hay varios tests clásicos de la Teoría de la Relatividad General, pero el más famoso es quizás la medida durante un eclipse de Sol del desplazamiento de los rayos de luz que proceden de estrellas cercanas a él. Einstein postuló que el campo gravitatorio también afecta a la luz e hizo una predicción de la curvatura de los rayos que fue confirmada por su medición durante un eclipse, lo que dio gran popularidad al científico y a su teoría.

$E=mc^2$

La famosa ecuación representa...

la equivalencia entre masa y energía. En todo proceso en que un cuerpo absorbe o emite energía, por ejemplo en forma de luz, se produce una transformación: la masa del cuerpo aumenta o disminuye en un valor igual a la energía dividida por la velocidad de la luz al cuadrado. Esta transformación entre materia y energía es un resultado de la Teoría de la Relatividad Especial y una de sus manifestaciones más claras es la energía nuclear.

ANNIA DOMÈNECH (IAC)

AstroCultura

La Luna, el Niño, el Río y el Rioja



Juan Antonio
Belmonte
(IAC)



Valentín
Martínez Pillet
(IAC)

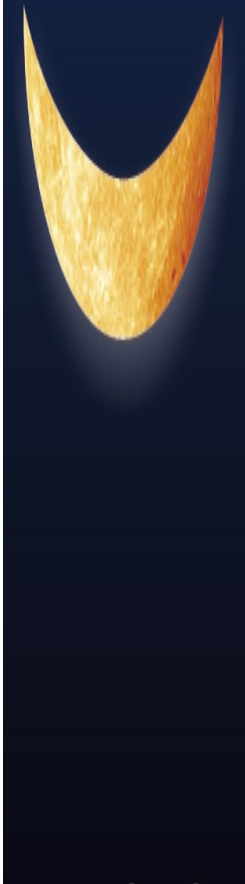


**“Luna derecha
agua no echa”**

Francisco Méndez
Frontera (El Hierro)
Agosto de 2000

Numerosas culturas a lo largo de la historia han usado la Luna como SEÑA para predecir el tiempo meteorológico. Esta tradición es antiquísima, especialmente en las riberas del Mediterráneo donde ya era mencionada por el poeta griego Hesiodo en el siglo VIII a.C. Por ejemplo, una creencia bastante común supone que la posición adoptada por los “cuernitos” de la luna durante la visión del primer creciente, sobre todo durante los meses otoñales e invernales, es un indicio claro de la “calidad” del mes correspondiente. Así, si los cuernos se sitúan abiertos hacia arriba, el mes será seco. Por el contrario, si los cuernos aparecen inclinados, es una señal evidente de un mes lluvioso (entiéndase lunación). En la Islas Canarias, esta tradición ha permanecido viva hasta bien entrado el siglo XX, como pudimos comprobar en numerosas entrevistas realizadas a agricultores y pastores ancianos de casi todas las islas.

Figura 1: La visión del primer creciente lunar (junto a Venus, sobre el pico del Teide en Tenerife), los "cuernitos" de la luna en la denominación popular, se ha usado tradicionalmente como seña meteorológica. Esta tradición ha pervivido en Canarias hasta finales del siglo XX. (Cortesía de Federico Fernández Porredón).



En el Hierro en particular, la tradición la habían mantenido unos «sabios», denominados «perlos», que desafortunadamente fallecieron en la última década del siglo XX.

En Fuerteventura, esta costumbre también era importante y la etnógrafa Alicia Ribera pudo recoger una tradición de finales del siglo XIX por la que se establecía una regla para conocer la calidad de los años (lluviosos o secos) por el «avero», posible interpretación local de la palabra «agüero», que consistía en una regla fija con un curioso periodo de 19 años.

Hasta ahora, no se había reconocido ningún tipo de justificación científica a este tipo de tradiciones que conectaban la Luna y la meteorología. Siempre se había pensado que era una componente más del imaginario popular. Sin embargo, tal como propusimos recientemente junto a Ana Ulla, de la Universidad de Vigo, y Peter Thejll, del Instituto Danés de Meteorología, sí podría existir una explicación científica al menos para parte de esta antigua tradición campesina.

La posición de los "cuernitos" de la Luna es altamente dependiente de la declinación de la Luna, que varía con el ciclo de regresión de la línea de los nodos, de 18,6 años. Cuando la Luna alcanza su declinación máxima, en los lunasticios mayores, toma un valor absoluto cercano hoy a los $28\frac{1}{2}^\circ$, mientras que en la declinación mínima (lunasticios menores), su valor es de $18\frac{1}{2}^\circ$. Por tanto, los valores extremos de la declinación de la Luna sufren una variación de 10° lo que a su vez significa que las posiciones de los picos de marea en el interior de un determinado mar u océano pueden variar hasta 10° en latitud a lo largo de un ciclo de 18,6 años o, redondeando, 19 años. Éste es además el número de años de un Ciclo Metónico en que las fases de la Luna se repiten con respecto al año trópico.

Así, si en un momento determinado el pico de marea se sitúa a la latitud de Canarias, 9,3 años más tarde, éste se situará a la latitud de Cabo Verde, 10° hacia el sur. En el Mar Caribe, lugar de origen de la importantísima Corriente del Golfo, que permite la existencia de un clima benigno en las latitudes de Escocia o Noruega, esta diferencia implica una variación entre la latitud de Nueva

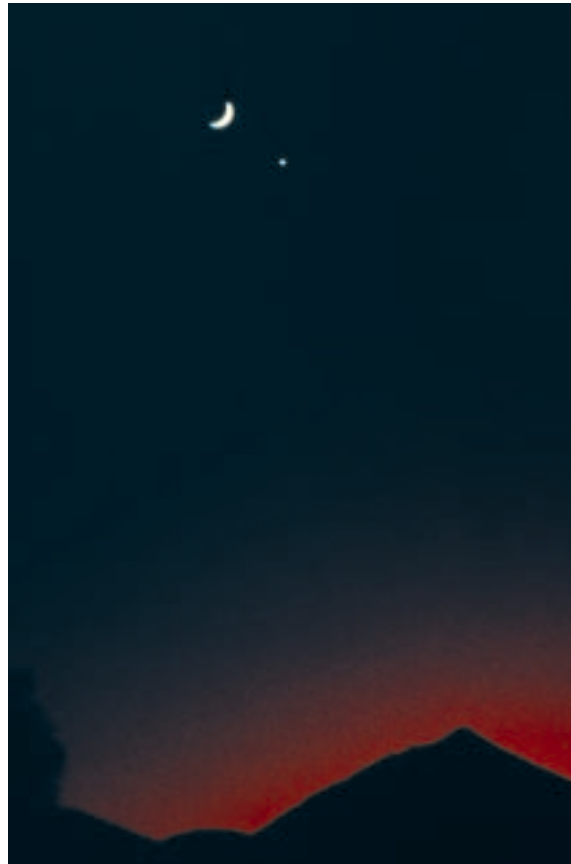


Figura 1.

Orleans, en la ribera norte de este mar, y la de Jamaica. Esta variación posiblemente altere el régimen de mareas locales, éstas a su vez el de las corrientes superficiales y, finalmente, el de las corrientes oceánicas que son las que afectan al clima.

Consecuentemente, es de esperar que el ciclo de regresión de la línea de los nodos de 18,6 años, y sus armónicos de 9,3 y 4,7 años, quede reflejado de alguna forma en diversas variables relacionadas directa o indirectamente con el clima y, presumiblemente, que afecte a fenómenos determinantes de la climatología mundial como El Niño (ENSO) o la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Algunos expertos del clima, como Randall Ceverny y John Shaffer, de la Universidad de Arizona, han comenzado a investigar esta posible relación y ya se ha puesto de manifiesto que ciertos efectos de marea que afectan a las corrientes oceánicas que se desplazan por los bordes de ciertas fallas oceánicas, como la de las Marianas, podrían estar fuertemente correlacionados con la fenomenología del Niño.

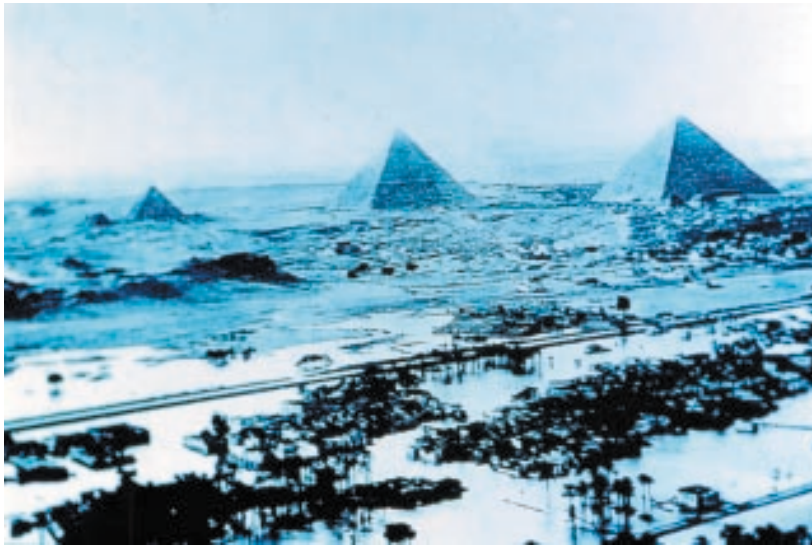


Figura 2.

Más evidente quizás es la relación, puesta de manifiesto por Currie, entre algunos fenómenos y un periodo cercano a 19 años que no puede sino asociarse con los movimientos de nuestro satélite, si bien previamente se había relacionado con el segundo armónico del ciclo solar de 11 años, ciclo este último que, por otra parte, también aparece en numerosos registros climáticos. El nivel alcanzado por las aguas del Río Nilo durante la crecida o el régimen de precipitaciones en los Estados Unidos (con dos picos en el espectro centrados en 11,1 y 18,8 años) muestran evidencias claras de esta relación entre las variables climáticas y el ciclo de regresión de la línea de los nodos. Nuestro análisis de los datos de temperatura en el entorno del Archipiélago Canario también muestran indicios de esta variabilidad.

La calidad de los vinos

Otro parámetro interesante y muy curioso que podemos estudiar es la calidad de los vinos de una determinada región que, por supuesto, se verá afectada por la de la cosecha de uvas y ésta, a su vez, por la "calidad" del año correspondiente. Pocas denominaciones de origen llevan un registro centenario de sus calidades

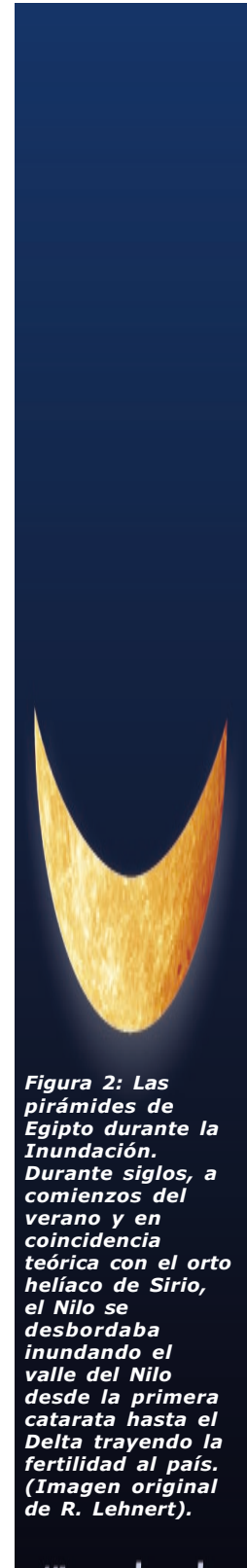


Figura 2: Las pirámides de Egipto durante la Inundación. Durante siglos, a comienzos del verano y en coincidencia teórica con el orto helíaco de Sirio, el Nilo se desbordaba inundando el valle del Nilo desde la primera catarata hasta el Delta trayendo la fertilidad al país. (Imagen original de R. Lehnert).

que nos permita hacer un análisis espectral con cierto grado de fiabilidad. Afortunadamente, el consejo regulador de los vinos de Rioja sí que posee datos de la calidad de sus vinos que se remontan a más de un siglo atrás (109 años). Curiosamente, el espectro resultante del análisis de los datos muestra una serie de picos con una periodicidad comprendida entre 3 y 7 años que ponen en relación directa la calidad de los Riojas con el fenómeno de El Niño que, como hemos visto, pudiera tener alguna influencia lunar.

Si procedemos a una limpieza del espectro, eliminando la contribución fundamental de El Niño, lo que nos queda es aparentemente ruido. Sin embargo, aun se detecta señal, aunque a un nivel marginal, con dos picos centrados en 18,6 y 9,3 años, que bien podrían estar asociados al ciclo lunar, mientras que no aparecen indicios de influencia solar (no hay pico ni en 11 ni en 22 años). Un dato curioso es que si eliminamos de nuestra serie de datos los últimos años (desde que se creó el consejo regulador de la denominación Rioja) la señal del ciclo lunar resulta aún más evidente.

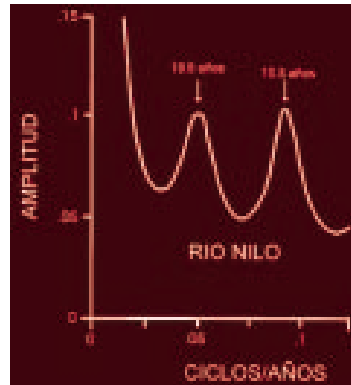


Figura 3.

Por tanto, hemos dado algunas pinceladas que parecen demostrar que al menos algunas tradiciones populares con respecto al clima podrían tener alguna base científica. La conexión entre la Luna y el Niño, o entre ambos y ciertas variables “climatológicas”, como las crecidas del Nilo o la calidad de los vinos de Rioja, no son -creemos- sino la punta de un iceberg que por fortuna parece que está empezando a emerger.

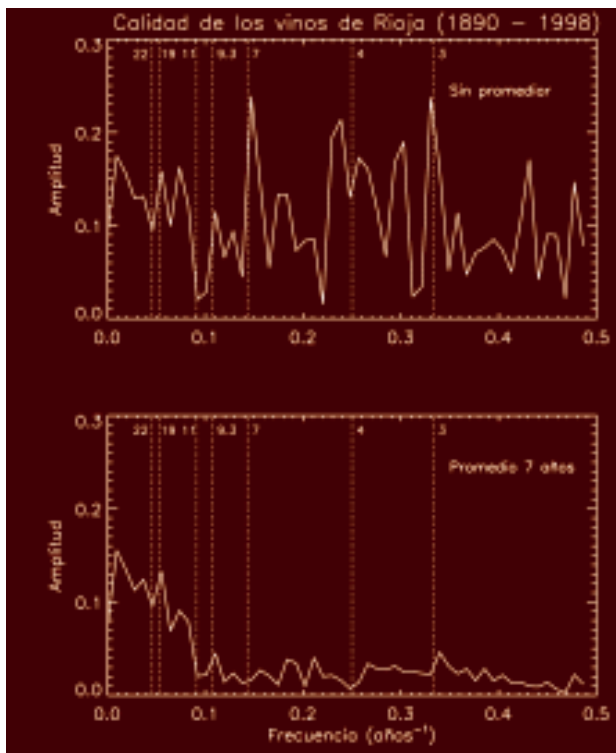


Figura 4.

Figura 3: Espectro de amplitudes de las fluctuaciones en el nivel de las aguas de las crecidas del Nilo en Egipto entre los años 1690 y 1962, hasta la construcción de la gran presa de Assuán. La señal está dominada por dos periodos de 11,8 y 19,8 años asociados casi con seguridad al ciclo solar y al ciclo de regresión de los nodos de la órbita de la Luna, respectivamente.

Figura 4: Espectro de 109 años de datos sobre la calidad de los vinos de Rioja. En el panel superior se muestran las periodicidades de entre 3 y 7 años asociadas con toda probabilidad al fenómeno de El Niño. Una vez abstraídos estos picos, el espectro muestra prácticamente ruido salvo un período marginal en 18,6 años (y su armónico en 9,3 años) que podría estar asociado al ciclo de regresión de los nodos de la luna. En este caso, no hay indicios de variabilidad asociada al ciclo solar de 11 años.

LA REALIDAD DE LA FICCIÓN



Héctor Castañeda
(IAC)

Panorámica del Universo

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.

En 1997 se estrenó la película *Contact*, basada en la novela homónima de Carl Sagan. La historia describe la recepción de un mensaje de radio procedente de una civilización extraterrestre. La secuencia inicial de la película utiliza las técnicas más modernas de la animación gráfica por ordenador y más de cien mil horas de tiempo de procesador para crear en poco más de tres minutos una panorámica muy realista del Universo que conocemos actualmente, desde la superficie de la Tierra hasta los grandes cúmulos de galaxias.

La secuencia comienza con la cámara dejando atrás la superficie de la Tierra y el Sol emergiendo sobre el horizonte. A nuestra izquierda atraviesa la pantalla un Marte construido a partir de imágenes astronómicas, donde incluso se puede ver sobre su superficie “la cara de Marte”, la formación rocosa que fue interpretada en algunos círculos imaginativos como la imagen de un rostro humano.

Poco después cruzamos el anillo de asteroides, los restos de la formación del Sistema Solar. Aunque en la realidad muchos son pequeños y débiles en brillo, separados a una distancia promedio de dos millones de kilómetros, en su representación con fines dramáticos se muestra un anillo denso. Un interesante toque de realismo se aprecia en ese momento cuando la luz del Sol se vuelve difusa por efecto del polvo que se encuentra en el anillo.

Nos acompaña en este comienzo el sonido de estaciones de radio y televisión. El retraso en la información por la velocidad limitada de las ondas electromagnéticas, se representan en la antigüedad creciente de los sonidos que escuchamos. Aunque la idea es brillante, se utiliza de forma no científica, dado que incluso dentro del Sistema Solar la luz sólo tarda unas seis horas en llegar a Plutón, y no los años que transcurren según los programas que se escuchan en la película.

Lo que parece ser un planeta es simplemente una de las lunas del gigante Júpiter, que hace su aparición mostrando su atmósfera turbulenta y gaseosa, con la rotación del enorme huracán que forma la Mancha Roja. Pero aún queda un gigante más, Saturno. Este último gigante del sistema solar se muestra con unos anillos de espesor notable, pero que en realidad son delgados. Aunque con un diámetro de 270.000 kilómetros, sólo tienen un espesor de un centenar y están formados por partículas muy pequeñas. Finalmente atravesamos el último elemento que forma nuestro sistema solar, la nube de Oort, la inmensa nube a una distancia de alrededor de un año luz del Sol, que es el depósito de los cometas que periódicamente se internan en el Sistema Solar.

Abandonando nuestro vecindario galáctico comenzamos a movernos más aceleradamente. Un grupo de estrellas atraviesan la pantalla, posiblemente

una de ellas es *Vega*, el origen del mensaje recibido en la película. Nos encontramos a unos 26 años luz de la Tierra. Pasamos por la *nebulosa del Águila*, donde los llamados “Dedos de Dios” nos muestran la más famosa foto del Telescopio Espacial Hubble, enormes “pilares” de gas ionizado donde se forman las estrellas más masivas.

La nebulosa se encuentra localizada en el plano de la Vía Láctea, de la que ahora nos alejamos, contemplando su estructura espiral. A comienzos del siglo pasado se creía que nuestra galaxia comprendía todo el universo conocido, pero ahora vemos en la pantalla que nuestra galaxia es sólo uno de los miles de millones de grupos estelares que forman el Universo. A su lado están dos galaxias satélites, las Nubes de Magallanes, muy cercanas a la nuestra, ¡al menos en la escala del universo! (200.000 años luz).

En pocos segundos atravesamos el interior de *Centaurus A*, una de las más famosas radiogalaxias, que emite no sólo en el visible sino también en radio. Ésta es una galaxia elíptica gigante, con su característico disco de polvo y gas rodeando la galaxia. Más y más rápidamente aparecen galaxias distantes, supercúmulos, galaxias interactuantes, hasta fundirse finalmente en el reflejo de un ojo, el de la niña y futura astrónoma Ellie Arroway. El ciclo se ha cerrado y hemos vuelto al comienzo de nuestro viaje.



¿Es esta imagen del Universo definitiva? No lo sabemos, pero seguramente los artistas de la animación gráfica de este nuevo siglo serán capaces de representar las ideas que desarrolle la astronomía del futuro.

PRÓXIMAMENTE...

IAU COLLOQUIUM No. 186: "COMETARY SCIENCE AFTER HALE-BOPP"

Puerto de La Cruz, Tenerife (España). 21-25 enero, 2002.

FIRST WORKSHOP ON "SCIENCE WITH GTC"

Granada (España). 6-8 febrero, 2002.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON "COMMUNICATING ASTRONOMY"

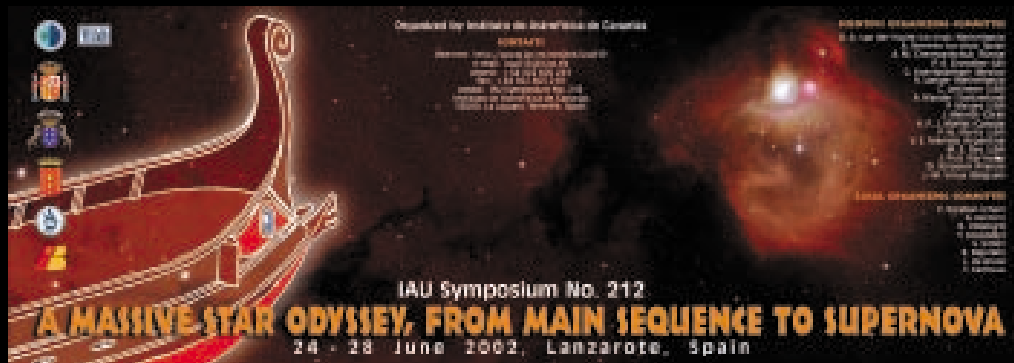
Museo de la Ciencia y del Cosmos, La Laguna, Tenerife (España). 25 febrero - 1 marzo, 2002.

IAU SYMPOSIUM No. 212: "A MASSIVE STAR ODYSSEY, FROM MAIN SEQUENCE TO SUPERNOVA"

Lanzarote (España). 24-28 junio, 2002.

THIRD INTERNATIONAL WORKSHOP ON "SOLAR POLARIZATION"

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



Diseño: Gabriel Pérez (SMM/IAC)



**INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
(La Laguna, TENERIFE)**

C/ Vía Láctea, s/n
E38200 - La Laguna (Tenerife)
Islas Canarias - España
Tel: 34 / 922 605 200
Fax: 34 / 922 605 210
E-mail: cpv@ll.iac.es
Web: <http://www.iac.es>

**Oficina de Transferencia de Resultados de
Investigación (OTRI)**

Tel: 34 / 922 605 186
Fax: 34 / 922 605 192
E-mail: otri@ll.iac.es
Web: <http://www.iac.es/otri>

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

Tel: 34 / 922 605 365
Fax: 34 / 922 605 210
E-mail: fdc@ll.iac.es
Web: <http://www.iac.es/proyect/otpc>

**OBSERVATORIO DEL TEIDE
(TENERIFE)**

Tel: 34 / 922 329 100
Fax: 34 / 922 329 117
E-mail: teide@ot.iac.es
Web: <http://www.iac.es/ot>

**OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS
(LA PALMA)**

Apartado de Correos 303
E38700 Santa Cruz de la Palma
Islas Canarias - España
Tel: 34 / 922 405 500
Fax: 34 / 922 405 501
E-mail: adminorm@orm.iac.es
Web: <http://www.iac.es/gabinete/orm/orm.htm>

