LAEFF Reporter

Décimo Aniversario del LAEFF

Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
Villafranca del Castillo

http://www.laeff.esa.es

Año VII, núm.29. Junio 2001

La red de telescopios robóticos del INTA

La expulsión de una burbuja por un estrella

Sol y estrellas en el LAEFF

Radioastronomía

Explosiones cósmicas de rayos gamma

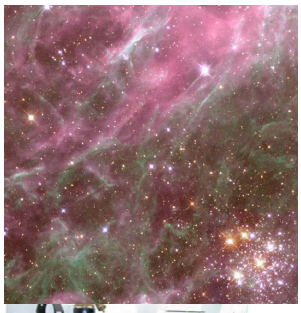
Centro de Operaciones Científicas de MINISAT 01

INTEGRAL: el gran observatorio

El Universo es como un imán

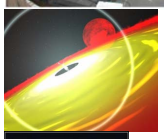
Archivos astronómicos

SUMARIO

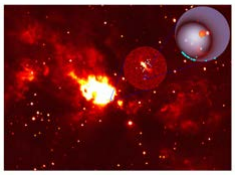


La fotografia de la portada muestra el cúmulo de estrellas masivas Hodge 301 en la Nebulosa de la Tarántula, situada en la Gran Nube de Magallanes. Muchas estrellas del cúmulo han explotado en forma de supernova lanzando al espacio material que se ve en forma de filamentos en toda la imagen.

Primera Plana 5
La red de telescopios robóticos del INTA.
David Galadí-Enríquez



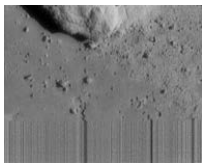
Décimo Aniversario del LAEFF 10
Resultados científicos del LAEFF.
INTEGRAL.
Astrofísica extragaláctica. 12
Archivos astronómicos en el LAEFF. 14
Sol y estrellas en el LAEFF: El Sol. 15
Estrellas aisladas. 16
Estrellas binarias. 16
Binarias de rayos X. 17
Supernovas. 18
Nebulosas planetarias. 19
Radioastronomía. 20
Explosiones cósmicas de rayos gamma. 23
EURD a bordo de MINISAT-01. 25
COC del MINISAT-01. 27
El Universo es como un imán. 30



Dossier 34
La expulsión de una burbuja esférica por una estrella joven.
José F. Gómez

Charlas 36

Astronoticias 39
-Estrellas de neutrones.
-Estrellas que comen planetas.
-El planeta X.
-Cuidado con los marcianos.



Director: Benjamín Montesinos
Redactora Jefe y Editora: Concha Prieto
Diseño: Jesús García y Concha Prieto
Distribución: Laboratorio

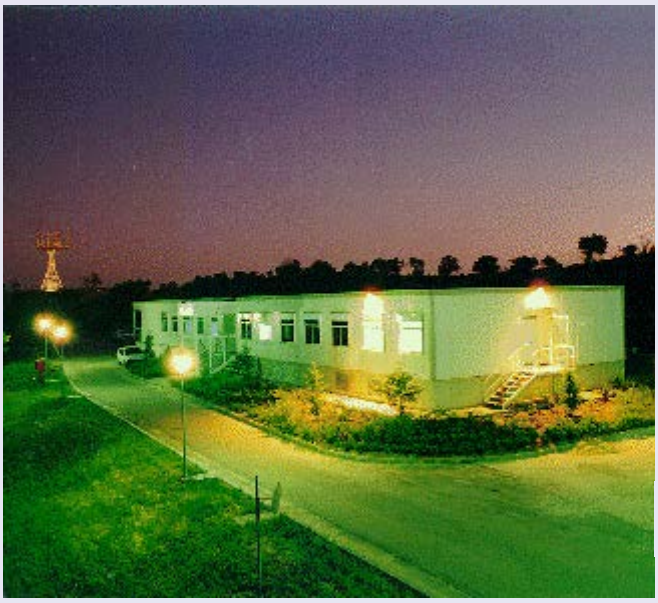
Depósito Legal: M-11899/95
ISSN: 1135-1802

Consejo de Redacción
Cristina García, José Francisco Gómez, Elena Jiménez, Miguel Mas, Bruno Merín, Benjamín Montesinos, Concha Prieto, Fernando Rodríguez.

El LAEFF es un laboratorio del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial en el que investigan científicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en virtud de un convenio de colaboración firmado entre ambas entidades.

10 años de Ciencia Espacial

Con este ejemplar del *LAEFF Reporter* que tenéis en vuestras manos queremos conmemorar el décimo aniversario del Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental. Han pasado muchas cosas desde aquel mes de mayo del año 1991 en que se inauguró formalmente nuestro pequeño edificio, ubicado en las instalaciones de la Estación de Seguimiento de Satélites que la Agencia Espacial Europea (ESA) tiene en Villafranca del Castillo, cerca de Madrid. En realidad, la historia había comenzado antes, con la constitución en 1989, a instancias del entonces director de INTA, Enrique Trillas, de un grupo de trabajo para estudiar la creación de un Centro de Investigaciones Espaciales, que hiciera un adecuado uso científico de las Estaciones Espaciales ubicadas en España y de la participación española en el Programa Científico de la ESA. J.M. Sánchez Ron describe todos estos hechos con detalle en su obra "INTA: 50 años de Ciencia y Técnica Aeroespacial". El Consejo Rector de INTA aprobó el 16 de mayo de 1990 la creación de dicho centro, pero aún debería pasar un año de negociaciones a diversas bandas hasta que en mayo de 1991 se inauguró el LAEFF. Los objetivos con los que nació eran, básicamente, la investigación en Astrofísica y Física Fundamental orientada a la utilización de recursos espaciales, por una parte, y por otra la participación en proyectos de desarrollo de instrumentación científica espacial, actuando como interfaz entre los grupos de ingeniería del INTA y la comunidad científica. Asimismo, y dada la relación del INTA con la NASA a través de la Estación de Robledo de Chavela, recayó en el LAEFF la responsabilidad del aprovechamiento científico de estas antenas para su uso como radiotelescopios.



Vista nocturna del LAEFF.

El LAEFF nació como una colaboración entre el INTA, la Agencia Espacial Europea y el CSIC. El INTA se encargaría de la infraestructura básica, de la dotación de investigadores, ya fuera procedentes de sus antiguos grupos científicos o por medio de nuevos contratos, y de la gestión administrativa. El CSIC proporcionó investigadores especializados en el campo espacial, en Radioastronomía y en Física Fundamental y Cosmología. Finalmente, la ESA proporcionaría el suelo en Villafranca, así como acceso a sus ordenadores y redes de comunicaciones, algo básico hace 10 años. Alvaro Giménez fue el primer Director del LAEFF, seguido por Juan León y Benjamín Montesinos, recayendo en mí esa responsabilidad en la actualidad. Juan Pérez Mercader participó activamente en su creación y desarrollo, ocupando posteriormente la Jefatura del Área de la que el LAEFF depende.

Tal y como se puede apreciar en las siguientes páginas, creemos que los objetivos iniciales se han cumplido con bastante éxito. Los investigadores del LAEFF nos especializamos desde el primer momento en la utilización

de observatorios espaciales, “monopolizando” el acceso español al International Ultraviolet Explorer (IUE) en sus últimos años de vida, y observando con regularidad con el Telescopio Espacial Hubble (HST). Aunque no somos muchos, nuestro campo de actividad es amplio, abarcando desde la Cosmología hasta nuestro Sol, pasando por el estudio de galaxias activas y distintos tipos de sistemas estelares. En paralelo, el LAEFF ha participado en el desarrollo de distintos instrumentos científicos, siempre apoyados por los ingenieros de INTA, tales como la misión LAGEOS-III en colaboración con NASA, la propuesta de STEP a la ESA, y sobre todo EURD y LEGRI a bordo de MINISAT-01. En el caso de MINISAT-01, el LAEFF se ha encargado del Centro de Operaciones Científicas, que en los últimos cuatro años ha planificado la operación del satélite y distribuido los datos a los científicos de los distintos equipos. Por otra parte, el LAEFF ha liderado a nivel europeo el monitor óptico de INTEGRAL (OMC), encabeza la propuesta para Eddington y participa en los estudios de desarrollo de otras misiones futuras, como Darwin. Asimismo, y con la idea de optimizar la participación en las actividades de la ESA, el LAEFF se ha especializado en la gestión y aprovechamiento de bases de datos espaciales, habiéndose hecho cargo del Archivo Final de IUE y del sistema de acceso INES.

Tenemos muchas ideas para los próximos años, y mucha ilusión para realizarlas. Esperamos resolver uno de los grandes problemas que padecemos, el de la falta de personal estable, de manera que podamos avanzar en el estudio del Universo, tanto desde el punto de vista teórico y observacional como desarrollando instrumentación que beneficie a toda la comunidad científica. Durante estos años han pasado por el LAEFF numerosos investigadores, estudiantes de doctorado y post-docs de distintos países, muchos de los cuales nos acompañaron en la celebración del décimo aniversario el pasado 1 de junio. A aquellos que no pudieron estar con nosotros les enviamos desde aquí nuestro abrazo más cariñoso, y les deseamos el mayor de los éxitos en su andadura actual.

J. MIGUEL MAS HESSE
Director del LAEFF

El equipo humano del LAEFF en 2000.

La red de telescopios robóticos del INTA

David Galadí-Enríquez
Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)

La instalación de una red de telescopios robóticos, en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial favorecerá su incorporación, en condiciones competitivas, a líneas de trabajo de máxima actualidad

La Astrobiología necesita la contribución de diversas áreas de la Astronomía observacional contemporánea. Los progresos en tecnologías de control y comunicaciones permiten diseñar instalaciones de observación astronómica con dimensiones moderadas, operables remotamente y capaces de realizar aportaciones significativas en algunos de estos campos. Con la instalación de una red de telescopios robóticos, el INTA podrá incorporarse a líneas de trabajo como:

- el estudio de planetas alrededor de otras estrellas;
- investigaciones sobre la naturaleza y evolución de estrellas similares al Sol;
- las características de la población asteroidal cercana a la Tierra, o
- sistemas expertos para la toma automática de decisiones en estrategias de observación astronómica robotizada.

PROGRAMA CIENTÍFICO

La tendencia general tanto en Astronomía como en otras ciencias experimentales u observacionales que requieren grandes equipos, se encamina a la no duplicación de instalaciones y a maximizar las posibilidades de operación remota, con el fin de reducir los costes económicos y de tiempo y de optimizar el rendimiento científico de las inversiones en infraestructura y laboratorios. En ese sentido, los avances recientes en tecnologías de comunicación y control han conducido al desarrollo de varios telescopios robóticos desde comienzos de los años noventa. Entre los programas que se pueden abordar mediante telescopios robóticos hay algunos del máximo interés para la Astrobiología y que exponemos a continuación. Destacamos las posibilidades que estos programas abren desde el punto de vista de la cooperación internacional. Asimismo, la mayoría de ellos pueden

Este tipo de instalaciones ha demostrado su utilidad para proyectos con las siguientes características:

- ***necesidad de gran cantidad de tiempo de observación;***
- ***autonomía en la toma de decisiones por operadores humanos, y***
- ***generación de gran cantidad de datos susceptibles de tratamiento automatizado.***

entablar relaciones sinérgicas y de complementariedad con telescopios grandes, algunos de los cuales existen o están en construcción en España.

Estudio de planetas extrasolares

La búsqueda y estudio de planetas extrasolares (planetas en órbita alrededor de estrellas lejanas), de interés obvio para la Astrobiología, constituye una de las vanguardias de la Astronomía moderna y, en la actualidad, se realiza mediante distintas estrategias observacionales. Entre ellas, la observación fotométrica sistemática destaca como una de las más prometedoras. La búsqueda fotométrica de planetas extrasolares se basa en detectar la disminución del brillo aparente de una estrella cuando un planeta que orbita a su alrededor transita ante el disco estelar. Este tipo de proyectos requiere las condiciones siguientes:

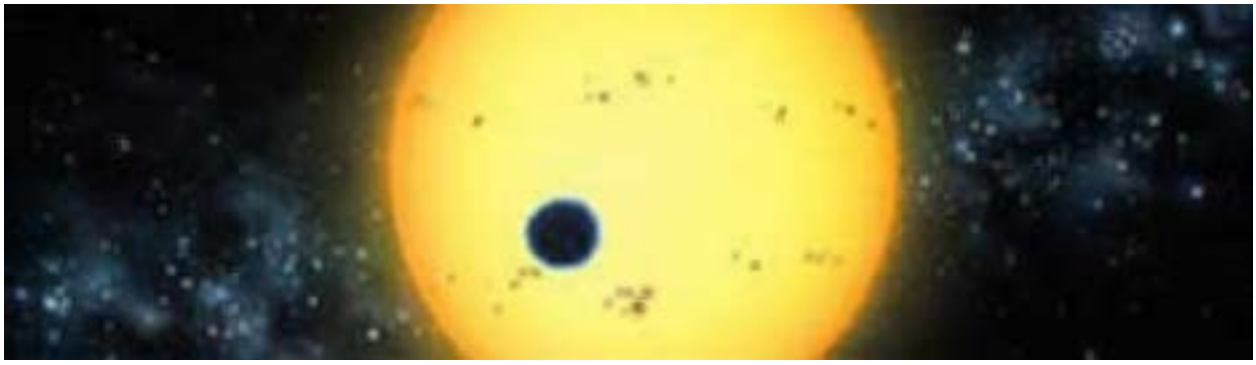
- algoritmos automáticos de tratamiento de datos;
- disponibilidad de grandes cantidades de tiempo de observación, e
- instrumentación de calidad, susceptible de proporcionar una precisión del orden de las milimagnitudes en fotometría diferencial en la banda visual para estrellas lejanas.

Este tipo de observaciones permite, además, establecer una interacción muy fructífera con los estudios (sobre todo espectroscópicos) que pueden efectuarse mediante telescopios de la clase “10 metros”, como el Gran Telescopio de Canarias cuya construcción ya ha comenzado.

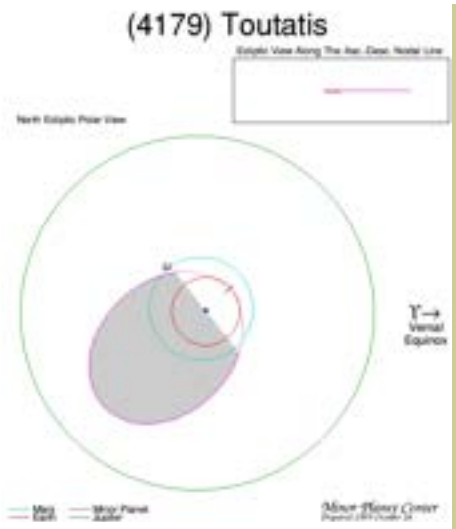
Los grandes requisitos de tiempo de observación de este programa hacen que produzca sus mejores resultados en el marco de una cooperación internacional.

Estrellas semejantes al Sol

La investigación de las propiedades de las estrellas semejantes al Sol resulta crucial para el estudio de la evolución de la vida en la Tierra, así como para la previsión de posibles biosferas en otros lugares del Universo. En particular, interesa situar al Sol en un contexto astrofísico discriminando cuáles de sus características son comunes y cuáles excepcionales entre sus semejantes. Asimismo, la observación de estrellas de tipo solar pero de diferentes composiciones químicas y de distintas edades, contribuirá a la comprensión de la historia del Sistema Solar primitivo y de la evolución de la irradicación del Sol. En consecuencia, mejorará el conocimiento de la interacción de la radiación solar con la atmósfera de la Tierra y con la biosfera tanto en el pasado como en el futuro. Para este programa resulta necesario disponer de detectores capaces de la máxima precisión fotomé-

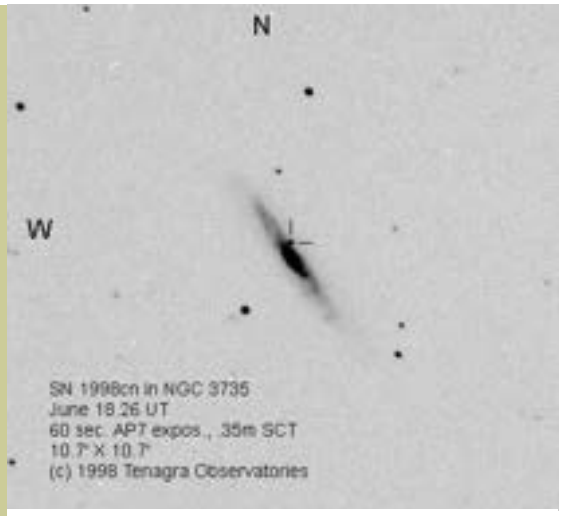


El tránsito de un planeta ante un disco estelar induce un descenso en el brillo aparente de la estrella.



Representación gráfica de la órbita del asteroide cercano a la Tierra 4179 Toutatis.

Fuente: Centro de Planetas Menores de la IAU.



Supernova extragaláctica 1998cn.

Fuente: Tenagra Observatories.

trica y sensibles en un intervalo amplio de longitudes de onda. Las modernas cámaras CCD iluminadas desde atrás, equipadas con filtros de banda ancha e intermedia, constituyen la mejor opción.

También el estudio fotométrico de estrellas de tipo solar generará una interacción fructífera con los análisis espectroscópicos que pueden efectuarse con telescopios de diámetros mayores, en particular con los nuevos instrumentos de la clase "8-10 metros".

Asteroides y cometas cercanos a la Tierra

Un número importante de cuerpos menores del Sistema Solar (cometas y asteroides) sigue trayectorias que se aproximan a la de la Tierra. Su abundancia, órbitas, tamaños, características físicas e historia aún son poco conocidos. La estimación de la frecuencia de impactos con la Tierra y otros planetas, así como de su potencia, tanto en el presente como en el pasado (un estudio de interés para la evolución de la vida en nuestro planeta), requiere un esfuerzo observacional notable, en el que están embarcados diversos observatorios internacionales coordinados por la Unión Astronómica Internacional.

La red de telescopios robóticos del INTA, operada por el Centro de Astrobiología (CAB), contribuirá a esta empresa internacional mediante observaciones que, si bien no poseerán el mismo rendimiento en cuanto a nuevos descubrimientos, sí serán de gran valor para el seguimiento de los ya conocidos, y para la determinación fiable de sus órbitas.

Investigación en sistemas expertos para observación astronómica distribuida

El desarrollo del *software* para la gestión robotizada de las observaciones incorporará esta red a un campo de investigación muy dinámico en la actualidad: los sistemas expertos para la observación astronómica automática. Nuestro proyecto presenta como rasgo adicional el que, en su configuración final, la red funcionará como un único instrumento, una posibilidad que no está disponible en ninguna de las instalaciones semejantes, ni existentes ni planeadas, hasta ahora. La

Varias imágenes de un telescopio robótico de 50 cm de diámetro fabricado por la empresa TORUS Technologies. A la izquierda, el telescopio en montura ecuatorial de horquilla. A la derecha, varios telescopios en la cadena de montaje.

disponibilidad de comunicaciones rápidas y de banda ancha (Internet de Próxima Generación) y de algoritmos novedosos y flexibles, permitirá experiencias muy interesantes en lo que podríamos llamar "observación astronómica distribuida espacialmente".

Programas paralelos

La asignación de parte del tiempo a otras tareas observacionales impulsará la productividad científica de la red y asentará su posición en marcos de cooperación internacional. Es posible seleccionar estas tareas paralelas de modo que no requieran un esfuerzo adicional excesivo, si se procura que los protocolos de observación y los algoritmos de tratamiento de datos sean similares, si no idénticos, a los aplicados en nuestros programas principales. Entre los programas que reúnen estos requisitos están:

- Objetivos de oportunidad: observación de novas, supernovas, fuentes explosivas de rayos gamma, fulguraciones estelares.
- Proyectos sistemáticos: búsqueda de supernovas extragalácticas, astrometría y fotometría de cuerpos menores del Sistema Solar, fotometría de estrellas variables, fotometría de binarias eclipsantes.

LA RED DE TELESCOPIOS ROBÓTICOS

Los telescopios contarán con aberturas de entre 40 y 50 cm de diámetro, con relaciones focales entre f/8 y f/10, configuración óptica de tipo Cassegrain, con montura ecuatorial de horquilla y un solo instrumento: una cámara CCD con chip adelgazado e iluminado desde atrás, dotado de filtros de banda ancha.

Cada telescopio contará con un ordenador local capaz de efectuar in situ, y de manera automática, cuantas labores de tratamiento y reducción sean posibles.

Para el funcionamiento robótico de los telescopios, resulta de crucial importancia dotarlos de un sistema de control integrado de fábrica, perfectamente adaptado a sus características mecánicas y ópticas, flexible, programable y capaz de recibir instrucciones remotas por la red.

Para evitar saturar la red con el envío diario de datos brutos, cada telescopio contará con un ordenador local capaz de efectuar in situ, y de manera automática, cuantas labores de tratamiento y reducción sean posibles. Cada telescopio dispondrá, además, de una estación meteorológica automática que proporcione al sistema los datos necesarios para interrumpir las actividades si las condiciones ambientales fueran adversas.

El número ideal de estaciones de observación se estima en cuatro, basándose en argumentos de disponibilidad temporal, separación geográfica, separación climática y nivel mínimo de redundancia. La única manera en que la red podrá actuar con verdadera eficacia en modo de observación astronómica distribuida espacialmente consistirá en que todos los telescopios, instrumentos y sistemas de control sean de características homogéneas. En otro caso, la gestión, distribución y análisis de las observaciones se complicaría sobremanera. Incluso en modo de operación individual, el mantenimiento de aparatos y programas se tornaría más complejo y costoso (tanto en términos de tiempo como de dinero) si las estaciones fueran heterogéneas.

INSERCIÓN INTERNACIONAL Y NACIONAL DE LA RED

Como se ha mencionado al comentar los proyectos científicos, una red robótica de telescopios de las características propuestas es capaz de aportar contribuciones significativas a diversos esfuerzos internacionales de observación tanto actuales como para el futuro inmediato. Además, esta cooperación beneficiará en gran medida el rendimiento científico de la propia red.

La pertenencia del Centro de Astrobiología al consorcio NAI (NASA Astrobiology Institute) de la agencia espacial estadounidense, hace posible la incorporación de nuestro proyecto en la red de telescopios robóticos del NAI. La actividad observacional de nuestros telescopios en el campo de los cuerpos menores permitirá integrarlos en el consorcio internacional, coordinado por la Unión Astronómica Internacional, dedicado al descubrimiento y seguimiento de objetos cercanos a la Tierra.

Además, los diversos programas observacionales previstos presentan múltiples interacciones posibles con proyectos que pueden realizarse mediante otros telescopios de gran diámetro situados en España, lo cual abre una vía de colaboración que no deberá desaprovecharse.

Por último, cabe considerar la posibilidad de ofrecer parte del tiempo de observación a la comunidad astronómica española en régimen de concesión de tiempo, mediante el procedimiento habitual de solicitudes y su posterior resolución por un comité de asignación de tiempos creado expresamente.

Estado de desarrollo del proyecto

En el momento de redactar estas líneas (mayo 2001), se está procediendo a la fabricación de tres telescopios robóticos (dos de 50 cm de diámetro, más uno de 40 cm) por parte de una firma comercial estadounidense. El primer telescopio, de menor diámetro, se ha instalado en el campus del INTA, en Torrejón de Ardoz, el mes pasado, mientras que el primer instrumento de 50 cm será instalado durante el verano en la provincia de Murcia. El tercer observatorio, de ubicación aún por decidir, se instalará antes de fin de año. Al mismo tiempo, se está procediendo a la definición de los programas científicos, los sistemas y protocolos de comunicación y los programas de tratamiento de datos. Se espera obtener los primeros resultados científicos a lo largo del año 2002.

DÉCIMO ANIVERSARIO

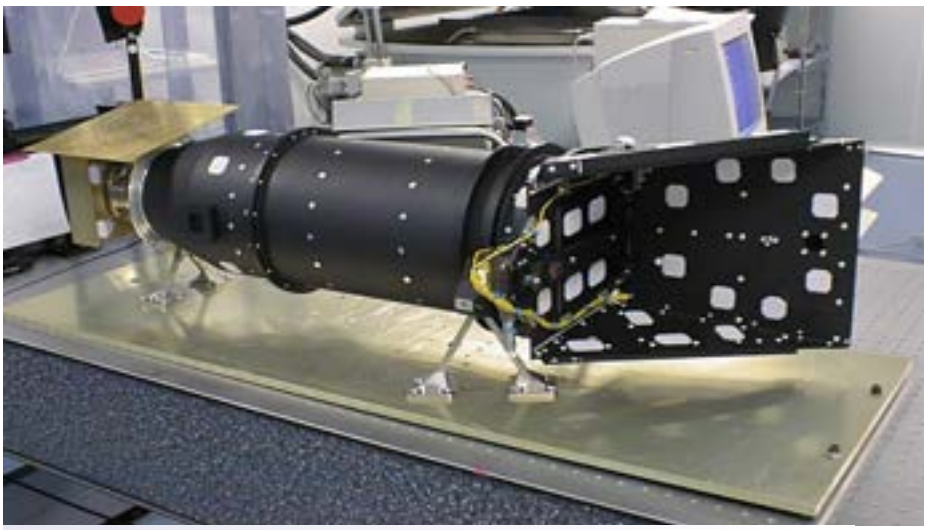
Resultados Científicos del LAEFF

INTEGRAL

INTEGRAL (*INTErnational Gamma Ray Astrophysics Laboratory)* es un potente observatorio astronómico de altas energías que será lanzado por la Agencia Espacial Europea en otoño del 2002. INTEGRAL consta de dos telescopios de rayos gamma, el espectrómetro SPI y la cámara de imagen IBIS, así como un monitor de rayos X (JEM-X) y un monitor óptico (OMC). Con esta instrumentación, INTEGRAL será capaz de estudiar los fenómenos más energéticos y violentos del Universo con una precisión mucho mayor que la que se había conseguido hasta ahora. De esta manera será posible analizar el entorno de agujeros negros galácticos y extragalácticos, estrellas binarias, galaxias en colisión, chorros de materia a gran velocidad, etc.

La OMC (*Optical Monitoring Camera)* ofrecerá por primera vez la oportunidad de realizar el seguimiento óptico de estos fenómenos de manera simultánea. Asimismo, la OMC permitirá estudiar la variabilidad óptica de decenas de miles de objetos astronómicos que se encuentren en las inmediaciones de las fuentes de altas energías, que constituyen sus objetivos principales. El INTA es responsable del desarrollo de la OMC, encargándose el LAEFF de la coordinación general y de la planificación de su actividad científica. Asimismo, nuestro grupo del INTA ha sido responsable de la calificación de las máscaras codificadas de los demás instrumentos.

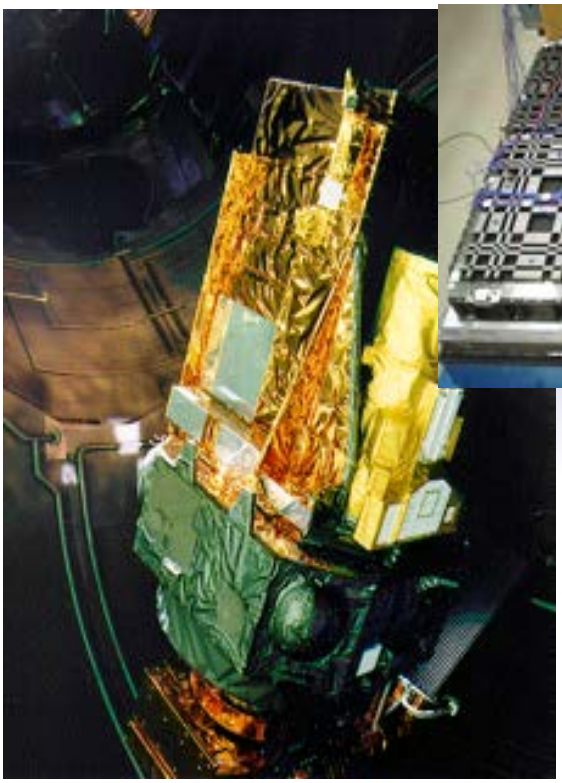
El proyecto OMC ha superado ya numerosos hitos importantes. Siguiendo la programación estándar en misiones espaciales, el primer objetivo lo constituyó la realización del modelo estructural y térmico (STM), similar al de vuelo pero sin detectores ni elementos electrónicos. Posteriormente se desarrolló el modelo de ingeniería (EM),que contenía ya el detector CCD y toda la electrónica asociada, y por lo tanto tenía ya la capacidad de obtener imágenes representativas. A continuación se integró el modelo de calificación (QM), idéntico al de vuelo (FM), y que de hecho se quedará como modelo de recambio por si ocurriera alguna desgracia con el FM. El modelo de vuelo se entregó finalmente a la ESA en octubre de 2000, estando ya integrado en la estructura del satélite.



Modelo de vuelo de la OMC sin MLI (multilayer insulation).

Mediante los distintos modelos, la OMC ha

sido sometida a todo tipo de pruebas para confirmar la validez del diseño y de la construcción. Primero, se vibraron todas las unidades de acuerdo con los niveles que se esperan durante el lanzamiento. Posteriormente se sometió el instrumento a condiciones de vacío térmico, similares a las esperadas en órbita. La prueba más importante fue sin duda la realizada en las instalaciones del Centro Espacial de Lieja (CSL). Introdujimos la OMC en una cámara de vacío de gran volumen y reprodujimos las temperaturas que se esperan durante las operaciones para el detector (alrededor de –90 C) y para la óptica (en torno a –10 C). Una vez estabilizado el instrumento proyectamos un determinado patrón sobre la apertura, registrando las imágenes en distintas zonas del CCD y bajo distintas condiciones.

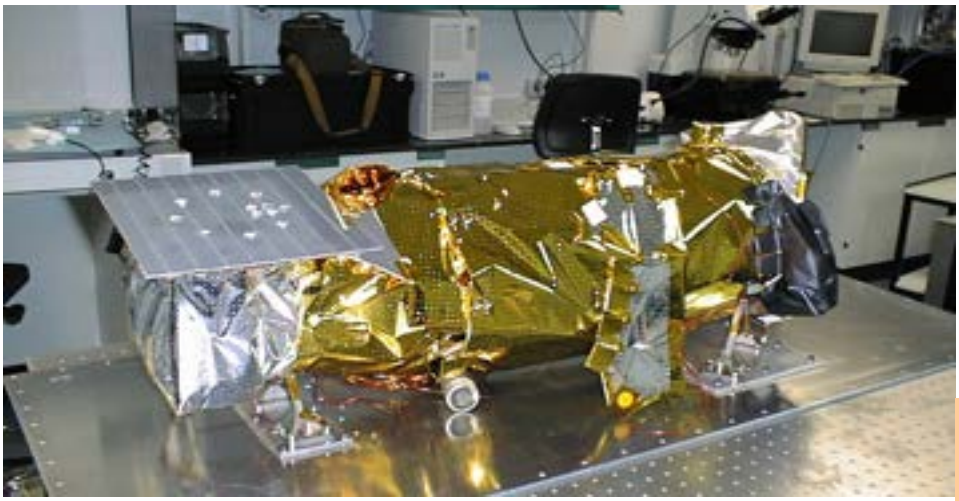


El modelo STM de INTEGRAL durante los ensayos.

Máscara de IBIS durante los ensayos.

En otoño del año 2002, el observatorio será puesto en una órbita muy excéntrica (con un apogeo de más de 100.000 km) y comenzará a estudiar el Universo que nos rodea, abriendo a los astrónomos de todo el mundo la ventana de los rayos gamma para su exploración sistemática durante un periodo de unos cinco años.

En el LAEFF tendremos el Centro de Operaciones Científicas de la OMC y recibiremos asimismo parte de los datos enviados por los otros instrumentos.



Modelo de vuelo de la OMC durante el montaje del MLI.

En INTEGRAL han participado Albert Domingo. Álvaro Giménez y J. Miguel Mas Hesse.

DÉCIMO ANIVERSARIO

Astrofísica Extragaláctica

La investigación en el campo de la Astrofísica Extragaláctica desarrollada por el LAEFF en los últimos 10 años se ha centrado esencialmente en el estudio de las regiones donde se forman grandes cantidades de estrellas masivas (starbursts). Estos estudios se han realizado tanto desde el punto de vista teórico, mediante el desarrollo de modelos de síntesis evolutiva, como observacional, habiendo analizado datos obtenidos en diversos rangos del espectro electromagnético: rayos X, UV, óptico, infrarrojo y radio. Los resultados más importantes se resumen a continuación:

Desarrollo de modelos de síntesis evolutiva de poblaciones. Estos modelos parten del conocimiento que tenemos acerca de cómo evolucionan las estrellas masivas desde su formación, y permiten reconstruir las características de las estrellas presentes en una región a lo largo del tiempo, y en función de distintas condiciones de partida. Una vez determinada la estructura de la población estelar, es posible sintetizar un gran número de observables en cualquier rango del espectro. La comparación posterior con datos observacionales nos permitirá acotar las propiedades (masa, edad, función de masas, extinción,…) de cada episodio de formación estelar estudiado. Nuestros modelos han supuesto un importante avance especialmente en la extensión hasta los rayos X de la capacidad de síntesis de parámetros, así como en la inclusión de sistemas binarios en el formalismo.

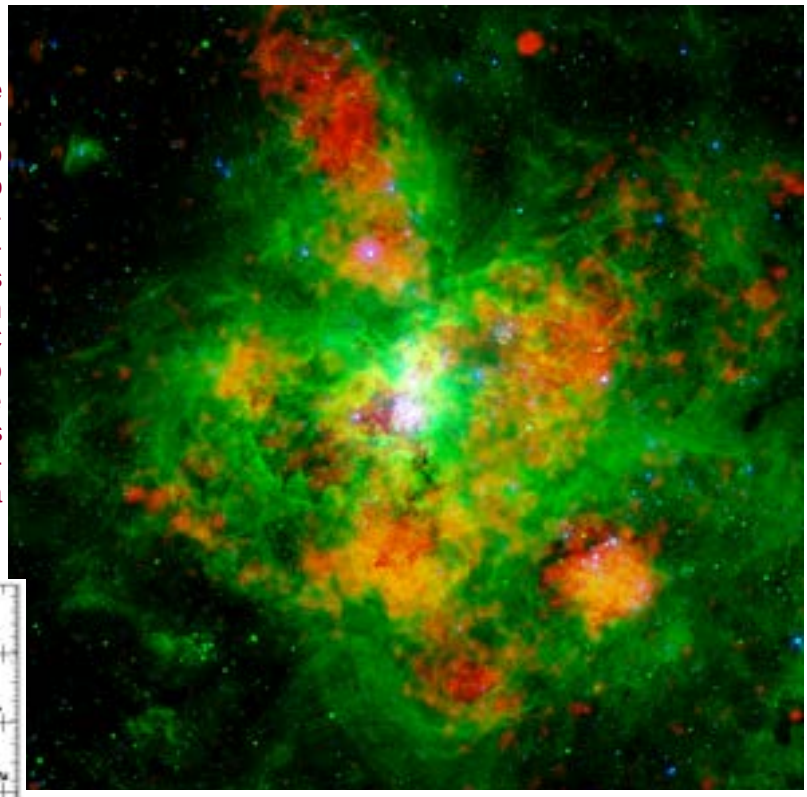
La galaxia M82 recientemente observada mediante el telescopio Subaru, mostrando impactantes chorros de material ionizado.

La galaxia NGC 4214, observada mediante el HST, con sus intensos brotes de formación estelar.

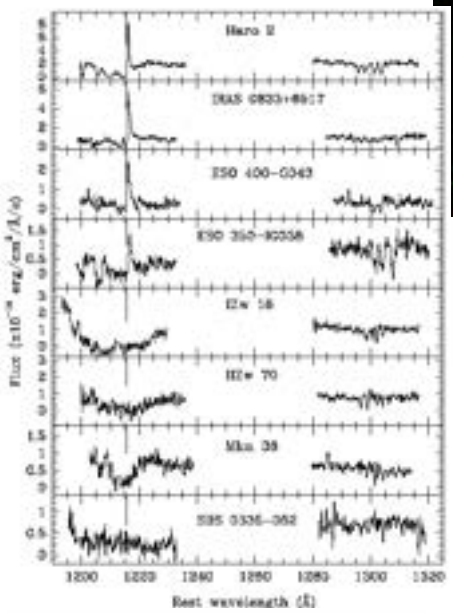
La aplicación de los modelos de síntesis nos ha permitido estudiar en detalle las propiedades de los procesos de formación estelar en galaxias compactas azules, así como en regiones HII gigantes. Asimismo, hemos extendido el estudio de estos "starbursts" a los episodios de formación estelar que tienen lugar en, o alrededor del núcleo de galaxias activas tipo Seyfert. La visión multirrango que proporcionan los modelos permite predecir la emisión de altas energías (rayos X) asociada a los "starbursts" esperada en estas regiones, de manera que hemos logrado separar esta contribución de la emisión generada por la fuente activa. La conclusión a la que llegamos en la mayoría de los casos es que la contribución de las regiones de formación estelar es importante en altas energías, y puede llegar

a dominar el continuo UV.

La formación y evolución de gran cantidad de estrellas masivas produce un importante impacto sobre las propiedades del medio interestelar, dando lugar a la formación de chorros de material, burbujas, cascarones. Estos fenómenos han sido estudiados en detalle en diversas galaxias, como NGC 4214, en las que hemos realizado un completo estudio a partir de datos bidimensionales obtenidos en tierra y mediante el HST. Asimismo, gracias a la espectroscopía realizada por medio del STIS y del GHRS, ambos instrumentos del HST, descubrimos chorros de material neutro escapando de las regiones de formación estelar de varias galaxias. La alta velocidad de estos chorros (entre 200 y 1000 km/s) permitía que la línea de emisión de hidrógeno Lyman α, a 1216 Å, pudiera atravesar el material neutro sin ser absorbida, como sucede en la mayoría de los casos. Este descubrimiento ha sentado las bases para la correcta interpretación del flujo de la línea Lyman α observado en galaxias situadas en los confines del Universo.



La región de formación estelar 30 Dor, en la Gran Nube de Magallanes. El color rojo corresponde a la emisión de rayos X de gas interestelar a temperaturas muy elevadas, mientras que el verde indica la distribución del gas ionizado a temperaturas más bajas.



Perfil de la línea de emisión Lyman a en diversas galaxias compactas azules.

Podemos afirmar que la combinación de distintas técnicas con datos observacionales obtenidos en un amplio rango de longitudes de onda, y asociados a distintos procesos físicos, permite acotar con un sorprendente grado de fiabilidad, las propiedades de los procesos de formación de estrellas masivas en distintos entornos, como son las regiones HII en los brazos de las galaxias espirales, pequeñas galaxias compactas azules e incluso las regiones alrededor del núcleo de galaxias activas.

Han colaborado Miguel Cerviño, María de Santos, Elena Jiménez, Jesús Maíz y J. Miguel Mas Hesse.

Archivos Astronómicos en el LAEFF

DÉCIMO ANIVERSARIO

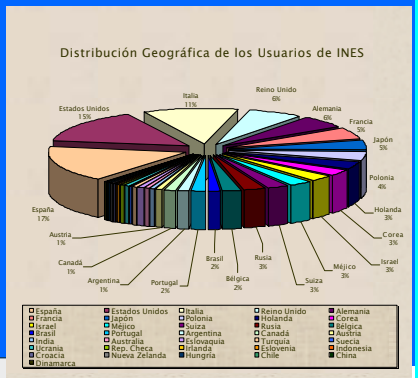
Rosarío González, Fernando Rodríguez, Lourdes Sanz F. de Córdoba, Enrique Solano y Antonio Talavera.

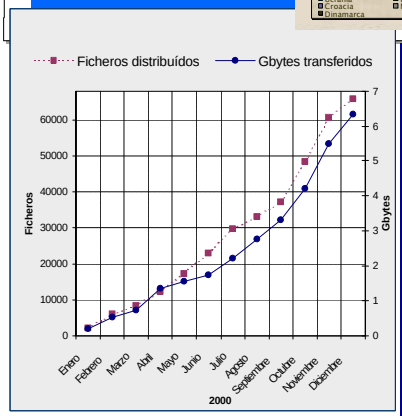
El satélite International Ultraviolet Explorer (IUE), proyecto conjunto de ESA, NASA y el Consejo de Investigaciones Científicas Británico, se puede considerar como el primer Observatorio Astronómico en órbita. IUE fue lanzado en enero de 1978 y sus operaciones se prolongaron hasta septiembre de 1996.

A lo largo de esos casi veinte años de operaciones científicas, se obtuvieron con IUE más de 100000 espectros en el rango ultravioleta de unos 10000 objetos celestes, desde la Luna hasta los cuásares más lejanos. Estos datos y el sistema de acceso a los mismos, INES (IUE *Newly Extracted Spectra)*, constituyen el resultado final de esta larga y fructífera misión.

En 1998 ESA decidió poner punto final a su participación en el proyecto IUE y transferir su archivo a la comunidad científica internacional, siendo el LAEFF seleccionado para acoger el Centro Principal del Archivo IUE.

ESA hizo entrega oficial del Archivo IUE a la comunidad científica el 21 de marzo de 2000. A partir de junio de 2000, el LAEFF ha pasado a ser el único responsable del Archivo, lo que hace que en la actualidad sea el depositario activo del conjunto más amplio y completo de datos astronómicos en el dominio ultravioleta del espectro electromagnético.





La demanda de datos de IUE se mantiene a un nivel notablemente alto a pesar de la longevidad del Archivo.

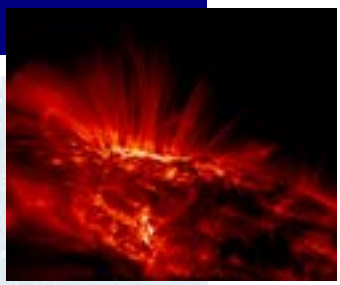
A lo largo de las dos últimas décadas, más de 500 Tesis Doctorales y 3700 artículos en la bibliografía profesional han empleado espectros de IUE.

El sistema INES ha sido utilizado hasta ahora por 600 científicos de todo el mundo.

Solamente en el año 2000, se han distribuido a través de los Centros Nacionales de INES instalados en 22 países cerca de 70000 espectros de IUE (más de 6 Gbytes de datos), a un ritmo de un espectro cada ocho minutos.

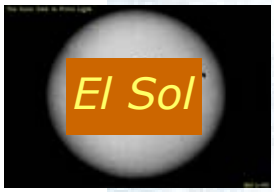
Sol y estrellas en el LAEFF

DÉCIMO ANIVERSARIO



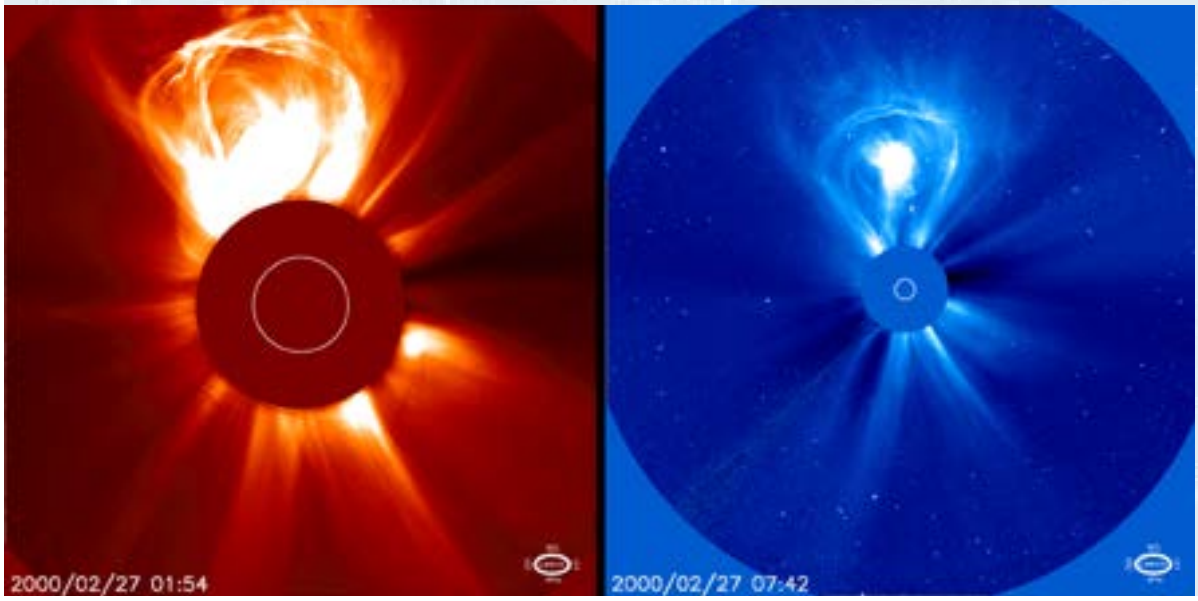
La corona solar observada por TRACE.

La física solar y estelar han formado parte de la actividad científica del LAEFF como complemento a la investigación en física extragaláctica. Durante los diez años de vida del LAEFF hemos estudiado diversos tipos de estrellas, desde las más sencillas -en apariencia- como el Sol o estrellas aisladas similares al Sol, hasta estrellas binarias, con componentes en la secuencia principal, y objetos más exóticos, como las binarias de rayos X, las misteriosas estrellas del tipo AM CVn e incluso los remanentes de explosiones de supernovas. Además de numerosos artículos publicados, los estudiantes del LAEFF han defendido cuatro tesis doctorales y tres trabajos de tercer ciclo en el campo de la Astrofísica solar y estelar.



El Sol es una continua fuente de energía para la Tierra... ¡y de problemas para los astrónomos! En el LAEFF hemos dedicado un particular esfuerzo al estudio de las capas más exteriores de la atmósfera solar, una de cuyas peculiaridades es que la temperatura aumenta cuando nos alejamos de la superficie en vez de disminuir, como la intuición nos dictaría. Uno de los resultados más interesantes obtenidos es la medida directa de la anchura de la región de transición -la zona de la atmósfera solar donde la temperatura cambia desde 20000 a 200000 K-, a partir de espectros en el rango ultravioleta. También se ha modelado el desarrollo de sucesos explosivos en esta región de la atmósfera solar.

Otro de los problemas que se ha estudiado con éxito es el modelado del llamado "efecto Evershed" en la penumbra de las manchas solares, que se interpreta como un flujo radial de materia desde la parte más interna de la penumbra hacia las partes más externas. Este fenómeno, conocido desde hace más de 90 años, no había sido explicado con éxito hasta que nuestro grupo, en 1997, logró diseñar un modelo basado en tubos de flujo magnético que predice todos los parámetros observados con bastante exactitud.



Eyección coronal de materia observada con el instrumento LASCO a bordo del Solar and Heliospheric Observatory (SOHO).

Estrellas aisladas

La clasificación espectral de estrellas es uno de los pasos previos más importantes que se han de dar para cualquier estudio posterior, ya que parámetros básicos como la gravedad y la temperatura efectiva son imprescindibles en cálculos de cantidades más complejas, como por ejemplo la abundancia metálica. En el LAEFF se han realizado dos estudios de clasificación espectral en contextos distintos. El primero fue la clasificación, mediante redes neuronales, de estrellas observadas en el rango ultravioleta (1200-3200 Å) con el satélite IUE (*International Ultraviolet Explorer*). El segundo ha consistido en la clasificación espectral de una muestra de 80 estrellas pre-secuencia principal y tipo Vega que son las progenitoras de sistemas protoplanetarios.

Este último trabajo se ha compaginado con un estudio exhaustivo de sus velocidades de rotación y está en marcha un programa ambicioso para determinar con exactitud sus temperaturas y abundancias metálicas. También se ha comenzado un trabajo dedicado al estudio de la actividad en estrellas gigantes rojas, para poder comparar su comportamiento con el de estrellas de secuencia principal y ver si el origen de la actividad atmosférica es similar en ambos estados evolutivos.

Estrellas binarias

Las estrellas binarias son los objetos que nos permiten realizar calibraciones precisas de los parámetros estelares porque si son eclipsantes, es decir, si el plano de la órbita contiene o es muy próximo a la línea de visión, es posible obtener las masas y los radios de las estrellas, además de sus temperaturas.

La clasificación de sistemas binarios, al igual que sucede para estrellas aisladas, es uno de los pasos previos más importantes que requiere todo trabajo sobre este tipo de sistemas. En el LAEFF se ha propuesto un nuevo esquema de clasificación de sistemas binarios eclipsantes en función de sus curvas de luz, relacionando la forma de éstas con la geometría del sistema, de modo que a cada grupo con curvas de luz similares corresponde una configuración geométrica distinta.

A lo largo de los últimos años, se ha contribuído a la obtención de una base de datos de parámetros estelares bien determinados (masas, radios y temperaturas con errores menores que el 2%) en estrellas pertenecientes a sistemas binarios eclipsantes y espectroscópicos. Se ha prestado especial atención a los sistemas miembros de cúmulos abiertos y asociaciones estelares por la información adicional que puede extraerse respecto a edades y composiciones químicas.

También se ha trabajado en la determinación de parámetros absolutos en sistemas fuera de nuestra Galaxia, inicialmente sólo en las Nubes de Magallanes, pero con la esperanza de medir sistemas en otras galaxias del Grupo Local.

Se ha realizado también un estudio de la interacción entre las componentes de sistemas binarios mediante las fuerzas de marea, que aparecen cuando los cuerpos que interactúan no son totalmente sólidos, es decir cuando los movimientos de masa en el interior de los mismos representan un papel importante en la dinámica de los sistemas. Estas fuerzas son las responsables, por ejemplo, de que los periodos de rotación de la Tierra y la Luna sean los mismos, y de que la Luna siempre muestre la misma cara a la Tierra.

Binarias de rayos X

En los sistemas binarios de rayos X, un objeto compacto (una estrella de neutrones o agujero negro) acrece materia procedente de la estrella compañera. Debido al intenso potencial gravitatorio del objeto compacto, en el proceso se liberan grandes cantidades de energía. La transferencia de materia al objeto compacto se produce bien como consecuencia del viento estelar de la estrella compañera, o bien porque la estrella compañera excede su lóbulo de Roche. En este último caso, la materia transferida, que posee una cierta cantidad de momento angular, no puede caer directamente sobre el objeto compacto y se forma un disco de acrecimiento alrededor de dicho objeto. En este disco, por fricción, se produce una transferencia de momento angular que permite a la materia ir cayendo hacia el objeto central. A medida que esto ocurre, se libera el exceso de energía potencial gravitatoria en forma de radiación.

Las binarias de rayos X se dividen en dos grandes grupos, en función de la masa de la estrella compañera: binarias de rayos X de baja masa, y binarias de rayos X de alta masa.

El estudio desde el LAEFF de las fuentes binarias de rayos X se ha basado en la realización de observaciones multirrango de fuentes transitorias de rayos X blandos, algunas de ellas son:

Una estrella de neutrones, del tamaño de una ciudad, rotando unos pocos centenares de veces por segundo, acrece materia de un dico de gas absorbido de su compañera, una estrella fría y roja. El púlsar emite gran cantidad de energía en rayos X (impresión artística).

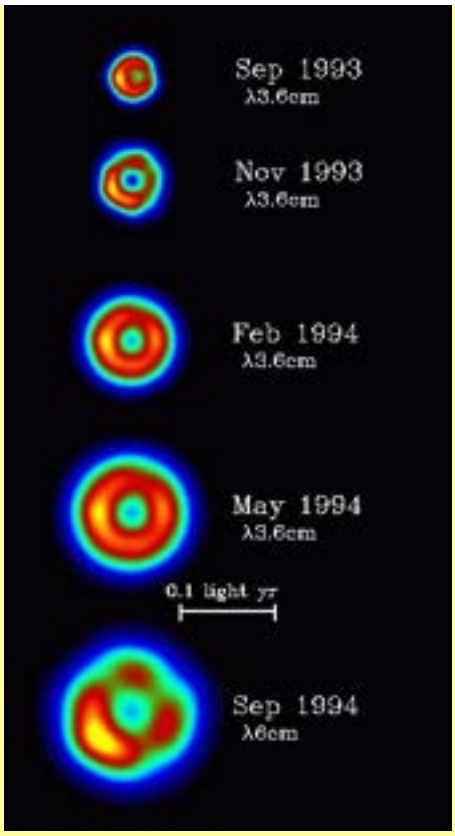
Un subgrupo de binarias de rayos X de baja masa, son las fuentes transitorias de rayos X blandos, también llamadas novas de rayos X. Estos sistemas experimentan fases de alta actividad durante las cuales la luminosidad en todos los rangos espectrales aumenta bruscamente en el curso de unos pocos días, para decrecer posteriormente en los meses siguientes. Estos fenómenos se han interpretado como consecuencia de episodios esporádicos durante los cuales la materia se acrece sobre la estrella compacta.

GRO J0422+32, cuya contrapartida óptica se observó desde el inicio de la erupción hasta llegar a la fase de quietud en 1994, y cuya función de masa permitió determinar que podría albergar un agujero negro de más de 4 masas solares.

GRS 1915+105, el primer "microcuásar" detectado en la Galaxia, fue descubierto por medio del instrumento WATCH, en el satélite GRANAT. Fue observado en IR y rayos X, mostrando una

actividad altamente variable. Observaciones simultáneas en radio, rayos X e IR, han ido estableciendo una correspondencia entre las fulguraciones X y las observadas en el IR, descartando que la emisión IR sea el reprocesamiento de la emisión X. Se ha sugerido que la parte más interna del disco de acrecimiento repetidamente se vacía y rellena en cuestión de segundos, produciendo como consecuencia la eyección de nubes de plasma relativistas observadas como fulguraciones en el IR. Recientemente hemos confirmado su naturaleza como binaria de rayos X de baja masa.

XTE J1550-564 y XTE J1859+226, fueron detectadas por el instrumento ASM (*All Sky Monitor*) del satélite RXTE. Hemos realizado un seguimiento óptico de ambas fuentes, desde el inicio del outburst hasta el estado de quietud. Ambos objetos han sido clasificados como candidatos a agujeros negros, en función de las características de la fase de alta actividad, aunque de momento no se ha obtenido confirmación espectroscópica de la naturaleza del objeto compacto.



Evolución temporal de la envoltura expulsada por la supernova 1993J.

Supernovas

Las supernovas son uno de los últimos estados de la evolución de estrellas muy masivas. Una explosión de supernova sucede cuando en el núcleo de la estrella se forma hierro, uno de los elementos más estables y toda la estrella colapsa debido a un desequilibrio entre el peso de todas las capas externas y la presión ejercida por el núcleo para mantener la estructura de la estrella estable.

Las observaciones de la supernova 1993J permitieron demostrar que el material expulsado tiene una forma similar al de una cáscara esférica y que se encuentra expandiéndose en el medio circunestelar con un movimiento propio que se decelera progresivamente. Estos resultados favorecen un modelo en el que la radio emisión se debe a la interacción de la eyecta de la supernova con el medio circunestelar enriquecido por los vientos estelares en la fase pre-supernova.

Nebulosas planetarias

DÉCIMO ANIVERSARIO

La nebulosa planetaria Hen 3-1357 o "Stingray", ("manta" o "raya", por la similitud morfológica con estos animales).

En los últimos años hemos realizado un proceso de identificación masivo de fuentes IRAS que presentaban los colores infarrojos adecuados para ser consideradas como posibles objetos en la fase de transición previa a la formación de una nebulosa planetaria utilizando observaciones en diferentes rangos de longitud de onda desde el infrarrojo hasta el ultravioleta y haciendo uso tanto de observatorios con base en tierra (La Palma, La Silla - Chile) como en órbita a bordo de satélites (IUE, HST e ISO) utilizando técnicas espectroscópicas y fotométricas.

Como resultado de estas observaciones descubrimos un buen número de nebulosas planetarias muy jóvenes aun fuertemente enrojecidas por el material circunestelar y estrellas variables Mira de muy largo periodo que se encuentran en los últimos momentos de su vida en la rama asintótica de gigantes (fase AGB), muchas de ellas completamente invisibles en el óptico y con una intensa emisión máser de OH fácilmente detectable en el dominio radio (estrellas variables OH/IR). Además, lo que es más interesante, también descubrimos un número considerable de estrellas, algunas de ellas con contrapartida óptica muy brillante pero con un fuerte exceso infrarrojo, que han sido identificadas como estrellas post-AGB por primera vez, incrementando notablemente el número hasta ahora escaso de representantes conocidos. Estas estrellas se encontrarían aun evolucionando en el diagrama H-R hacia regiones de mayor temperatura efectiva, camino de convertirse en nuevas nebulosas planetarias.

Pero sin duda alguna, el resultado más destacable por lo sorprendente y espectacular fue el descubrimiento de Hen 3-1357, un objeto que parece haber evolucionado en el transcurso de tan solo dos décadas desde la fase post-AGB hasta la de nebulosa planetaria, en la que ahora se encontraría. Esta evolución tan rápida no es la esperada por los modelos teóricos y supone además la primera evidencia observacional de la conexión evolutiva existente entre las estrellas post-AGB y las nebulosas planetarias. La impresionante imagen de la nebulosa planetaria recién nacida obtenida utilizando el Telescopio Espacial Hubble tuvo el honor de ocupar la portada de *Nature* (2/abril/98).

Los investigadores que han contribuido en estas áreas son: Antxon Alberdi, Alberto Castro-Tirado, Nuno Cunha, Myriam Dorado, Eduardo Fernandes, Pedro García Lario, Alvaro Giménez, Rosario González, Beatriz González, Bruno Merín, Benjamín Montesinos, Celia Sánchez, Luis Manuel Sarro, Enrique Solano y Ana Ulla.

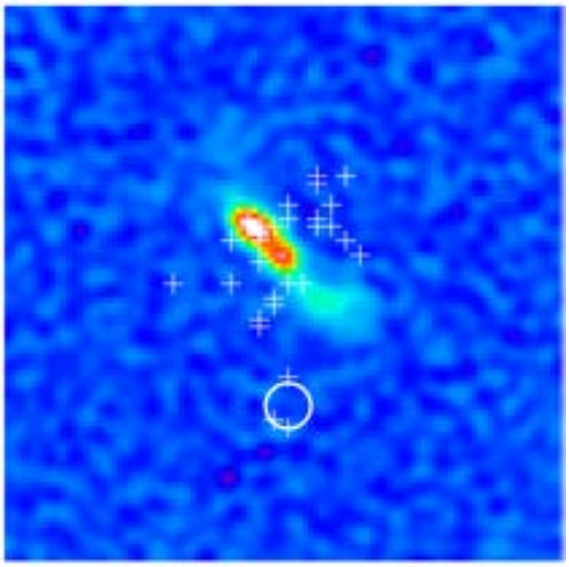
Radioastronomía

Un 5% del tiempo total de antena en la estación de Robledo de Chavela está disponible para los astrónomos españoles.

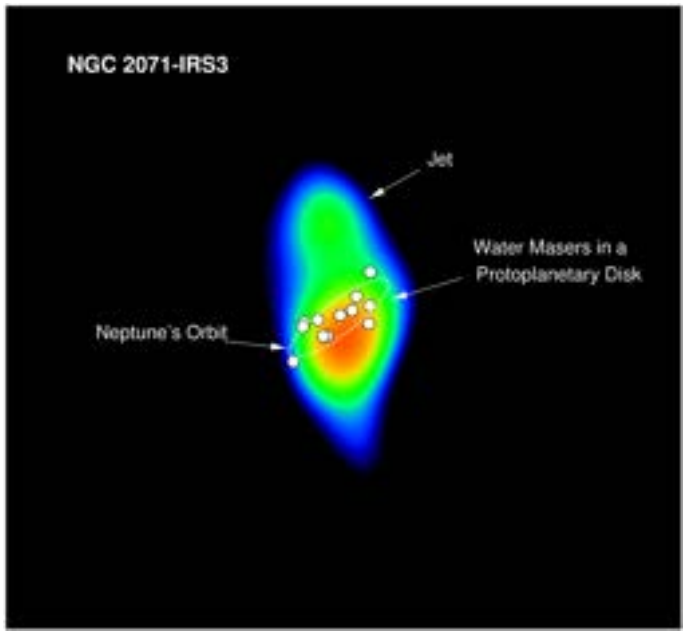
El LAEFF gestiona el tiempo español de radioastronomía en la estación espacial de Robledo de Chavela (NASA/INTA). Las antenas de esta instalación se han usado fundamentalmente en observaciones de interferometría de muy larga base, formando parte de redes internacionales. Además, nuestro grupo de radio realiza investigaciones de formación estelar en nuestra galaxia, y de núcleos activos en otras galaxias.

En el campo de formación estelar y nubes moleculares, se han realizado estudios de las estructuras y fenómenos físicos que se dan en el entorno de estrellas jóvenes. De forma especial, nos hemos centrado en los fenómenos de pérdida de materia que sufren las estrellas durante su formación, así como en las estructuras en forma de disco que podrían ser precursoras de nuevos sistemas planetarios. Así, mediante observaciones interferométricas de continuo de radio y líneas de agua, amoniaco, monóxido de silicio y HCO^+, hemos detectado chorros colimados en varias estrellas jóvenes, así como posibles discos protoplanetarios. El estudio de chorros y discos de forma simultánea y con resoluciones angulares similares nos permite conocer adecuadamente su relación mutua. Así, por ejemplo, hemos sugerido una posible tendencia evolutiva, según la cual, la emisión máser de agua parece localizarse en discos protoplanetarios durante los primeros estadios de formación estelar. Sin embargo, en fases posteriores, esta emisión parece trazar chorros de materia. La sorprendente detección, por primera vez, de una expulsión de material esféricamente simétrica en una estrella joven podría requerir la revisión de algunas teorías de formación estelar (ver Dossier).

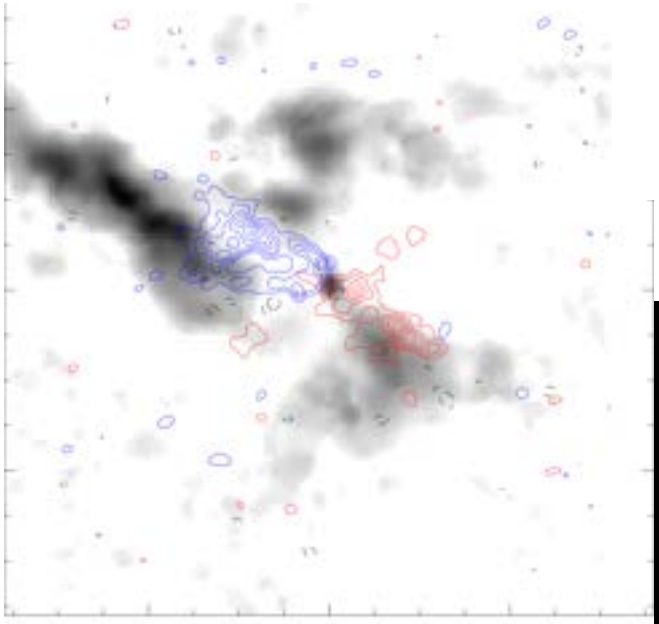
Hemos realizado también modelos teóricos de la emisión de líneas moleculares en discos protoplanetarios, que nos han permitido predecir el tipo de resultados esperables con la nueva generación de interferómetros milimétricos y submilimétricos, como SMA y ALMA. Concluimos que estos nuevos telescopios serán los instrumentos adecuados para comprender los procesos físicos en estas estructuras, en las que se formarán otros planetas.



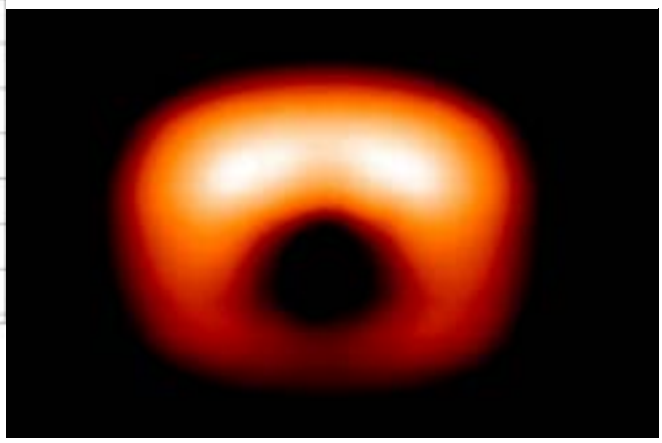
En color, chorro ionizado procedente de la estrella joven HW2 en Cefeo A (emisión de continuo en 22 GHz). Las cruces representan la emisión máser de agua, que parece trazar un disco protoplanetario. Datos obtenidos con el VLA.



Chorro y disco protoplanetario en NGC 2071. Datos obtenidos con el VLA.

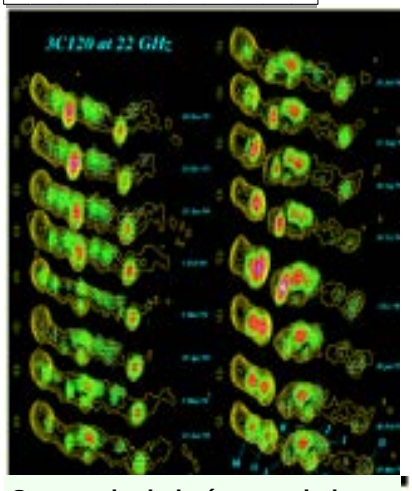


El flujo molecular en la región de formación estelar Cefeo A. La escala de grises representa la emisión de amoniaco, que traza gas denso, observado con el *Very Large Array* (VLA). Los contornos indican el gas de alta velocidad, que muestra una distribución bipolar, observado en HCO^+ con el interferómetro de Owens Valley



Simulación de la emisión de la molécula de $C_{17}O$ (345 GHz) en el disco protoplanetario de HL Tau, tal como se vería con el futuro interferómetro ALMA.

DÉCIMO ANIVERSARIO



Secuencia de imágenes de la radio galaxia 3C120 realizadas con el interferómetro VLBA a 22 GHz. La resolución angular de las imágenes es de 0.3 milésimas de segundo de arco, que a la distancia de 3C120 corresponde a una resolución lineal de 0.2 parsec.

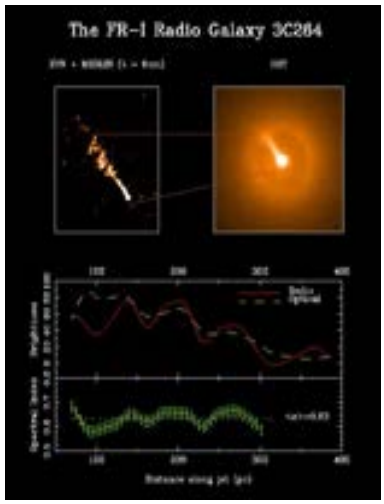
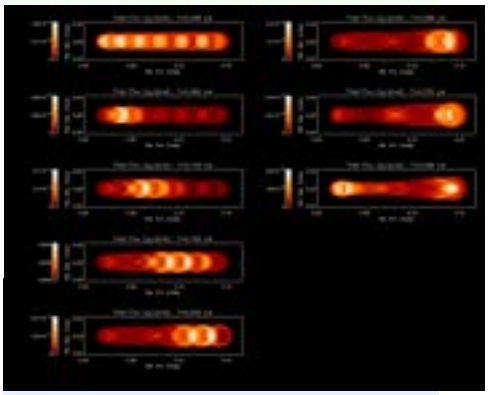


Imagen del chorro de 3C264 en radio (combinación de los interferómetros EVN y MERLIN) y óptico (HDF), y determinación del índice espectral.



Simulaciones numéricas de la emisión sincrotrón de un chorro relativista en el que se ha introducido una onda de choque que viaja a lo largo de su trayectoria.

En el campo de la radioastronomía extragaláctica, se han realizado estudios de las regiones más internas de los núcleos activos de galaxias (AGN), utilizando la técnica de interferometría de muy larga base. Una de las propiedades más espectaculares de las galaxias activas es la presencia de chorros de materia que parten del agujero negro central y viajan hasta distancias muy superiores al tamaño de la galaxia que actúa como anfitriona. Las observaciones radiointerferométricas nos han permitido observar con gran detalle (resoluciones lineales de parsec) los chorros de las galaxias activas, mostrando la existencia de regiones de emisión que se movían a velocidades aparentes mayores que las de la luz (conocidas como componentes superluminares) y de regiones de emisión estacionarias (componentes estacionarias). Nuestras observaciones nos han permitido caracterizar la magnitud y orientación de los campos magneticos presentes en los chorros relativistas. Gracias a observaciones multi-época y multi-frecuencia hemos obtenido la primera "película" de un chorro relativista y la primera evidencia observacional de la existencia de nubes de gas ionizado entre el chorro y el observador.

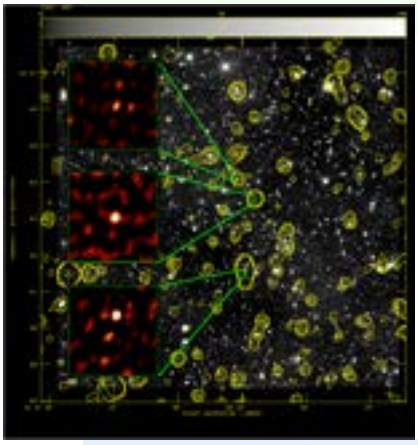


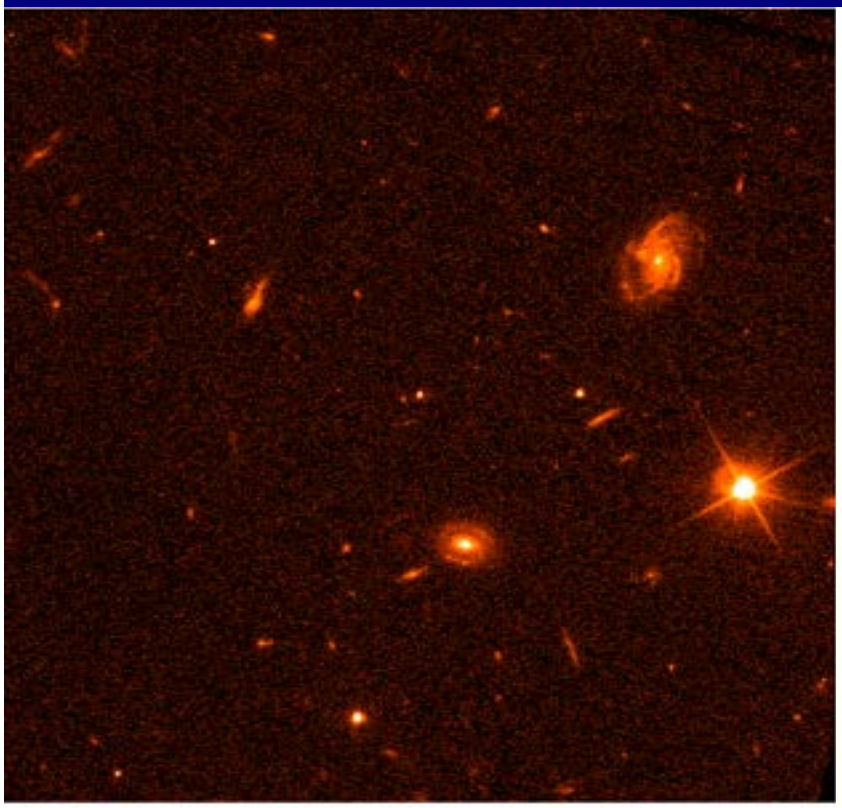
Imagen del HDF Norte realizado con el interferómetro EVN (*European VLBI Network*). Se detectaron 3 radiofuentes. La antena DSS63 (70 metros) del complejo de NASA-INTA en Robledo de Chavela fue esencial en las observaciones.

Asimismo, disponemos del modelo teórico-numérico más detallado de la emisión de los chorros. Nuestros modelos han demostrado que la generación y evolución temporal de ondas de choque en el plasma relativista, se traduce en las imágenes en la eyección de componentes superluminares acompañadas por un aumento brusco en la radio emisión a múltiples frecuencias. Todo ello en concordancia con lo observado usualmente en los chorros de AGNs, afianzando el modelo de choques relativistas como responsable de los movimientos superluminares.

En el grupo de radioastronomía del LAEFF han trabajado Antxon Alberdi, Itziar de Gregorio, Cristina García-Miró, José Francisco Gómez, Elena Jiménez y Antonio Rius.

Explosiones cósmicas de rayos gamma vistas desde el LAEFF

DÉCIMO ANIVERSARIO



La galaxia supercompacta (centro) donde se produjo la intensísima explosión de rayos gamma del 8 de diciembre de 1999, observada por nuestro grupo mediante el telescopio espacial Hubble.

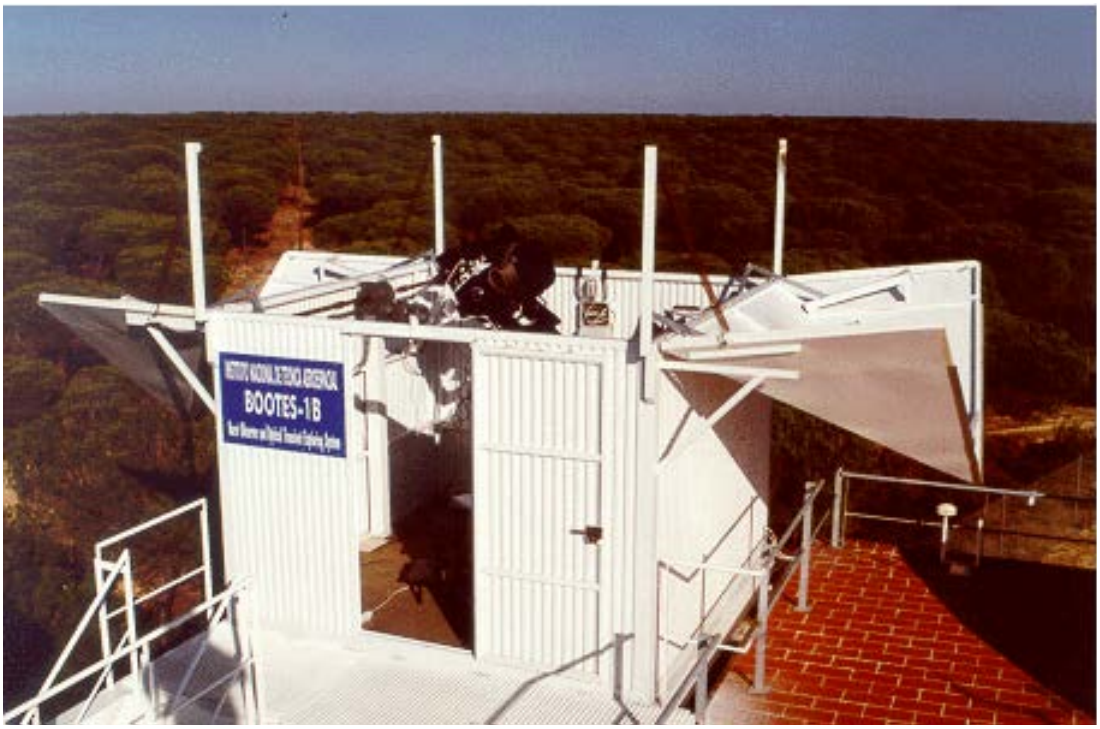
Las explosiones en rayos gamma (GRBs) son uno de los enigmas más importantes que tiene planteada en la actualidad la astrofísica de altas energías.

Con objeto de identificar las contrapartidas y estudiar la física subyacente, hemos continuado el trabajo emprendido por uno de nosotros en 1990, por lo que en el LAEFF durante estos diez años se ha extendido la búsqueda a otras longitudes de onda, en particular en las bandas X con el satélite Beppo-SAX, óptico (diversos telescopios terrestres y HST), IR (diversos telescopios en tierra e ISO), y radio (Veleta, Bure y Robledo de Chavela). Los resultados más importantes se han obtenido a partir de 1997, con el descubrimiento de las primeras contrapartidas en energías inferiores a 1 keV.

En total, hemos descubierto tres contrapartidas ópticas (GRB 980703, GRB 991208 y GRB 000926) amén de haber determinado el corrimiento al rojo para GRB 990123 y 991208) confirmando el origen cosmológico del fenómeno y mostrando que la emisión óptica (el llamado "afterglow" o resplandor) está en muchos casos confinado a un chorro muy colimado, con un ángulo inferior a 10 grados. Otra serie de resultados determinados a través de estas observaciones multirrango han puesto de manifiesto que los GRBs pueden estar relacionados con regiones densas, y posiblemente, de formación estelar, lo que apoyaría el origen como el colapso de estrellas supermasivas que ocurrirían, en promedio, una vez cada 10^7 años en cada galaxia.

La detección de un GRB a un corrimiento al rojo de z=4.5, hace de estos los eventos más energéticos del Universo. Además se cree que los GRBs pueden trazar la formación estelar en los primeros episodios del Universo.

En relación a la búsqueda de emisión simultánea a la emisión gamma en GRBs, el INTA ha desarrollado un conjunto de instrumentos que con el nombre genérico de experimento BOOTES (*"Burst Observer and Optical Transient Exploring System"*) se ha instalado en el Centro de



La estación robotizada de observación BOOTES-1B en el Centro de Experimentación de El Arenosillo, albergando un espectrógrafo de campo amplio acoplado a un telescopio reflector de 30cm, así como un conjunto de cámaras CCD con objetivos de gran angular para observar sistemáticamente extensas regiones de cielo.

Experimentación de El Arenosillo (INTA-CEDEA). Las observaciones se iniciaron en julio de 1998 y hasta la fecha han permitido estudiar 40 zonas de error de GRBs entre unos pocos segundos y 260 minutos después de recibirse la correspondiente alerta por satélite. Se ha impuesto un límite entre I=4 y R=17 para cualquier contrapartida de estos GRBs.

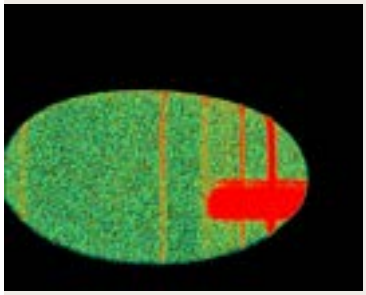
Actualmente, se está muy próximo a la total automatización del sistema, de modo que los tiempos de respuesta a alertas GRBs se reduzcan a 5-10 s, algo muy importante de cara a futuras misiones como INTEGRAL y SWIFT. La segunda estación (BOOTES-2) se encuentra en la estación experimental de La Mayora (Málaga) y está en funcionamiento desde mayo de 2001. Este proyecto se desarrolla en colaboración con el Instituto Astronómico de la Academia Checa de Ciencias y la Universidad Técnica de Praga y es asimismo de utilidad para el desarrollo del software que se va a emplear en el análisis de los datos del instrumento OMC del satélite INTEGRAL.

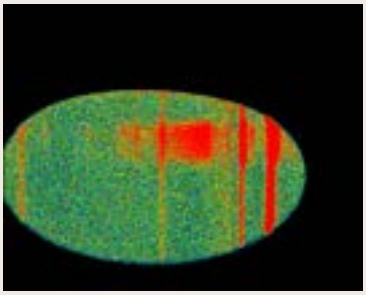
Han trabajado en este campo: Alberto J. Castro Tirado y Javier Gorosabel Urkía.

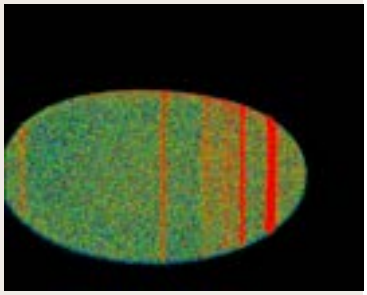
EURD a bordo del MINISAT-01

DÉCIMO ANIVERSARIO

Durante estos diez años, científicos del LAEFF han colaborado activamente en todas las etapas del proyecto MINISAT, desde sus comienzos en el año 1991, pasando por las pruebas de funcionamiento en tierra antes de su lanzamiento, y sobre todo en las operaciones, el análisis y la reducción de datos del EURD, uno de los tres instrumentos embarcados a bordo. Enumeramos a continuación los resultados científicos obtenidos.







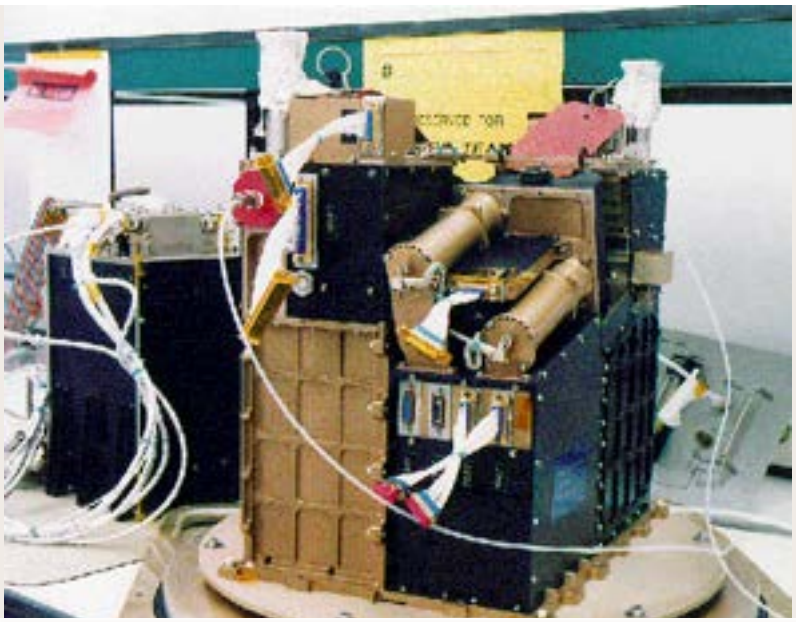
De izquierda a derecha, imagen espectral obtenida por EURD un día con una estrella (Spica), un día de luna llena y un día sin luna ni estrellas, respectivamente.

MEDIO INTERESTELAR

Con la alta sensibilidad y largos tiempos de exposición conseguidos con EURD, hemos establecido un nuevo límite superior a la emisión del medio interestelar local. Se esperaba que el contribuyente más intenso a la radiación difusa de fondo en el ultravioleta lejano y extremo fuera una fuerte emisión de la fase caliente del medio interestelar, aparte de la emisión de la alta atmósfera. El límite superior establecido por EURD (200 fotones s^{-1} cm^{-2} sr^{-1}) supone una mejora de uno a dos órdenes de magnitud en intensidad respecto a medidas anteriores, y de un factor cinco en resolución espectral. También se han establecido nuevos límites superiores a la emisión de la línea interestelar de O VI (1032-1038 Å) en ~1800 fotones s^{-1} cm^{-2} sr^{-1} que son un factor tres más bajos que los límites anteriores. Estos límites superiores son incompatibles con los modelos existentes del medio interestelar y hacen necesaria una seria revisión de la teoría.

EMISIÓN DE LA ATMÓSFERA

La emisión de la atmósfera residual por encima de la órbita de MINISAT (570 Km) es detectada por nuestros espectrógrafos y aunque nos enmascara la emisión del medio interestelar en algunas regiones, ha producido resultados de una calidad sin precedentes. Después de cuatro años de observación hemos conseguido el atlas más detallado de la emisión nocturna de la alta atmósfera. Hemos detectado las líneas de emisión de los componentes mayoritarios de la alta atmósfera a esa altura (hidrógeno, helio y oxígeno), algunas de ellas no observadas. Por primera vez disponemos de registros de variabilidad de estas líneas. Nuestras observaciones, centradas en la zona de eclipse, nos permiten además ver la variabilidad de la intensidad de las líneas producidas por la iluminación del Sol a la entrada y a la salida del eclipse.



El espectrógrafo EURD en el área limpia del INTA antes de su integración en MINISAT-01

NEUTRINOS

Otra teoría que ha sido desmentida con nuestras observaciones es la propuesta por Sciama para la emisión procedente de la desintegración de los neutrinos que supuestamente podrían constituir la materia oscura en nuestra Galaxia. Los cálculos de Sciama predecían una línea de emisión con una intensidad fácilmente alcanzable con las observaciones de EURD después de dos años de integración. Tampoco se ha detectado dicha línea y nuestra sensibilidad ahora es suficiente para obligar a una revisión de su teoría.

LA LUNA

Nuestras observaciones en el plano de la eclíptica y en dirección antisol nos propocionan el espectro de la Luna llena cada mes. Con ayuda de estas observaciones se ha realizado la calibración en longitud de onda y la calibración en flujo de los fotones detectados por EURD. Los espectros de la luna llena a lo largo de estos cuatro años de observación nos van a permitir el estudio de las variaciones de intensidad de la Luna con relación al ciclo de actividad solar del que acabamos de pasar el máximo, así como la determinación del albedo de la Luna en el extremo y lejano ultravioleta.

ESPECTROS ESTELARES

Aunque el espectrógrafo estaba especialmente diseñado para la detección de la radiación difusa y no se esperaba poder detectar fuentes puntuales, ha sido una grata sorpresa poder contar con espectros estelares en este rango de longitudes de onda tan poco conocido. Miembros del equipo EURD en el LAEFF han desarrollado programas especiales de reducción de datos con los que ha sido posible la obtención de espectros de muy buena calidad de una docena de estrellas calientes. La región del ultravioleta extremo y lejano es una zona muy poco estudiada debido a la dificultad de construcción y calibración de los detectores.

Existían muy pocos espectros estelares antes del lanzamiento del EURD y su calibración absoluta no era fiable. De la comparación de nuestros espectros con modelos teóricos de atmósferas estelares se ha comprobado la validez de la calibración en flujo realizada con la Luna, al mismo tiempo que la validez de los modelos teóricos para reproducir la distribución espectral de energía de las estrellas calientes de tipo espectral B. En este sentido hemos detectado un exceso de flujo del 10 al 40% respecto a los modelos, sobre todo en la región espectral entre Lyman α y Lyman β.

En EURD han participado José Francisco Gómez, Carmen Morales, Verónica Orozco y Joaquín Trapero.

Centro de Operaciones Científicas de MINISAT 01

DÉCIMO ANIVERSARIO

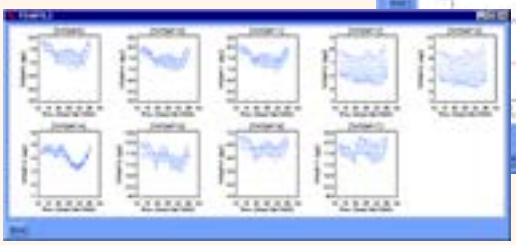
El 21 de abril de 1997, se ponía en órbita el satélite Minisat-01 con tres instrumentos científicos a bordo: un espectrógrafo para el estudio de la radiación difusa en el extremo ultravioleta (EURD), un detector de rayos gamma de baja energía (LEGRI) y un experimento para el estudio del comportamiento de puentes líquidos en condiciones de microgravedad (CPLM). Este hecho constituía un hito relevante para la ciencia y la tecnología española, ya que era el primer satélite diseñado, construido, lanzado y operado desde territorio español. Con él, España entraba en la carrera espacial.

Más de un año antes, en enero de 1996, se había instalado en el Laboratorio el grupo de trabajo que se encargaría de las operaciones científicas del satélite. Este grupo tendría algo más de un año para la puesta a punto de la infraestructura y las herramientas adecuadas para asegurar que, una vez el satélite estuviera en órbita, se pudieran cumplir todas las funciones y tareas necesarias para el adecuado aprovechamiento de los datos científicos producidos durante su vida útil.

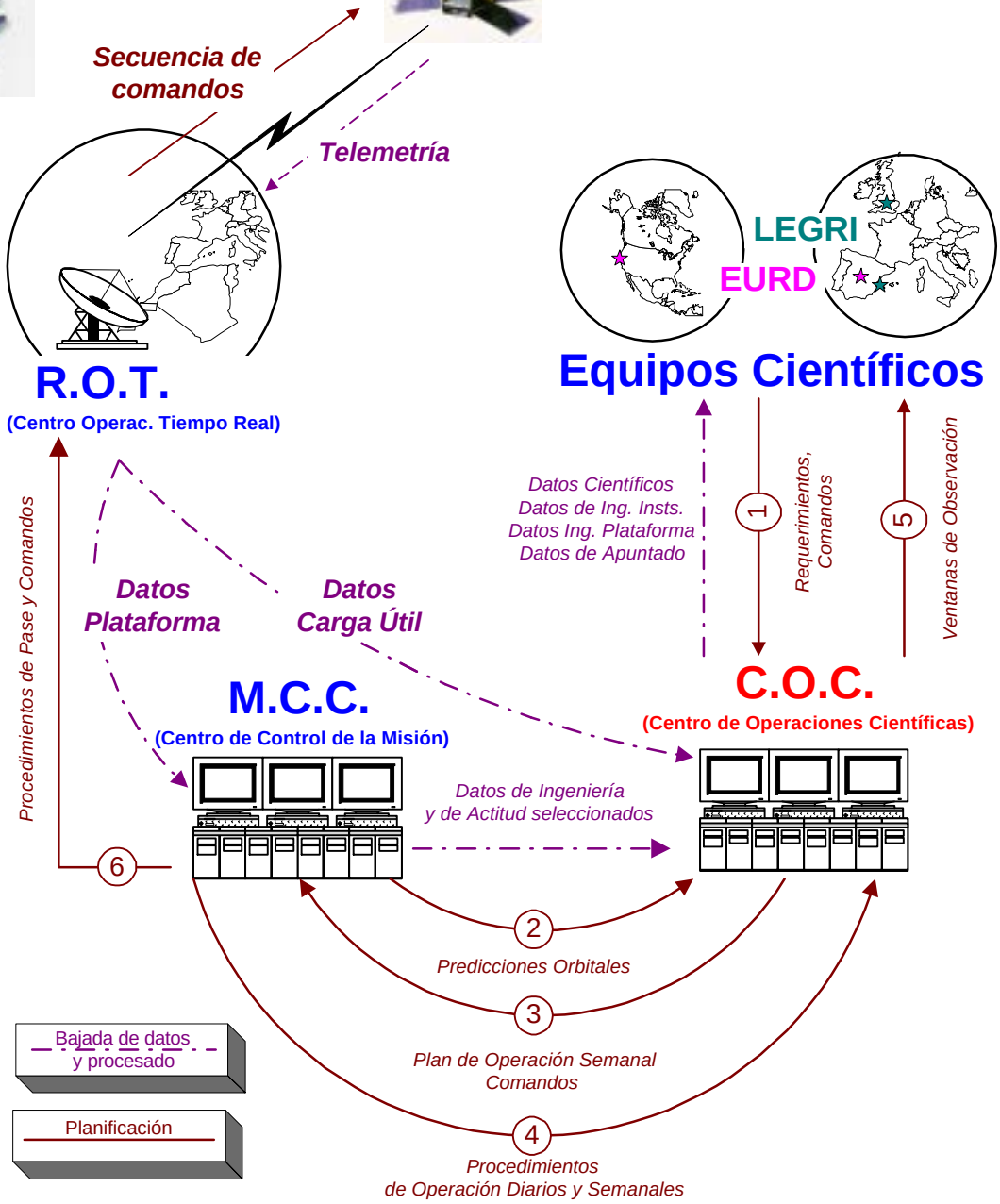
Pero, ¿qué tareas y funciones desempeña un Centro de Operaciones Científicas (COC)? La respuesta no es otra que servir de vínculo entre el Centro de Control de la Misión (MCC), y los equipos científicos que explotan los datos producidos por los instrumentos, es decir, entre tecnología y ciencia. Para ello, deberá entender qué objetivos persiguen los equipos científicos, y asegurarse de que se den los pasos adecuados para que se consigan, dentro de las limitaciones que la misión pueda imponer, tanto desde el punto de vista del propio satélite como desde el punto de vista operacional.

Si nos centramos en el caso concreto del COC de Minisat-01, el diagrama adjunto nos va a mostrar en qué consiste, a grandes rasgos, la operación científica del satélite. Simplificando, podríamos decir que los instrumentos científicos van a recibir una serie de instrucciones en instantes de tiempo determinados para realizar ciertos experimentos ("observaciones" si los instrumentos son de tipo astrofísico), y una vez concluidos nos van a proporcionar los datos correspondientes.

Durante los cuatro años de misión el esquema de operación ha sido habitualmente el mismo. Semanalmente, contando con los requisitos de los equipos científicos y las predicciones orbitales proporcionadas por el equipo de dinámica de vuelo, el COC prepara un "Plan de Operaciones" y todas las instrucciones, o más apropiadamente, "comandos" que los instrumentos necesitan para realizar sus observaciones. Plan y comandos son posteriormente transferidos al MCC que, tras verificarlos y procesarlos, los enviará al Centro de



Herramientas de supervisión de los instrumentos científicos.


Secuencia de comandos
Telemetría
R.O.T.
(Centro Operac. Tiempo Real)
LEGRI
EURD
Equipos Científicos
Datos Científicos
Datos de Ing. Insts.
Datos Ing. Plataforma
Datos de Apuntado
1
Requerimientos, Comandos
5
Ventanas de Observación
Procedimientos de Pase y Comandos
Datos Plataforma
Datos Carga Útil
M.C.C.
(Centro de Control de la Misión)
C.O.C.
(Centro de Operaciones Científicas)
Datos de Ingeniería y de Actitud seleccionados
6
2
Predicciones Orbitales
3
Plan de Operación Semanal Comandos
4
Procedimientos de Operación Diarios y Semanales
Bajada de datos y procesado
Planificación

Operaciones en Tiempo Real (ROT), situado en Maspalomas (Gran Canaria). Será el ROT en última instancia el encargado de transmitirlos al ordenador de a bordo.

Tras ejecutar esos comandos y realizados los experimentos planificados, EURD, LEGRI y CPLM van transfiriendo sus datos al ordenador de a bordo, quien los almacenará a la espera de un contacto con el ROT en el que volcarlos a tierra. Dichos datos, unos 90 Mb diarios, serán posteriormente transferidos directamente al COC a través del enlace dedicado que une ambos centros. Junto con los datos de los instrumentos científicos, también son volcados a tierra y posteriormente transmitidos al MCC los parámetros de ingeniería y apuntado del propio satélite; el MCC extraerá los que sean relevantes para el COC y se los entregará del mismo modo.

El Centro de Operaciones Científicas es el vínculo entre el Centro de Control de la Misión, y los equipos científicos; entre tecnología y ciencia

En cuanto los datos son recibidos por los sistemas del COC, un complejo mecanismo de procesado se pone en marcha, teniendo como etapa final la supervisión manual de los resultados por parte de un operador. Para ello se servirá de herramientas como las que aparecen en la figura, con las que podrá comprobar el estado de cada uno de los instrumentos: temperaturas, corrientes, voltajes, ejecución de comandos, etc. Si todo está normal, procederá a distribuir los productos generados a los equipos científicos; si no, tendrá que tomar las medidas necesarias para asegurar la integridad de los instrumentos científicos.

En un período tan largo de misión, más del doble para el que el satélite fue diseñado, es fácil sospechar que han surgido diversas contingencias que ha habido que ir solucionando con mayor o menor premura, muchas de ellas relacionadas con la degradación de algunos subsistemas debido a las duras condiciones térmicas y de intensa radiación a las que se ven sometidos en el espacio. Afortunadamente, esto estaba previsto en la fase de diseño, por lo que casi todos los subsistemas de a bordo se encuentran duplicados, siendo habitualmente suficiente con recurrir al subsistema redundante para solucionar el problema.

Pero no siempre ha sido tan "sencillo"; en ocasiones ha habido que aguzar el ingenio para conseguir resolver situaciones más complicadas, haciendo trabajar juntos a los distintos grupos para conseguir la mejor solución posible. La consecuencia directa ha sido la acumulación por parte de los mismos de una enorme experiencia aplicable a misiones venideras.

En cuanto los datos son recibidos por los sistemas del COC, un complejo mecanismo de procesado se pone en marcha. Los resultados serán supervisados manualmente por un operador

Aún no sabemos con certeza qué tiempo de vida le quedará a nuestro "intrépido" Minisat-01. Lo que sí sabemos es que hasta el momento ha conseguido proveer a la comunidad científica de una gran cantidad de datos de incalculable valor, y que en esto el COC ha desempeñado un papel clave. Confiamos en que durante el resto de la misión, e incluso una vez acabada la misma, la experiencia obtenida revierta en la puesta en marcha de nuevas misiones con las que se puedan seguir desvelando algunos de los más interesantes misterios del Universo.

En el COC han participado Eduardo Fernandes, Jesús García, Celia Sánchez y Antonio Talavera.

DÉCIMO ANIVERSARIO

El Universo es como un imán

La manera en la que las galaxias se distribuyen a las escalas de distancia más grandes observables en el Universo está determinada empíricamente y dada cuantitativamente por medio de la llamada función de correlación. Esta función desempeña un papel muy importante en la Cosmología porque proporciona una medida de cómo el Universo se auto-organiza.

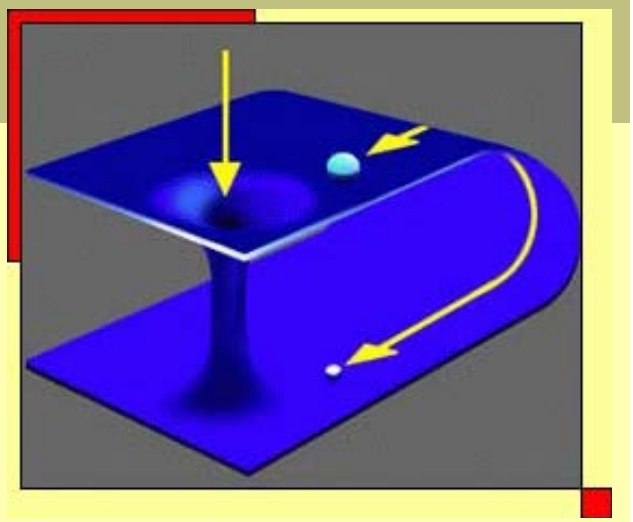
En 1996, nuestros investigadores Juan Pérez-Mercader y David Hochberg demostraron que las galaxias se comportan como un sistema físico que experimenta una transición de fase. Algo que ocurre cuando, por ejemplo, el agua cambia de estado o cuando un imán deja de atraer porque se calienta. Con este trabajo, se resuelve uno de los enigmas que tiene planteada la Cosmología actual:

"¿A qué se debe que las galaxias se agrupen como fractales?"

Este trabajo "Gravitational Critical Phenomena in the Realm of the Galaxies and Ising Magnets", fue galardonado con el prestigioso premio de la Gravity Research Foundation (EE.UU).

Agujeros de gusano

Un agujero de gusano es un "asa" o una conexión entre dos regiones lejanas del espacio-tiempo dentro del mismo universo, o bien un túnel que interconecta dos universos distintos. A partir de 1916 comenzó a haber interés en estas configuraciones, justo un año después de que el mismo Einstein presentara la versión final de su teoría general de la relatividad.

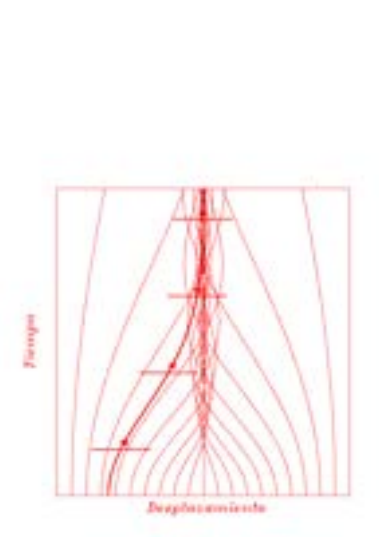


Dos bocas conectando distintas regiones de un mismo universo. El paso por el agujero de gusano reducirá el tiempo de viaje.

Hay argumentos que afirman que deberían existir agujeros de gusano, por lo menos a la escala de Planck (a unos 10^{-33} cm de longitud). En 1996, David Hochberg y dos colaboradores rusos, A. Popov y S. Sushkov, obtuvieron la primera solución auto-consistente de las ecuaciones semi-clásicas de Einstein representando un agujero de gusano del tamaño de la escala de Planck. Este resultado es importante, porque establece la existencia de agujeros de gusano microscópicos como verdaderas soluciones de la relatividad general semi-clásica y complementa el concepto de la espuma espacio-temporal de Wheeler, que sirve a su vez como paradigma para describir la naturaleza cuántica del espacio-tiempo.

Descripción analítica de la formación de estructuras cosmológicas

La mejor teoría hasta la fecha para la formación de estructuras cosmológicas (como las observadas en los catálogos de galaxias: grandes agujeros, filamentos ...) es el crecimiento de inhomogeneidades, inicialmente ínfimas, por inestabilidad gravitatoria. La descripción analítica de esta inestabilidad es un problema difícil cuando las inhomogeneidades se hacen demasiado grandes (régimen no lineal). En el LAEFF se ha investigado la generalización de la formulación hidrodinámica que permita ir más allá del popular modelo de polvo y así tener en cuenta la irregularidad notable en la distribución de materia debida a la formación de estructuras compactas virializadas (cúmulos de partículas). Partiendo de los campos densidad de masa y velocidad suavizados sobre una escala espacial, se estudia la física del acoplo no lineal con los grados de libertad bajo esa escala (el modelo de polvo desprecia totalmente este acoplo). Un resultado de esta formulación ha sido la derivación del exitoso (pero fenomenológico) modelo de adhesión (veáse figura). También se ha investigado la aplicación del grupo de renormalización dinámico como herramienta para entender el efecto de estos acoplos no lineales.

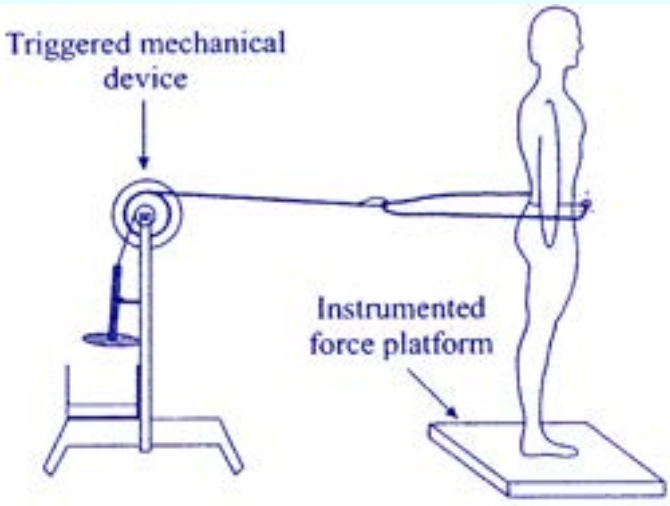


Ejemplo esquemático de las trayectorias de las partículas en el colapso gravitatorio y de una trayectoria efectiva según los campos masa y velocidad suavizados.

La física teórica aplicada a ciencias de la salud

Saber cómo el cuerpo humano se mantiene en la posicion vertical, o el control de verticalidad, es algo que interesa mucho a los servicios de sanidad en todo el mundo. La cantidad de dinero que cada año se gasta en el tratamiento por caídas de personas mayores podría ahorrarse. También el mantenimiento de la verticalidad es un problema para las tripulaciones de vuelos espaciales y para la gente que controla o manejan maquinaria delicada o peligrosa.

Resulta que el cuerpo de una persona que está de pie no está realmente estacionario sino que efectúa pequeños movimientos o fluctuaciones continuamente hacia delante y hacia atrás, del orden de milímetros con respeto a la posición perfectamente vertical. El equili-



brio se ve afectado también por el proceso de envejecimiento, y enfermedades como la de Parkinson.

Estas fluctuaciones (de personas sanas) se han medido con gran precisión y se ha propuesto un sencillo modelo matemático para describir estos movimientos a lo largo del cuerpo humano. Nuestros investigadores Francisco Alonso y David Hochberg han adaptado este modelo (original de Chow y Collins) y han conseguido que su modelo así extendido, sea capaz de incluir el fenómeno de caidas, cosa que no era posible en el modelo original de Chow y Collins. Utilizando métodos prestados por la física de la materia condensada, se ha podido identificar una especie de "espacio de fases" en el cual se diferencian gráficamente el comportamiento normal y el comportamiento que conduce a una caida.

Censura Cósmica

Una de las predicciones más sorprendentes de la Relatividad General de Einstein es la existencia de singularidades, puntos del espacio en los que la curvatura (la gravedad) se hace infinita. En 1969 Roger Penrose conjeturó que las singularidades están siempre aisladas en el interior de los agujeros negros, de forma que el resto del Universo se encuentra a salvo de su influencia. No ha sido posible demostrar esta "Conjetura de Censura Cósmica" y Stephen Hawking la ha calificado como la cuestión abierta más importante en Relatividad General.

En 1993, Mathew Choptuik descubrió en sus simulaciones numéricas de colapso gravitatorio en simetría esférica que, bajo ciertas condiciones especiales, es posible formar singularidades desnudas (que no están aisladas en el interior de un agujero negro), lo cual supuso el primer gran contraejemplo a la Censura Cósmica. La conjetura original de Penrose ha sido ahora modificada para excluir este caso, y la nueva versión sigue en espera de una prueba formal.

La singularidad de Choptuik ha sido analizada en gran detalle en el LAEFF durante los años 1994-1999. Hemos estudiado cuáles son sus propiedades y hemos mostrado que es posible obtenerla no sólo en el colapso esférico, sino también en el colapso más general, es decir, aquél en el que es posible producir agujeros negros con masa, carga eléctrica y momento angular.

El satélite LAGEOS

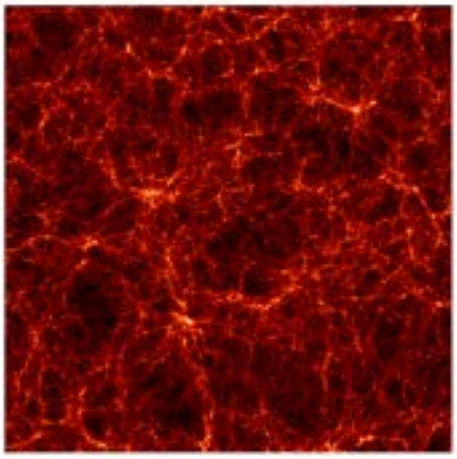
Estudiar con precisión aspectos tales de la geodinámica terrestre como la caracterización del campo gravitatorio, la deriva continental, la duración del día o las oscilaciones del eje de la Tierra fueron los objetivos que llevaron a la NASA a lanzar el satélite LAGEOS I en 1976. Dieciseis años después, en colaboración con la ASI (Agenzia Spaziale Italiana), la NASA lanzó LAGEOS II en una órbita optimizada para el estudio de áreas de elevada sismicidad. ¿Qué tiene esto que ver con la Física Fundamental desarrollada en el LAEFF? Las órbitas de estos satélites son conocidas con tal precisión que una vez determinadas las variables que influyen en ellas es posible extraer conclusiones sobre efectos debidos a la Relatividad General. Como observó I.

Ciuffolini, sería posible detectar, mediante el estudio de los residuos de las órbitas de LAGEOS I y II no explicables por razones geofísicas, la existencia del efecto de Lense-Thirring (conocido tambien como gravitomagnetismo) predicho por dicha teoría para el campo gravitatorio producido por un objeto en rotación. En 1998, y tras un minucioso estudio de las órbitas de estos satélites en el que participaron nuestros investigadores J. Pérez Mercader y Eduardo Fernandes Viera (*Science* 27/marzo/98) se detectó este efecto por primera vez y se comprobó que, dentro del error experimental, coincide con el predicho por la teoría. Esto ha marcado un hito en el estudio experimental de la Relatividad General cuya validez queda reforzada por este resultado. En el futuro se espera poder mejorar la precisión de las medidas de este efecto. ¿Veremos un LAGEOS III?

Teoría de los fenómenos críticos

Nuestro trabajo en el LAEFF fue la utilización de ideas y técnicas de la teoría de fenómenos críticos en problemas astrofísicos, en concreto, en el problema de la estructura de la distribución de galaxias. Juan Pérez Mercader y David Hochberg en el LAEFF, en colaboración con otros investigadores, adaptaron un modelo de gas en el retículo isomorfo al modelo de Ising de magnetismo (el arquetipo de fenómenos críticos) a la distribución de galaxias. Sin embargo, aunque la función de correlación es una ley de potencias en ambos casos, el exponente observado en la distribución de galaxias no se ajusta al predicho por el modelo de gas.

Una posible solución, ensayada por ellos, es tener en cuenta la dinámica y considerar así fenómenos críticos dinámicos. Posteriormente, José Gaite, Alvaro Domínguez y Juan Pérez Mercader emprendieron un detallado estudio conceptual de las bases del estudio de la distribución de galaxias mediante los métodos de la física estadística. Llegaron a la conclusión de que las estructuras fractales producidas por colapso gravitatorio (como la de la figura) muestran fluctuaciones mucho mayores que los fluidos críticos y el concepto de homogeneidad es diferente en ambos casos.



Fractal obtenido mediante simulación del colapso de materia en cosmología.

En el grupo de investigación de Física Fundamental han trabajado: Francisco Alonso, Fernando Barbero, Mar Bastero, Álvaro Domínguez, Eduardo Fernandes, José Gaite, Carsten Gundlach, David Hochberg, José M. Martín, Juan Pérez-Mercader y Carlos Rodrigo.

Dossier

La expulsión de una burbuja esférica por una estrella joven

José Francisco Gómez

Cefeo A es una región de formación estelar muy activa. Situada a unos 2000 años luz, concentra prácticamente todos los fenómenos que, según los paradigmas actuales, acompañan a la formación de las estrellas. Así, se observan fuentes de continuo, que pueden representar nuevas estrellas, chorros colimados en escalas circunestelares (~100 UA), flujos moleculares hasta escalas interestelares (~0.1 pc), gas denso, emisión máser de diferentes moléculas, e incluso posibles discos protoplanetarios, que podrían dar origen a nuevos planetas. La confluencia de todos estos fenómenos en una zona delimitada hace de Cefeo A un laboratorio ideal para estudiar la interacción mutua entre ellos, y las condiciones físicas en las que se producen.

Desde hace varios años, nuestro grupo viene realizando observaciones en ondas de radio de esta región de formación estelar, cubriendo tanto la emisión de continuo como diferentes transiciones moleculares. En estos estudios hemos usado varios radiotelecopios, con resoluciones angulares que van desde 90 segundos de arco hasta 0.5 milisegundos, lo que nos permite estudiar fenómenos en escalas muy diferentes.

El objeto que últimamente había concentrado nuestro interés es HW2. Se trata una estrella en formación, de unas 20 masas solares, situada en el centro de un flujo molecular. Observando su emisión en continuo de radio con el Very Large Array (VLA), comprobamos que tanto su morfología alargada como su índice espectral eran compatibles con la presencia de un chorro colimado de geometría bicónica, es decir, dos conos opuestos conectados por sus vértices. En esta zona de conexión estaría situada la estrella. Esta hipótesis sobre la geometría bicónica permitía hacer una predicción comprobable: si se observa con suficiente resolución angular, la emisión de continuo del chorro debe mostrar dos máximos, uno a cada lado de la estrella, cuya separación disminuiría al aumentar la frecuencia.

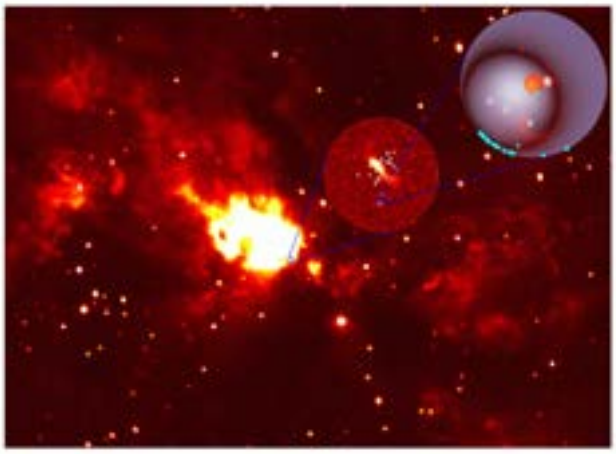


Imagen en infrarrojo de la región de formación estelar de Cefeo (autor: Klaus-Werner Hodapp). La primera ampliación (en el centro) muestra la fuente HW2. Obsérvese la estructura brillante, que representa el chorro colimado. Las cruces representan los máseres de agua detectados con el VLA, que posiblemente tracen un disco protoplanetario. La segunda ampliación (esquina superior derecha) muestra el lugar donde se encuentra la estrella joven que parece haber expulsado una burbuja esférica de gas. La geometría esférica se ha podido determinar mediante la emisión máser de agua, medida con el VLBA (puntos azules). La burbuja se encuentra en expansión, después de haber alcanzado ya un tamaño similar al de nuestro Sistema Solar.

Efectivamente, las observaciones de VLA en 2 cm muestran la presencia de estos dos máximos predichos. Pero para ver la variación de su separación con la frecuencia, se requerían observaciones en 1.3 cm (22 GHz) en la configuración más extendida del VLA, que proporciona una resolución en torno a 0.1". Este tipo de observaciones son arriesgadas, ya que las fluctuaciones atmosféricas pueden emborronar la imagen resultante, lo que impediría la detección de la fuente. Sin embargo, utilizamos con éxito una novedosa técnica, consistente en utilizar la emisión intensa máser de agua en torno a HW2 como estándar para corregir los errores introducidos por la atmósfera. Utilizando estas correcciones, pudimos confirmar el desplazamiento esperado de los dos máximos de continuo en el supuesto chorro bicónico.

Además, los máseres utilizados como estándares de calibración, resultaron muy interesantes en sí mismos. Al representar sus posiciones en torno a HW2, se vio que se distribuían como una estructura alargada, perpendicular al chorro. Esto sugería que la emisión máser de agua procede de un disco protoplanetario. Esta hipótesis se veía confirmada además por la distinta distribución de las velocidades doppler de los máseres, con una zona predominantemente desplazada al rojo, y la otra al azul, consistente con movimientos de rotación en torno a la estrella.

La confirmación definitiva de que estos máseres trazasen un disco protoplanetario debía provenir de estudios de movimientos propios. Sólo la interferometría de muy larga base proporciona la resolución angular necesaria para poder detectar movimientos propios del orden de unos pocos km/s en tiempos razonablemente cortos. Así, propusimos realizar tres observaciones con el *Very Large Baseline Array* (VLBA) espaciadas un mes entre sí, para observar cómo los máseres de agua se desplazan en el plano del cielo. El VLBA tiene una resolución angular de 0.5 milisegundos, lo que supodría poder distinguir en Cefeo A estructuras con un tamaño igual al del radio de la órbita de Mercurio. O en términos más prosaicos, sería como distinguir el canto de un duro en Moscú, visto desde Madrid.

El resultado de los movimientos propios de los máseres en el disco nos reveló un panorama complejo, que llevaría más espacio explicar. De todas formas, el resultado más espectacular no estaba relacionado con HW2 y su disco protoplanetario. A unas 350 unidades astronómicas al sur, detectamos una estructura en forma de arco, compuesta por máseres individuales. Lo más sorprendente es la simetría de esta estructura, ya que se ajusta a un arco de circunferencia de forma casi perfecto (el error es del orden de un 0.1%). El radio de dicha circunferencia sería de 62 UA y en su centro no se conocía previamente ninguna estrella. Comparando nuestras tres observaciones sucesivas, se deduce que la circunferencia se expande a una velocidad de unos 10 km/s. Todo parece apuntar a que una estrella joven en esta región está expulsando una burbuja esférica de material. El choque contra la nube molecular produce la emisión máser. Estudiando datos de archivo del VLA, se detecta una débil emisión de continuo de una estrella en el centro del círculo. Si extrapolamos, teniendo en cuenta el tamaño y velocidad actuales, la burbuja tendría unos 33 años, un tiempo muy corto comparado con las escalas temporales que normalmente se manejan en Astronomía.

Desde hace tiempo se sabe que las estrellas en formación expulsan materia a velocidades supersónicas. De hecho, esta expulsión parece ser un requisito indispensable para que la estrella continúe capturando material de su disco, y aumente de masa. Sin embargo, las teorías y observaciones de formación estelar indican que la pérdida de material es anisótropa, en forma de chorros bipolares colimados, como bien vimos en el caso de HW2. Por tanto, una eyección esférica es todo un reto para las teorías actuales sobre la formación estelar. La forma en la que las estrellas pierden masa puede producir también un fuerte impacto sobre la formación de nuevos planetas, puesto que si se produce con geometría esférica, puede afectar directamente al disco protoplanetario. En cambio, un chorro colimado perpendicular al disco tendría un efecto más limitado sobre éste.

Sólo el tiempo y más observaciones nos dirán si este fenómeno es habitual en una fase temprana de la vida de las estrellas. Nuestros planes inmediatos consisten en seguir la evolución de esta burbuja recién descubierta. Cinco años después de las observaciones de VLBA que nos permitieron este descubrimiento, haremos nuevas observaciones de movimientos propios de máseres con el mismo interferómetro. Dada la corta vida de la burbuja, no podemos descartar nuevas sorpresas en esta singular estrella.

Este estudio ha sido posible gracias a una colaboración internacional coordinada por José María Torrelles (del Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, CSIC), en la que también participan el autor de este artículo (investigador del LAEFF), Guillem Anglada (Instituto de Astrofísica de Andalucía), Nimesh Patel, Paul Ho y Lincoln Greenhill (Harvard-Smithsonian CfA), Luis Felipe Rodríguez, Salvador Curiel y Jorge Cantó (Universidad Nacional Autónoma de México) y Guido Garay (Universidad de Chile).

Charlas

Charlas celebradas en el campus de Villafranca del Castillo.

SISTEMAS PLANETARIOS EXTRASOLARES: LAS PROPIEDADES DE LAS ESTRELLAS CENTRALES

Benjamín Montesinos
LAEFF

En esta charla se dio un repaso a algunas de las propiedades físicas de las estrellas que albergan planetas exosolares. Se hizo hincapié en el hecho de que, en media, estas estrellas son más ricas en metales que estrellas de campo del mismo tipo espectral, lo que sugiere que existe una correlación entre la sobreabundancia de [Fe/H] y el hecho de haber formado un sistema planetario. Se mostraron varios modelos para explicar esta anomalía.

.

LA MEDIDA DE LA MORFOLOGÍA DE ESTRUCTURAS COSMOLÓGICAS

Álvaro Domínguez
Ludwig-Maximilians-Universitaet

Los funcionales de Minkowski cuantifican la morfología de una estructura. Son una medida matemáticamente bien definida de la impresión visual (aspecto esponjoso, filamentoso u otros). Desde hace poco se emplea esta herramienta sistemáticamente para el análisis de catálogos de galaxias y de simulaciones numéricas. En esta charla se repasaron algunos de los resultados obtenidos: (i) Las fluctuaciones en la morfología son perceptibles a las mayores escalas observadas (> 100 Mpc/h). (ii) La morfología predicha por las simulaciones padece, pues, errores de tamaño finito; dentro de este inconveniente, el modelo que mejor se ajusta a las observaciones involucra la constante cosmológica.

ASTROFÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS EN EL ROQUE DE LOS MUCHACHOS

Victoria Fonseca
Universidad Complutense

Desde finales de los ochenta, en las instalaciones del Instituto de Astrofísica de Canarias en el Roque de los Muchachos, el experimento de detección de rayos cósmicos de alta energía, HEGRA, está tomando datos de la radiación cósmica que llega a la tierra en el rango de energías de 500 GeV a 100 TeV. Entre otros resultados, se han detectado emisiones de radiación gamma muy intensas procedentes de dos objetos extragalácticos (las galaxias de nucleo activo Mrk 421 y Mrk 501) y del resto de supernova galáctica denominada "Nebulosa del Cangrejo".

En la actualidad, se está construyendo el telecopio de medida de radiación Cherenkov más grande del mundo (17 m de diámetro) denominado MAGIC, que estará operativo a finales del año 2001. Con este telescopio se abre una nueva ventana al conocimiento del Universo, al permitir medir un rango del espectro electromagnético aún sin explorar: de algunos GeV a cientos de GeV.

.

RECUBRIMIENTOS EN MULTICAPA PARA LA OBSERVACIÓN DEL UNIVERSO EN EL UV LEJANO Y EXTREMO

Juan I. Larruquert,
Instituto de Física Aplicada, CSIC

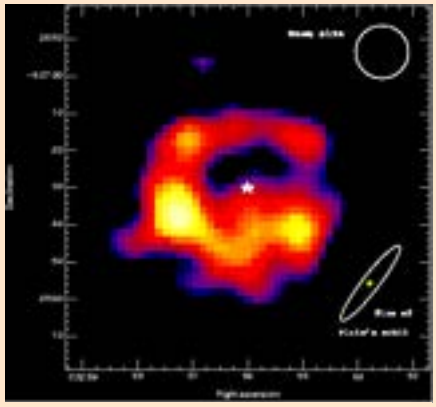
El grupo de Óptica de Metales del Instituto de Física Aplicada (CSIC) realiza su tarea de investigación en el campo de las láminas delgadas en la región espectral del UV lejano (100-200 nm, 6-12 eV) y extremo (10-100 nm, 12-120 eV), para su aplicación en ópticas para la Astrofísica y Física de la atmósfera. El grupo ha desarrollado un reflectómetro para la caracterización de láminas delgadas y multicapas antes de que se expongan a la atmósfera. Se han realizado estudios sobre materiales de alta reflectancia y sus constantes ópticas. Recientemente ha comenzado a preparar multicapas para maximizar la reflectancia en líneas espectrales tales como HI 91.2 y 121.6 nm, OII 83.4 nm y HeI 53.6 nm. Actualmente realiza diseños innovadores de multicapas con un incremento de reflectancia al utilizar más de dos materiales. Estas multicapas pueden aplicarse en el desarrollo de espejos, redes de difracción, polarizadores y filtros. Otra área de investigación del grupo es la deposición de láminas delgadas en condiciones de microgravedad. La aplicación de esta investigación es la deposición de recubrimientos en el espacio exterior tanto para la óptica como para otras áreas.

Charlas

DISCOS DE POLVO. PRESENTE, PASADO Y FUTURO.

Helen J. Walker
Rutherford Appleton Laboratory (Gran Bretaña)

Tras el descubrimiento, con el satélite IRAS, del anillo de polvo en torno a la estrella Vega, se ha progresado considerablemente en el tema de los discos de polvo. Se han realizado numerosas búsquedas de nuevos candidatos, utilizando una gran variedad de criterios, principalmente datos de IRAS como punto de partida. Las estrellas centrales se han estudiado desde diferentes aspectos, como nuevas determinaciones de distancias (con Hipparcos), de tipos espectrales, o de edades. Además, se han realizado trabajos en distintas longitudes de onda, como los discos en torno a HD98800 o HD207129. ISO ha contribuido de forma significativa en este trabajo, con observaciones de temperaturas del polvo y, en algunos casos, resolviendo espacialmente el disco. Las observaciones submilimétricas de ε Eridani marcan el camino del trabajo futuro, mediante mayores telescopios que puedan resolver la estructura de los discos e incluso indicar la presencia de planetas.



El anillo de polvo en torno a e **Eridani. Imagen tomada en 850 micras, usando el JCMT (Greaves et al,1998).**

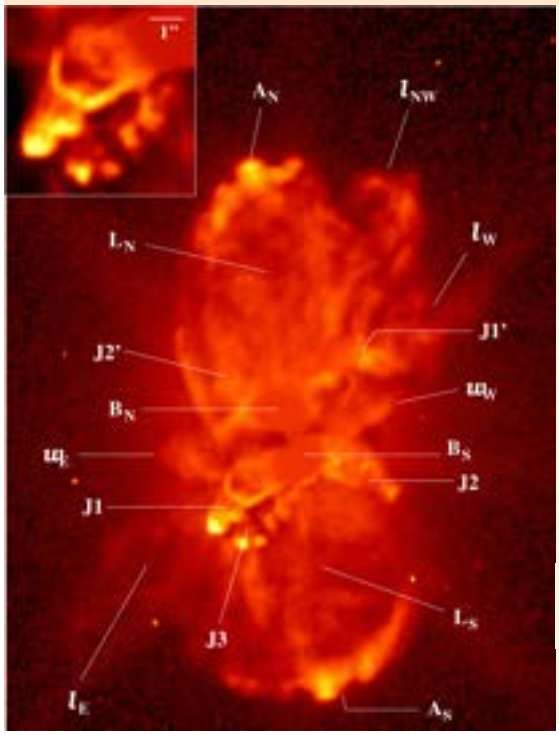


Imagen óptica de Frosty Leo tomada con HST.

FLUJOS BIPOLARES EN NEBULOSAS PROTOPLANETARIAS. EL CASO DE FROSTY LEO.

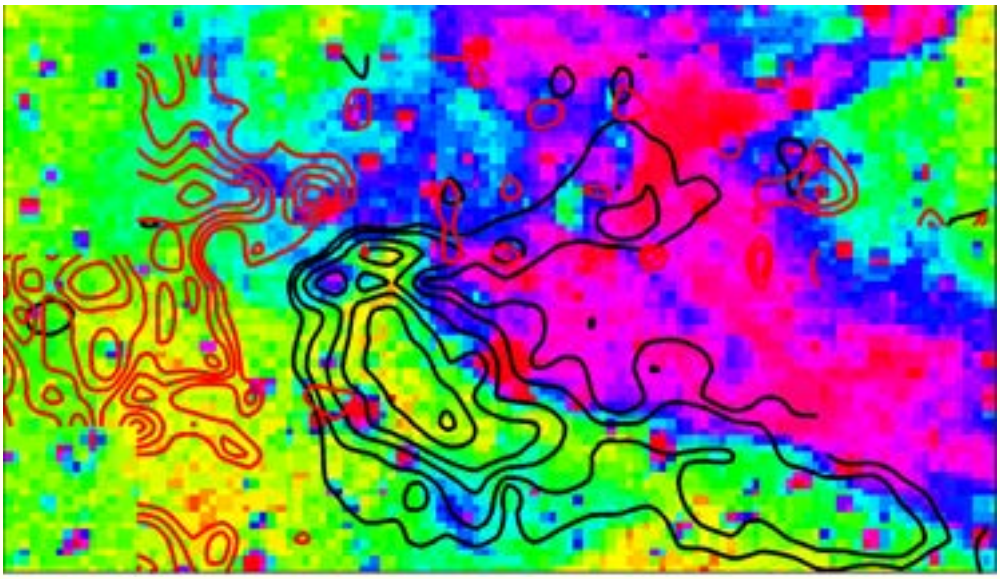
Arancha Castro-Carrizo
Observatorio Astronómico Nacional

Las protonebulosas planetarias (PPNe) son objetos en un estado evolutivo intermedio entre la rama asintótica de las gigantes (AGB) y las nebulosas planetarias (PNe). En esta transición, se produce la eyección de vientos muy rápidos y colimados, que interaccionan con la envoltura circunestelar creada en la fase AGB, dando lugar a la estructura bipolar observada en PPNe y PNe.

Las observaciones de CO muestran que el momento transportado por los flujos de PPNe es mucho mayor que el momento máximo que la radiación estelar puede suministrar. Este exceso de momento es excepcionalmente elevado para el caso de Frosty Leo.

En la imagen óptica de esta fuente resaltan estructuras con forma de chorro, así como el contorno de los lóbulos, muy brillante y fragmentado. Estas subestructuras parecen ser la consecuencia de una serie de chorros que han agujereado la región central, ópticamente opaca, permitiendo que la luz estelar escape.

Charlas



El sur de la nebulosa NGC 2359. Imagen óptica en falso color. Los contornos representan la emisión de ^{12}CO(J = 2-1) en dos velocidades diferentes, correspondientes al gas en reposo y al gas chocado por la expansión del viento estelar.

GAS MOLECULAR ALREDEDOR DE NEBULOSAS WOLF-RAYET

Ricardo Rizzo
Observatorio Astronómico Nacional

Las nebulosas WR son excelentes escenarios donde todas las etapas evolutivas estelares dejan sus huellas, y constituyen el ambiente que luego las estrellas perturbarán violentamente al explotar como supernovas. Aunque se cuenta con bastantes estudios del gas atómico neutro e ionizado en estos objetos, las observaciones de gas molecular se encuentran prácticamente en sus comienzos.

En esta charla se presentaron resultados de observaciones de ^{12}CO, ^{13}CO y NH_3 en los alrededores de tres nebulosas WR. Se ha confirmado la existencia de CO en todas ellas, en algunas regiones calentado por el campo de radiación estelar y en otras afectado por la expansión del viento estelar. En particular, NGC 2359 presenta una región donde el viento estelar de la fase WR ha chocado contra el viento más lento y denso de una fase evolutiva anterior. En esta misma región, se ha detectado la molécula de NH_3, con una abundancia algo superior a la normal en nubes frías. Esta abundancia puede explicarse si la molécula es arrancada de los granos de polvo mediante choques con velocidades como las observadas en CO (12 km/s).

EULER, HIPPARCOS Y LAS 5 ENANAS : HISTORIAS DE FORMACION ESTELAR EN EL GRUPO LOCAL

David Valls-Gabaud
CNRS, Observatoire Midi-Pyrenées, Toulouse, Francia

La calidad sin precedentes de los diagramas color-magnitud obtenidos recientemente, tanto con HST como con cámaras de gran campo, permite por primera vez la estimación de las tasas de formación estelar en poblaciones estelares próximas. El autor y su grupo han desarrollado una nueva técnica de inversión, que combina un método variacional con estimaciones de máxima verosimilitud, para obtener, de forma no paramétrica y sin ninguna hipótesis a priori, la función de evolución de la tasa de formación estelar. También aplican técnicas bayesianas para evaluar el ajuste correcto de la reconstrucción a los datos observacionales. La aplicación de esta técnica a cinco galaxias enanas esferoidales del Grupo Local demuestra una sorprendente variedad en sus historias de formación estelar, a pesar de pertenecer todas al mismo tipo morfológico. Tampoco parece haber una época privilegiada para la formación estelar en esta muestra. En el caso de estrellas en la vecindad solar, observadas por HIPPARCOS, se obtiene una serie de brotes que tienen lugar cada 500 millones de años. Estos episodios podrían deberse a la interacción de la vecindad solar con la estructura espiral de la Galaxia.

Astronoticias

Recopilación de Fernando Rodríguez

EL PLANETA X

Tras el descubrimiento de Plutón por Clyde Tombaugh en 1930, la búsqueda del planeta X pasó a un segundo plano, aun cuando se comprobó que su masa y características no permitían explicar las pertubaciones observadas en la órbita de Neptuno. Sin embargo, durante la última década, los científicos han puesto de manifiesto que Plutón y su luna Caronte no están solos. Parece ser que ambos forman parte de un antiguo anillo de pequeños cuerpos helados: el Cinturón de Kuiper.

Actualmente se conocen unos 400 objetos de este anillo. Pues bien, la novedad consiste en la detección, el pasado noviembre, de uno nuevo: Varuna. Su estudio simultáneo en el óptico y el infrarrojo permitió deducir un diámetro efectivo de unos 900 km. Esto lo sitúa entre los más grandes, sólo por detrás de Plutón y Caronte. El hallazgo, por otro lado, sugiere la posibilidad de que existan cuerpos aún mayores que estén esperando ser descubiertos.

LA ESTRELLA HD 82943 SE HA COMIDO UN PLANETA. (Nature 10 de mayo de-2001)

Los modelos actuales sobre la evolución de los sistemas planetarios extrasolares suponen la existencia de una migración para explicar la presencia de planetas gigantes gaseosos muy cerca de su estrella progenitora. La migración supone que los planetas, tras formarse a una distancia adecuada de la estrella, se ven desplazados hacia órbitas más próximas a ella. Tales procesos, sin embargo, deberían conducir en ocasiones a fenómenos de captura del planeta por parte de la estrella. Tal acontecimiento tendría como consecuencia más directa la modificación en la atmósfera estelar de las abundancias relativas de los elementos metálicos. Concretamente el isótopo ^{6}Li resulta destruido durante las etapas tempranas de evolución estelar en la estrellas de tipo solar, cosa que no ocurre en los planetas gigantes gaseosos. Así pues, si una estrella de estas características "engullera" un planeta gigante, su abundancia de ^{6}Li se vería considerablemente incrementada.

Pues bien, esto es precisamente lo que un grupo internacional de astrónomos han observado en la estrella HD 82943, objeto del que se sabe posee actualmente al menos un planeta gigante.

Nuevo Director del Departamento de Ciencia Espacial de la ESA

Nuestro compañero Alvaro Giménez Cañéte, Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones CIentíficas ha sido nombrado nuevo Director del Departamento de Ciencia Espacial de la Agencia Espacial Europea (ESA) con sede en ESTEC (Holanda). Nuestras sinceras felicitaciones y deseos de éxito.

NUEVOS RESULTADOS SOBRE LAS ESTRELLAS DE NEUTRONES (Nature 3 de mayo de 2001)

La teoría sugiere que las estrellas de neutrones deberían nacer con una velocidad de rotación muy elevada. Las observaciones, sin embargo, parecen indicar que tal velocidad es bastante inferior a la pronosticada (1000 revoluciones por segundo). Y aquí es donde se plantea una doble posibilidad:

-Las estrellas de neutrones podrían nacer con baja velocidad de rotación.

-Las estrellas de neutrones podrían nacer con alta velocidad de rotación, que perderían rápidamente debido a algún mecanismo de radiación.

Hasta el momento la teoría es incapaz de discernir entre ambas opciones. Dentro de este marco, la novedad es que un equipo de investigadores estadounidenses ha desarrollado por primera vez un modelo tridimensional que proporciona un mecanismo de ralentización de la rotación por radiación de ondas gravitatorias.

Astronoticias

BITÁCORA PLANETARIA (NASA marzo, abril y mayo).

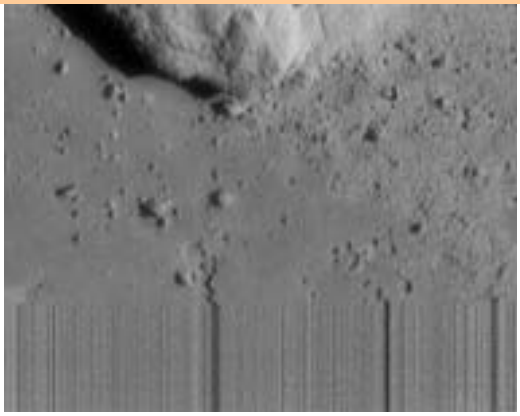
12 de febrero de 2001:
Descenso con éxito de la sonda NEAR sobre el asteroide EROS. El vehículo orbital NEAR comenzó a orbitar el asteroide 433 EROS el 14 de febrero de 2000, proporcionando hasta su descenso imágenes de alta resolución así como precisas medidas de tamaño, forma, distribución de masa, gravedad y campo magnético.

29 de marzo de 2001:
Se "confirma" la existencia de planetas libres. Un planeta libre es aquel que no orbita alrededor de una estrella concreta sino que viaja "libremente" a través del espacio. El resultado no carece de controversia ya que no puede descartarse totalmente la posibilidad de que los objetos no sean más que estrellas jóvenes cuyo brillo se haya visto atenuado por encontrarse situadas detrás de la región de Orión.

2 de abril de 2001:
Un equipo internacional de astrónomos anuncia el descubrimiento de 11 nuevos planetas alrededor de las estrellas de tipo solar HD 8574, HD 28185, HD 50554, HD 74156, HD 80606, HD 82943, HD 106252, HD 141937, HD 178911B, HD 141937 así como de dos nuevos sistemas planetarios múltiples. Las masas de estos planetas oscilan entre 1 y 10 veces la masa de Júpiter. Estos nuevos descubrimientos se realizaron utilizando el telescopio suizo Leonard Euler de 1.2m, los instrumentos del observatorio de Haute-Provence y los telescopios Keck en Mauna Kea.

4 de abril de 2001:
Se encuentran meteoritos marcianos y lunares en Marruecos: Northwest Africa 480 Martian y Northwest Africa 482 Lunar.

12 de abril de 2001:
La NASA pone en funcionamiento la nueva cámara NEAT para detectar nuevos asteroides próximos a la Tierra (NEOs). La cámara ha sido instalada en el telescopio Oschin de 1.2 m en Monte Palomar. En principio se espera que este instrumento nos permita llegar a conocer más del 90% de los NEOs con diámetros por encima de 1 km.



Última imágen transmitida por la sonda NEAR antes de posarse sobre el asteroide EROS.

Detalle del cometa LINEAR en el que se aprecian algunos de sus fragmentos.

18 de mayo de 2001:
El cometa LINEAR (C/1999 S4) se fragmenta en varios pedazos. El satélite SOHO ha sido un testigo excepcional del suceso. La posibilidad de observar la fragmentación completa de un cometa proporciona una excepcional oportunidad a los científicos para estudiar la estructura interna de los mismos. Las conclusiones parecen indicar que la composición superficial era idéntica a la del núcleo. Esto, junto con la peculiar estructura del objeto, ha llevado al equipo científico a sugerir la posibilidad de que regiones diferentes del Sistema Solar primigenio pudieran haber dado lugar a cometas de naturalezas diferentes.

Astronoticias

LA SITUACIÓN DE LOS BECARIOS DE INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA

Los pasados días 7 y 8 de junio los becarios de investigación de la comunidad de Madrid, protagonizaron un encierro de 24 horas en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Se unían así a la cadena de encierros que se han ido produciendo en diversas universidades de nuestro país. El motivo para tales actos fue protestar por la situación de precariedad en la que viven la mayor parte de los becarios. Actualmente la concesión de una beca implica que:

-El becario no cotiza a la seguridad social. Esto no sólo lleva consigo la ausencia de cobertura social, sino que en la mayoría de sectores del mercado los años como becario de investigación no cuentan como experiencia laboral.

-El becario de investigación debe pagar el IRPF, declarando su beca como "rendimientos del trabajo", aún cuando no está considerado como trabajador.

-No existe ninguna relación laboral con el centro donde se desarrolla la beca, a pesar de lo cual la contribución de los becarios es muy importante en la labor investigadora.

-No existe ningún tipo de estatuto que regule la situación laboral de los becarios.

Para intentar paliar tal situación el colectivo de becarios plantea la necesidad de transformar las becas en contratos laborales que subsanen los puntos antes mencionados.

Esperemos que las próximas generaciones de doctorandos e investigadores no tengan que sufrir estas situaciones injustas.

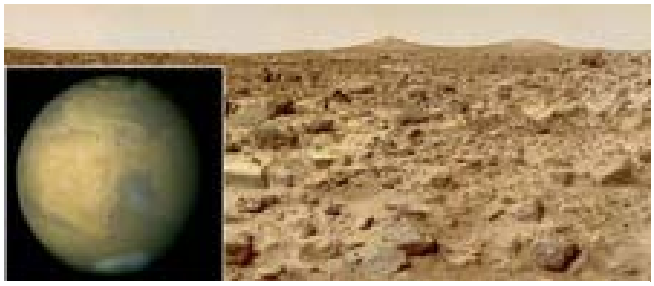
CUIDADO CON LOS MARCIANOS.

Aunque la NASA prevé que las primeras muestras de terreno marciano no podrán traerse a la Tierra antes del 2014, los científicos ya se han puesto a discutir los procedimientos a seguir para trabajar en tierra con tal material. En este sentido, los expertos han manifestado dos preocupaciones esenciales:

- La posibilidad de contaminar nuestro planeta con microorganismos marcianos, algo, que en caso de producirse, podría tener consecuencias imprevisibles.

- La posibilidad de contaminar las propias muestras con material terrestre.

Para evitar tales circunstancias la comisión de expertos propone tratar las muestras marcianas con las más restrictivas medidas de seguridad, es decir, a un nivel equivalente al que en la actualidad se emplea con las armas biológicas o en los laboratorios que estudian patógenos tales como el virus Ebola. La comisión propone, por otro lado, que las instalaciones de almacenamiento sean lo más simples posible, de manera que la investigación de las propias muestras no se realice en ellas sino en algún otro lugar. Tal situación plantea otra dificultad: ¿cómo se esterilizarán las muestras sin destruir a la vez las posibles evidencias de actividad biológica? Ésta y otras cuestiones requieren un esfuerzo investigador que finalmente conduzca a respuestas definitivas.



Las muestras de suelo marciano deberían tratarse como material de alto riesgo biológico.

LAEFF

Teléfonos y direcciones electrónicas

Para acceder al Laboratorio hay que marcar el 918131 (para llamadas desde dentro de España) o el 34-918131 (para llamadas desde otro país) antes de la extensión de teléfonos. Las direcciones electrónicas se componen añadiendo al código de usuario la terminación @laeff.esa.es.

Secretaría: 161 / Fax: 160
WWW: http://www.laeff.esa.es/

Doctores:

Alberto J. Castro Tirado	266	ajct
Marie Jourdain de Muizon (visitante)	261	muizon
Álvaro Giménez Cañete	155	ag
José Francisco Gómez Rivero	267	jfg
Rosario González Riestra	268	ch
David Hochberg	197	hochberg
Miguel Mas Hesse	196	mm
Benjamín Montesinos Comino	195	bmm
Carmen Morales Durán	188	morales
Juan Pérez Mercader	198	mercader
Lourdes Sanz F. de Córdoba	193	lourdes
Enrique Solano Márquez	154	esm

Postgraduados:

Itziar de Gregorio Monsalvo	261	itziar
Albert Domingo Garau	266	albert
Cristina García Miró	138	cgm
Elena Jiménez Bailón	266	elena
Bruno Merín Martín	194	bruno
Carlos Rodrigo Blanco	264	crb
Fernando Rodríguez Durán	194	frd
Celia Sánchez Fernández	163	celia

Personal Administrativo:

Margie Guitart Martín	161	margie
Concha Prieto Alas	234	concha

Servicios Informáticos:

Jesús García Jiménez	263	jess
Juan Martínez Pacheco	260	juanmp

Direcciones postales
Servicios normales
Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental
Apartado 50.727
E-28080 - Madrid - España
Servicios COURIER
Estación de Seguimiento de Satélites - ESA
Villafranca del Castillo
E-28691 - Villanueva de la Cañada - Madrid - España

Celebración por el décimo aniversario del Laboratorio, el 1 de junio en el campus de Villafranca del Castillo.

Celebración del décimo aniversario

Galería de imágenes

Galería

Cortesía de NASA-ESA Hubble Heritage.

Desde telescopios en tierra, la nebulosa llamada familiarmente "nebulosa hormiga" (Menzel 3 o Mz3) se parece a la cabeza y tórax de una hormiga común de nuestros jardines. Esta imagen obtenida con el *Hubble Space Telescope,* muestra en detalle el "cuerpo" de la hormiga como dos lóbulos que emergen de una estrella similar al Sol pero en sus últimos estados de evolución. Esta imagen presenta un problema para los astrónomos que estudian el final de las estrellas de baja masa: ¿por qué la emisión de gas desde la estrella central es asimétrica? Una posibilidad es que la estrella tenga una compañera muy próxima orbitando alrededor y dando forma a la envoltura de gas; otra posibilidad es que el campo magnético de la estrella central, al girar acompañando a la rotación de la misma, envuelva al gas cargado del viento estelar como lo haría una batidora de huevos con un manojo de spaguetti. En cualquier caso, parece ser que el futuro de nuestro Sol, que será cualitativamente similar al espectáculo que estamos contemplando, es mucho más complejo de lo que los astrónomos predecían antes de disponer de estas increibles observaciones.

Impresión: Imprenta Edigrafos
Depósito Legal: M-28147/2000