

BOLETÍN DE LA SEA

Editores

Iñigo Arregui Uribe-Echevarría
Nicolás Cardiel López
Xavier Luri Carrascoso
Belén López Martí
Ignasi Ribas Canudas
Jaime Zamorano Calvo

Portada

Benjamín Montesinos Comino

Comité editorial

Agustín Sánchez Lavega
Antonio Alberdi Odriozola
Fernando Moreno Insertis
Rafael Rebolo López
Jaime Zamorano Calvo

**Sociedad Española
de Astronomía SEA**
<http://sea.am.ub.es>

Comisión de información
comi-info@sea.am.ub.es

Ad astra per aspera

Como llevamos haciendo desde hace diez años, os hacemos llegar la nueva edición de verano de nuestro boletín. La composición de este número ha sido particularmente emocionante. El presidente de la SEA anunciaba hace un par de meses que las negociaciones para el ingreso de España en ESO estaban cerca de concluir satisfactoriamente. Como rezaba dicho mensaje:

Ambas delegaciones han reafirmado su mutua voluntad para cerrar el acuerdo. Se ha constatado el progreso de las negociaciones que en fechas próximas deberá ser refrendado por las respectivas autoridades.

Tras la reunión de hoy (día 28 [de Abril]), ambas partes han manifestado su satisfacción por el acuerdo alcanzada que hace prever un inminente ingreso de España en la Organización.

El Observatorio Europeo Austral es la única Organización Internacional de Gran Ciencia de la que todavía España no es miembro

Los editores hemos estado pendientes de estas negociaciones, con el ánimo de poder incluir en este número el anuncio definitivo del ingreso. Sin embargo, como en toda negociación compleja, el proceso es lento y deberemos esperar todavía un poco. Confiamos incluir en nuestra próxima edición el anuncio final y los detalles del ingreso.

Aun sin esta esperada noticia, no puede decirse que este número del boletín se haya quedado corto de temas. Incluimos, como de costumbre, un repaso del estado de la construcción del GTC, acompañado en esta ocasión por un extenso artículo sobre OSIRIS, uno de sus dos instrumentos de día uno. Así mismo, incluimos también otro artículo sobre una gran infraestructura astronómica española, el radiotelescopio de 40 metros de Yebes, inaugurado recientemente, y un artículo sobre el *Observatorio Virtual Español*, un proyecto que pretende organizar y facilitar el acceso a la ingente cantidad de datos astronómicos disponibles hoy en día. Finalmente, siguiendo la línea habitual del boletín, contamos con un artículo sobre un centro de divulgación científica que incluye actividades astronómicas, Miramon.Kutxaespacio de la ciencia, y los habituales resúmenes de tesis doctorales.

Para concluir, simplemente recordaros que el día 12 de septiembre se celebra la XIII asamblea general de la SEA en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Orense, coincidiendo con la celebración de la XXX bienal de la Real Sociedad Española de Física. ¡Os invitamos a asistir!

Los editores

La composición de imágenes de la portada muestra la estructura del Gran Telescopio Canarias (GTC) en un avanzado estado de montaje fundida con un dibujo del dios egipcio Osiris, en un guiño y pequeño homenaje de los editores a todo el equipo que participa en el diseño y construcción de OSIRIS (Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy). El artículo de revisión de Jordi Cepa nos acerca a las características y prestaciones de este instrumento de “primera luz” del GTC.



Miramon.KutxaEspacio de la Ciencia: un espacio para la divulgación en San Sebastián

Félix Ares miramon8@kutxagunea.org



Miramon.KutxaEspacio de la Ciencia es un centro de los que a veces se llaman “museos interactivos de la ciencia”. Dispone de una exposición permanente (Hypatia), que se ha dividido en diez secciones: Nave Tierra, Mundo Mecánico, Juegos de Luz, Sentido y Sensibilidad, Materiales Sorprendentes, Chispas de Energía, Vida Artificial, Comunicación, Jardín de la Ciencia y la sección para los más pequeños llamada Txikiklik.

En las diferentes secciones se exponen aproximadamente 160 experimentos interactivos, donde se tratan de explicar fenómenos científicos de un modo sencillo. Tenemos desde la aceleración de Coriolis en la sección Nave Tierra, hasta el efecto Venturi en la sección de Mundo Mecánico, pasando por la generación de colores a partir de filtros polarizados en la sección de Juegos de Luz.

También disponemos de un Planetario Digital con 110 plazas. El planetario digital tiene ventajas e inconvenientes respecto al analógico. Empezaré por las desventajas: las estrellas son todas en blanco y negro, y de peor calidad que las analógicas. Pero a cambio de esa desventaja podemos situarnos instantáneamente en cualquier época y en cualquier lugar de la tierra —y de otros planetas del Sistema Solar—. Así, podemos estar viendo los cielos del siglo XXI en San Sebastián y pasar inmediatamente a lo que veían los habitantes de hace 20000 años. O podemos irnos a ver el cielo de los egipcios para entender la importancia de Sirio en la predicción de las crecidas del Nilo. También podemos viajar en el espacio y en el tiempo a cualquier rincón de nuestra Galaxia, mejor dicho, a cualquiera de los 9000 objetos celestes que tiene en su base de datos y que se va ampliando con nuevos descubrimientos.

Disponemos de un observatorio astronómico educativo con dos telescopios de 27 cm, cuyas imágenes pueden llevarse a cualquier lugar del Museo. Por ejemplo, al planetario.

Tenemos un estupendo taller de la electricidad donde hacemos sesiones en directo, sobre todo de electrostática. Quizá el aparato más sorprendente es un Tesla con el que podemos producir chispas de cinco metros de longitud.



Dado que éste es el año de la Física, hemos incorporado un taller con varios experimentos nuevos relacionados con la Física, Einstein y, más en particular, con la Relatividad. Entre los relacionados con la Física, hemos fabricado una réplica de los hemisferios de Magdeburgo y demostramos la presión atmosférica de un modo parecido a como lo hizo Otto von Gericke. A cada hemisferio atamos una fuerte sogas y hacemos que un grupo de personas —una clase de un colegio, por ejemplo— tire en una dirección y otro grupo en otra. Por mucho que tiren, y por muchas personas que haya, no pueden separarlos. Basta abrir la válvula para que los hemisferios se separen. Respecto a Einstein, hemos realizado un módulo para explicar lo que es

el movimiento browniano, que fue explicado por Einstein en un artículo de 1905. Y en cuanto a la Relatividad, hemos hecho un taller con experimentos para medir la velocidad de la luz y demostrar que es constante (Michelson y Morley), un ascensor para demostrar el principio de equivalencia, y una cámara de niebla en la que se ve en vivo y en directo que al Museo llega una cantidad de muones muy grande, y que la explicación para ello es que para nosotros su tiempo va más lento y la longitud de su trayectoria es menor.



También tenemos exposiciones temporales, talleres para hacer experimentos en directo, tienda, cafetería, restaurante, área de picnic, edificios singulares de Guipúzcoa en miniatura,... es decir, todo lo necesario para que los visitantes de todas las edades puedan pasar un día entero.

Actividades de KutxaEspacio en el ámbito de la Astronomía

El Museo dispone de un observatorio astronómico, de un planetario digital y de un planetario burbuja. Con esas herramientas hacemos la mayor parte de las actividades relacionadas con la Astronomía:



- **Medición del meridiano terrestre con el método (más o menos) de Eratóstenes:**

Todos los años, el 21 de junio hacemos una actividad con algunos colegios que consiste en medir el meridiano terrestre. Eratóstenes lo hizo usando dos puntos: Alejandría y Siena. Nosotros lo hacemos entre San Sebastián y Tenerife (Museo de la Ciencia y el Cosmos). Los elementos que utilizamos son brújulas, tablas, palos de escoba, plumadas improvisadas y una regla. Desde que abrimos el Museo estamos marcando en el suelo la sombra de la punta de un palo alto. Demostramos que este día todos los puntos van en línea recta.

- **Eclipses y otros acontecimientos:** Normalmente lo que hacemos es preparar una charla explicativa de unos 15 minutos que impartimos dentro del planetario, usándolo como herramienta explicativa si viene al caso. Al ser un planetario digital, no cuesta nada poner cualquier fecha, hora, longitud y latitud de la Tierra o de cualquier otro planeta del Sistema Solar. Como detalle curioso, cuando aterrizó el *Mars Path Finder*, pusimos los cielos de Marte, y el público se quedó sorprendido de cuál era su polar. A continuación, si se puede, si no hay nubes —cosa no demasiado habitual en San Sebastián—, permitimos que los asistentes miren directamente a través de los telescopios del Museo o de los que siempre nos prestan los miembros de la Sección de Astronomía de la Sociedad de Ciencias Aranzadi.



- **Manchas solares:** Cuando hay alguna mancha solar espectacular, las mostramos a los asistentes por dos medios diferentes: a través de los telescopios grandes con filtros $H\alpha$, y con un *Sunspotter*.
- **Expediciones:** Se organizan cuando hay temas realmente interesantes. Por ejemplo, durante el máximo de manchas solares del año 2001 mandamos a un equipo a Canadá para fotografiar las auroras.
- **Programas de planetario:** Tenemos dos tipos de programas: los escolares y los familiares. En los escolares contamos temas de curriculum y en los familiares contamos cosas de Astronomía pero aderezados con una historia que las haga más livianas. Tenemos sesiones pregrabadas y sesiones en directo. Tanto en unas como en otras abrimos un diálogo con los asistentes para contestar a sus preguntas.
- **El cielo del mes:** El último viernes de mes solemos hacer una sesión de planetario en directo —no enlatada— en el que mostramos el cielo del mes siguiente y las principales efemérides. Luego establecemos diálogo con los asistentes para mantener una tertulia científica sobre temas astronómicos.
- **Cursos de Astronomía:** En nuestro centro se celebran todos los años varios cursos de Astronomía a varios niveles: principiante, medio y alto. Este año, por primera vez, realizamos un curso de Astrofísica de 20 horas

que permite obtener créditos de libre elección de la Universidad del País Vasco.

- **Conferencias:** Las conferencias sobre temas astronómicos son habituales en nuestro centro.
- **Planetario Txiki:** Es un planetario burbuja que usamos para los pequeños dentro de nuestro centro y para llevar la astronomía a la calle. Por poner un ejemplo, nuestro planetario ha estado dos veces en fiestas para chavales organizadas por la televisión.

Ni que decir tiene que lo explicado más arriba no son nada más que unas pinceladas de todas las actividades que realizamos. Para tener una idea de la magnitud de actividades les diré que durante el año 2004 hicimos 800 talleres y 500 animaciones de sala, y nos visitaron 150000 personas.



Para acabar, quisiera destacar que nuestro Planetario está abierto a realizar sesiones “a medida” para un grupo de personas. Por ejemplo, para ver el mismo cielo que desde Montevideo vieron los miembros de la expedición de Alessandro Malaspina durante el famoso tránsito de Mercurio. Antes de despedirme quiero recordarles que los datos de aquel tránsito fueron los que utilizó Einstein para decir que la gravedad newtoniana no era exacta.

Félix Ares es Director del Museo de Ciencias de San Sebastián. Doctor en informática y profesor titular de Arquitectura y Tecnología de Computadores, es divulgador científico en diversos medios, así como autor de varios libros.

El nuevo radiotelescopio de 40 m del Centro Astronómico de Yebes

Jesús Gómez González

jggonzalez@mfom.es



Figure 1 – *Izquierda: montaje de la estructura trasera (en un solo bloque) sobre el yugo de la antena. Derecha: montaje del cuadrupodo del reflector secundario.*

El pasado día 26 de abril, día de San Isidoro de Sevilla, patrón del Instituto Geográfico Nacional (IGN), SSAARR los Príncipes de Asturias inauguraron el nuevo radiotelescopio de 40 metros del Centro Astronómico de Yebes. Con esta inauguración terminaba la fase de construcción y ensamblaje de las distintas partes del radiotelescopio, que se había iniciado seis años antes, en 1999, con la construcción del pedestal de soporte en el que está ubicada la sala de control. Comienza ahora una nueva fase, la de *commissioning*, en la que el ajuste, calibrado y puesta a punto de las partes mecánicas de precisión (paneles reflectores y sub-reflector, sistema de espejos para el foco Nasmyth, ajuste de ejes y focalización, etc.) y sus correspondientes servomecanismos de control, así como la

implementación y puesta a punto de los programas de control y guiado del radiotelescopio, deben conducir a una primera caracterización del radiotelescopio, en cuanto a sus capacidades técnicas se refiere, esto es, a una primera estimación de la calidad de su superficie reflectora y de su precisión de apuntado y seguimiento, que son los parámetros fundamentales para determinar su frecuencia máxima de utilización.

Si, como todo parece indicar, los resultados de estas primeras mediciones son los esperados según el diseño del radiotelescopio, se procederá a la instalación de los primeros receptores de interés astronómico: uno a 22 GHz (en la rama del foco Nasmyth de los receptores de alta frecuencia); y otro, para las bandas de frecuencia S y X (en la rama del

foco Nasmyth de los receptores de baja frecuencia), que será utilizado en las observaciones de VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) de interés astronómico y geodésico. Para la determinación de las deformaciones y posterior ajuste fino de los paneles de la superficie colectora, se instalará, en el foco primario, un receptor a 12 GHz especialmente diseñado para medidas de holografía; receptor que irá acompañado de su correspondiente sistema de adquisición y tratamiento de los datos. Una vez a punto, tanto el receptor como el mencionado sistema quedarán instalados permanentemente en el radiotelescopio, para revisiones y ajustes periódicos (optimización) de la superficie colectora.



Figure 2 – *Vista parcial de la superficie reflectora del telescopio durante el proceso de instalación y ajuste de sus paneles.*

Para la realización de los trabajos que se acaban de mencionar serán necesarios otros cinco o seis meses, es decir, hasta finales del año en curso. A partir de entonces comenzará la etapa de uso del radiotelescopio tanto funcionando como antena única, como formando parte de las redes europeas y mundial de VLBI. Y, como es propio de este tipo de instrumentos, comenzará, así mismo, una etapa de permanente optimización de su rendimiento, de desarrollo de sus capacidades técnicas y de adecuación para su uso en los nuevos campos de trabajo que puedan ir surgiendo. Actividades todas estas que requerirán la participación de astrónomos e ingenieros expertos en, prácticamente, todos los campos de la radioastronomía experimental.



Figure 3 – *Vista general del nuevo radiotelescopio de 40 m del CAY.*

En nuestro breve artículo acerca del nuevo radiotelescopio de 40 m del Centro Astronómico de Yebes que publicamos en este mismo Boletín (número 8, 2002), señalábamos como principal objetivo de los desarrollos astronómicos a nivel nacional el que estos deben convertirse en la base de experimentación científica, tecnológica e industrial que nos entronice, en las mejores condiciones posibles, en los “megaproyectos” internacionales (mundiales) que están a punto de principiar. Pues bien, ya en estos momentos podemos decir que, con la ejecución de todos los procesos de diseño, fabricación, montaje, caracterización y puesta a punto de la variedad de componentes que ha sido necesario realizar para la construcción del nuevo radiotelescopio, los científicos y técnicos de nuestro país (tanto del IGN, como de las empresas españolas participantes) han adquirido una extraordinaria experiencia tecnológica e industrial en trabajos de una singular y muy especial complejidad y envergadura, que difícilmente podrían haber adquirido de otro modo (no todos los días se construye un instrumento semejante).

En lo que a los aspectos más científicos se refiere, hemos de decir que con el comienzo, dentro de unos meses, de esa fase de uso del radiotelescopio como antena única o como parte de una red de VLBI, y con los desarrollos instrumentales que ello conlleva, se alcanzará también ese otro objetivo —al que también hacíamos referencia en nuestro anterior artículo del Boletín de la SEA— de contribuir a la formación de jóvenes investigadores e instrumentalistas y, con ello, a la consolidación de una auténtica radioastronomía experimental española.

Jesús Gómez González, Subdirector del General del IGN, es astrónomo del OAN participante en la red VLBI.

EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS

¡Si la vez pasada eran 11 segmentos, ahora hay 24, y la torre del terciario ya está en su sitio!

J. Miguel Rodríguez Espinosa `jmr.espinosa@iac.es`

Resumen

También en la oficina de Tenerife es continua la llegada de paquetes y bultos para su envío inmediato a La Palma. El Centro de Astrofísica de La Palma se inauguró en Mayo y se está empezando a ocupar. Será la sede del GTC en La Palma y futuro centro de operaciones. Los trabajos en la cámara del telescopio prosiguen con las pruebas del sistema de aceite y los primeros movimientos del tubo del telescopio. Mientras escribo este artículo se están haciendo las pruebas de la torre del terciario, se están instalando los codificadores de elevación y acimut, y pronto se instalarán los motores, con lo que comenzarán las pruebas del telescopio.

Como en otras ocasiones lo que sigue es el ya tradicional repaso a los diferentes subsistemas del GTC de modo que quede una imagen clara del estado del proyecto.

Cúpula

Ya han concluido las tareas de reparación de las compuertas de la cúpula, ambas compuertas están pues operativas. Los trabajos de reparación han sido realizados por el personal del observatorio. También se ha avanzado bastante en el sistema de control de la cúpula. Por último se han solucionado algunos problemas existentes con la regulación de velocidad de las grúas de la cúpula, que ahora funcionan correctamente. Estas grúas se usarán en breve para hacer pruebas de montaje y desmontaje de los segmentos del primario usando una maqueta de un segmento con peso y dimensiones reales.

La montura mecánica del telescopio está ya completa (Fig. 1). Con la colocación de la araña del secundario y de la torre del terciario se ha completado el montaje del tubo del telescopio. Con esto se ha podido balancear el tubo y hacer las primeras pruebas de movimiento del tubo desde el cenit hasta 15 grados sobre el horizonte (Fig. 2 y Fig. 3). Estos primeros movimientos del tubo se han he-

cho midiendo exhaustivamente las deformaciones de los muñones de elevación, que han demostrado estar dentro de lo especificado.

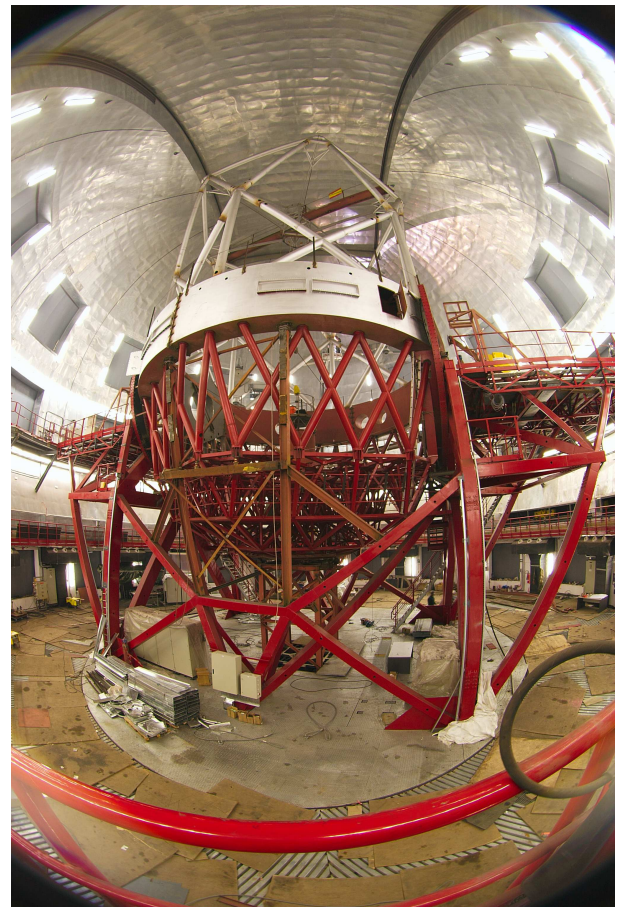


Figura 1 — *Vista del telescopio, con su estructura mecánica ya completa (falta en la foto la torre del terciario que se instaló poco después de hecha esta foto, así como los motores que se instalarán en agosto).*

Telescopio

Prosiguen las tareas de cableado que aún se extenderán hasta finales de septiembre. Esto incluye

el rotador de cables, cables de potencia y fibras para datos, así como toda la red de conducciones de agua para refrigeración a varias temperaturas, aire, y helio líquido. Con esto puede verse ya la imagen completa de lo que será el telescopio final. Las próximas tareas son las pruebas de movimiento del telescopio, que ha de hacer la compañía contratista, antes de la aceptación formal nuestra. A continuación continuarán nuestras propias pruebas, previas al montaje de los primeros segmentos del primario.



Figura 2 — *El telescopio inclinándose para probar el sistema de aceite, y medir las deformaciones de los muñones.*

Óptica

Ya hay cuatro lotes de seis segmentos cada uno en el edificio. Conforme escribo estas líneas se acaba de aceptar en París el quinto lote de segmentos, y su llegada al observatorio está prevista para fines de Julio. A este ritmo el sexto lote, e incluso el séptimo lote, lote de repuesto, estarán finalizados antes de fin de año. Como apuntaba en el pasado artículo, lo que tenemos es cierto problema de logística, por el almacenaje de tantos segmentos (Fig. 4). De hecho se han habilitado nuevas estanterías en el taller donde hasta ahora estaba una de las cajas de Adquisición y Guiado, los mecanismos del secundario y la Cámara de Verificación. Todos estos elementos están esperando su colocación en el telescopio.

El espejo secundario continúa su etapa final de pulido iónico. Según escribo estamos sopesando si continuar con el pulido, o decidir aceptarlo como está para darle los últimos retoques y enviarlo a La Palma cuanto antes. La disyuntiva está en que si bien el espejo está quedando en general muy bien, hay un par de bordes que han quedado fuera

de especificaciones, con pendientes que pueden aumentar ligeramente las alas del perfil de la imagen de una fuente puntual (PSF). La disyuntiva está en que si bien no nos gustan estas altas pendientes en este par de zonas de los bordes, tampoco estamos seguros de que se puedan mejorar mucho, después de todo el pulido tiene mucho de tarea artesanal.

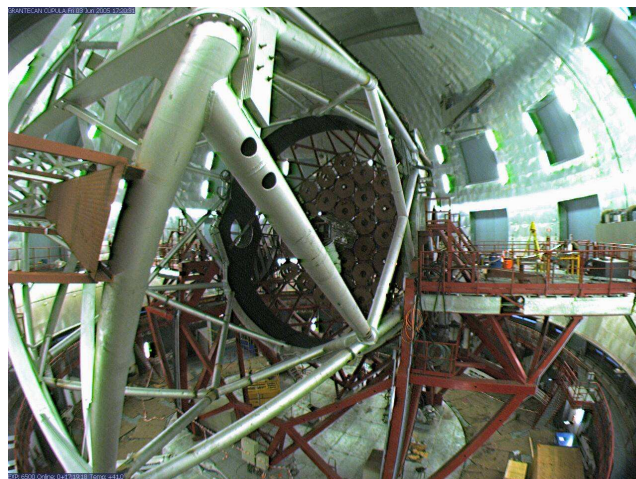


Figura 3 — *El telescopio con una inclinación de más de 70 grados.*



Figura 4 — *El almacén de segmentos del GTC, donde se aprecian 24 segmentos, 18 en las estanterías y 6 más en el suelo. Mientras escribo esto se están trasladando parte de estos segmentos a otro laboratorio en el que se han instalado nuevas*

Existe además el riesgo de que se pueda empeorar, y por último, corre cierta prisa el tener el secundario en el ORM, ya que hay que montarle sus mecanismos y hacer toda una batería de pruebas, para optimizar los servos de basculación, que van a llevar tiempo. Como apuntaba la vez anterior, Javier Castro, nuestro ingeniero jefe de óptica, está convencido de que aún si hubiera que aceptar el secundario como está, el resultado sería un excelente secundario, con un error de superficie de aproximadamente 20 nm rms. El espejo terciario ya está en La Palma (Fig. 5), y ha sido aceptado recientemente después de una serie de pruebas que se han hecho de su montura en la torre del terciario. No ha habido ningún problema con el terciario, que se ha vuelto a embalar para su protección mientras se terminan las pruebas del telescopio.



Figura 5 — *Espejo terciario visto por detrás, en su útil de manipulación.*



Figura 6 — *Pruebas del filtro sintonizable azul en los laboratorios del IAC.*

OSIRIS está a punto de comenzar su integración en el nuevo edificio del IAC construido expresamente para la integración y pruebas de grandes instrumentos. Ya se han recibido bastantes partes de la óptica, se están terminando las pruebas del barril de la cámara en México, y de los filtros sintonizables en los laboratorios del IAC (Fig. 6), y se ha terminado la fabricación del cambiador de máscaras (Fig. 7), uno de los mecanismos más complejos de OSIRIS. El criostato que albergará los detectores de OSIRIS se está fabricando en Valencia, en la misma empresa que hizo el criostato de LIRIS. Estará finalizado en breve. También se ha avanzado en las pruebas del software de reducción de datos, donde se han encontrado algunos problemas menores que se están solucionando.

ELMER, sigue en su esquina del taller mecánico del IAC. Pronto se trasladará a un espacio en el nuevo edificio de grandes instrumentos, donde podrá estar en un ambiente de más limpieza, además de tener más espacio para el equipo auxiliar. El grupo de ELMER está llevando a cabo un detallado plan de pruebas, habiendo comprobado ya que la calidad de imagen de la óptica de ELMER es excelente, y que el foco está dentro de especificaciones. Se ha continuado con las pruebas de los elementos ópticos que van llegando, encontrándose resultados muy prometedores. Por ejemplo una de las últimas pruebas que se han hecho relativa a la transmisión de los prismas, ha resultado estar por encima del 90 % (Fig. 8). El uso de estos elementos de baja dispersión será de gran utilidad para la espectroscopía de objetos muy lejanos. CanariCam continua su integración en el Depto. de Astronomía de la Universidad de Florida. Recientemente se han obtenido las primeras imágenes con el multiplexor en caliente, y en breve se enfriará el criostato por primera vez con el detector de ingeniería dentro.

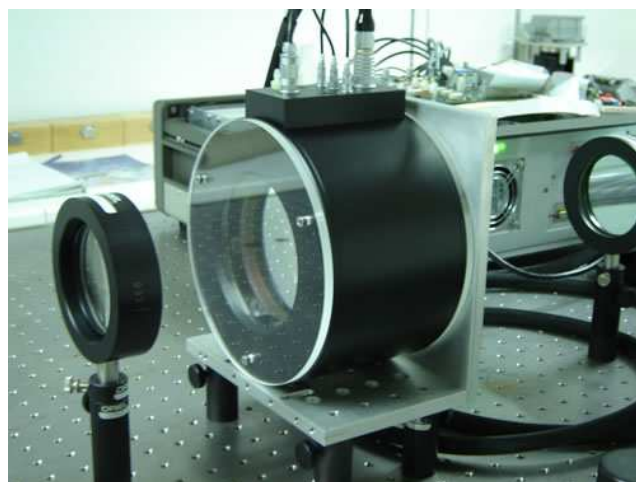


Figura 7 — El cambiador de máscaras de OSIRIS durante las pruebas del software de sus mecanismos en un taller del IAC.

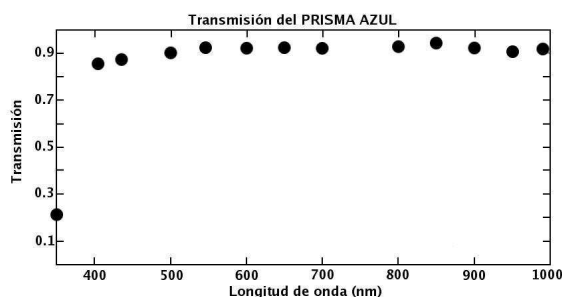


Figura 8 — Transmisión del prisma azul de ELMER. Nótese la elevada transmisividad en prácticamente todo el rango espectral.



Figura 9 — Conjunto de imágenes de diversas pruebas de EMIR en el laboratorio de óptica probando la sujeción de grandes lentes. Arriba a la izquierda un prototipo de aro de sujeción de una lente grande, del tamaño de la ventana de EMIR. Abajo a la izquierda midiendo esfuerzo mediante el análisis de birrefringencia.

Instrumentos de segunda generación

EMIR ha continuado haciendo pruebas con prototipos de grandes lentes. Esta actividad está dando al equipo de EMIR un gran conocimiento del manejo y métodos de sujeción de grandes elementos ópticos. Asimismo se está modelando con gran cuidado el comportamiento térmico de la gran ventana de entrada del criostato. Prosiguen los trabajos de caracterización del detector (Fig. 9). Al mismo tiempo se continúa con la contratación del gran paquete de la óptica, que conforme escribo estas líneas está a punto de adjudicarse. Pronto también se revisará el prototipo de robot de máscaras, realizado por una empresa holandesa, como parte del

programa de demostración tecnológica. El equipo de EMIR ha sido contactado por el grupo de MOSFIR (Keck) para colaborar en el diseño y fabricación del robot cambiador de máscaras. La idea es relanzar el concurso con la esperanza de que varias empresas, habiendo participado en el programa de demostración, estén en condiciones de competir y presentar propuestas aceptables.

Astrónomos de Soporte

Dos nuevos Astrónomos de soporte se van a incorporar en los próximos meses. Son Antonio Cabrera Lavers y Rosario Villamariz Cid, que se integrarán en el equipo de Ciencia, en la oficina de La Laguna, por el momento. Otros dos astrónomos más se incorporarán a principios de año, ya directamente a la sede de La Palma del GTC. Dicha sede estará en el Centro de Astrofísica de La Palma (CALP), que se acaba de inaugurar en el término municipal de Breña Baja, cerca del Aeropuerto de La Palma. Toda la operación del GTC se hará desde esta base, en la que estará todo el personal de operación y mantenimiento. La oficina de La Laguna, en el recinto del IAC, irá perdiendo protagonismo paulatinamente conforme se acerca la puesta a punto y operación científica del GTC.

Planes a corto y medio plazo

El próximo mes se instalarán los motores del telescopio y se comenzarán las pruebas mecánicas, que se prolongarán hasta el mes de Octubre. Simultáneamente se irá terminando de montar lo que queda de cableado y conducciones. Seguirán pruebas con un refractor montado en el anillo de elevación, y a continuación se instalarán los primeros segmentos, que permitirán comenzar las pruebas ópticas. Esto marcará el comienzo de la etapa de puesta a punto del telescopio, empezando por las Cajas de Adquisición y Guiado, la Cámara de Verificación, el propio telescopio y óptica, y enseguida los primeros instrumentos científicos, empezando por OSIRIS y CanariCam, lo que, una vez alcanzadas ciertas prestaciones, abrirá el GTC al uso de la comunidad científica. Todos los que trabajamos en el GTC estamos haciendo un esfuerzo especial por llegar lo antes posible a esta fecha, que esperamos sea antes de que acabe 2006.

José Miguel Rodríguez Espinosa es investigador del IAC, responsable científico de GTC y Presidente de la SEA.

El Observatorio Virtual Español (SVO)

Enrique Solano Márquez
esm@laeff.esa.es

Introducción

Uno de los principales objetivos de toda misión científica es la obtención de datos de gran calidad. Para rentabilizar de forma eficiente la utilización de dichos datos, es necesario desarrollar sistemas que garanticen su perdurabilidad y permitan un fácil acceso a los mismos. La Astrofísica no ha sido ajena a esta necesidad y todas las misiones espaciales, así como la mayoría de los grandes observatorios terrestres, han desarrollado en los últimos años sistemas eficientes de archivo y acceso a los datos científicos que facilitan al usuario la identificación de información de interés para su posterior análisis. Es importante en este aspecto hacer notar la diferencia entre el simple almacenamiento seguro de los datos, que tendría un carácter pasivo, y un verdadero archivo científico, el cual requiere una catalogación precisa de los contenidos así como el desarrollo e implementación de herramientas de búsqueda, presentación y transferencia de los datos.

La información ya disponible en los distintos archivos astronómicos junto con las grandes campañas de observación en curso o previstas para los próximos años permitirán tener una cobertura de grandes zonas del cielo en la mayor parte del espectro electromagnético. Es, por tanto, indudable que una coordinación eficiente entre los distintos centros de datos impulsaría de una manera sustancial la producción científica, rentabilizando al máximo el elevado coste asociado a dichos proyectos. No obstante, si bien es cierto que, desde hace ya algunos años, es relativamente sencillo para un investigador acceder a datos astronómicos a través de los interfaces de usuario desarrollados por los distintos centros de datos, también lo es el hecho de que estos sistemas de acceso han sido tradicionalmente diseñados con el objetivo fundamental de satisfacer los requisitos propios del proyecto o misión cuyos datos contienen. Esto ha dado lugar a una gran heterogeneidad tanto en los formatos de los datos como en los métodos de intercambio y transferencia de los mismos, limitando sobreman-

era el acceso eficiente a información procedente de más de un archivo.

Un problema adicional a esta falta de interoperatividad lo constituye la gestión del enorme volumen de datos producidos por proyectos de observación global del cielo. Proyectos como SDSS y 2MASS, con millones de objetos observados, son una buena muestra de esto. El estudio de tales cantidades de datos no puede realizarse siguiendo el procedimiento clásico de transferencia de información desde el centro de datos para su posterior análisis local. DR2, uno de los subconjuntos de datos ya públicos de SDSS, es un buen ejemplo: suponiendo una capacidad de transmisión de 1 Mb/s, se necesitarían dos meses para la transferencia de las imágenes las cuales ocuparían unos 1000 DVDs. La situación será incluso peor al final del proyecto ya que la cantidad de datos será aproximadamente el triple de la producida para el DR2. Aún más, el problema no solamente se ciñe al contexto de la transferencia de datos sino que afecta igualmente al propio análisis de los mismos ya que la mayoría de las herramientas utilizadas comúnmente por la comunidad astronómica no son escalables a las cantidades de datos generadas por estos proyectos.

El Observatorio Virtual (VO, según sus siglas en inglés) nace con el objetivo de solventar los problemas que, para la astronomía multirrango, crea la falta de interoperatividad existente entre los centros de datos astronómicos y de proporcionar a la comunidad astronómica internacional los recursos necesarios para poder realizar una explotación eficiente de la cantidad ingente de datos que albergan los distintos archivos. A pesar de ser un proyecto relativamente reciente (los primeros proyectos de fase-A datan de 2001) es innegable que el Observatorio Virtual constituye una iniciativa que ha calado con enorme fuerza en la comunidad internacional tanto en su faceta científica como en su vertiente técnica y que va a representar el marco de actuación en el que se van a encuadrar las actividades relacionadas con archivos astronómicos a corto plazo. Los grandes centros de datos astronómicos (NASA, ESA, ESO, ...) han entendido la importancia de un proyecto como el VO y están contribuyendo al desarrollo del mismo dedicando recursos tanto humanos como de infraestructura.

En la actualidad se puede decir que el Observatorio Virtual ya ha superado la fase de demostración tecnológica y constituye una herramienta de enorme utilidad en la investigación astronómica. Un claro ejemplo lo constituye el descubrimiento de agujeros negros supermasivos a partir de datos de GOODS (*Great Observatories Origins Deep Survey*, Padovani et al. 2004, A&A 424, 545).

Con estas premisas, se podría pensar que el Observatorio Virtual es una herramienta potencialmente útil solamente para aquellos investigadores interesados en trabajar con volúmenes de datos del orden del Terabyte. Un ejemplo simple nos dice que éste no es el caso: supongamos que un astrónomo está interesado en obtener todos los espectros de alta resolución de una determinada clase de objetos en un cierto rango espectral. Muy probablemente, el volumen total de datos a analizar no sea elevado pero la operación de recopilar toda la información es, en la actualidad,

muy poco eficiente y requiere invertir grandes cantidades de tiempo en saber qué datos se encuentran disponibles, en qué formatos y cómo acceder a ellos para su posterior transferencia y análisis. El Observatorio Virtual hará posible toda esta operación de manera fácil permitiendo al astrónomo centrarse en lo que es su verdadero objetivo: el análisis de los datos e interpretación de los resultados. De igual manera, no se debe concebir el Observatorio Virtual como una estructura monolítica o como un gran repositorio centralizado de datos astronómicos. Todo lo contrario. El VO presenta una estructura modular que engloba proyectos con distintos objetivos e intereses. Precisamente para articular todas las líneas de trabajo y definir un marco común de actuación, en Junio de 2002 se creó IVOA (*International Virtual Observatory Alliance*, <http://www.ivoa.net>), la alianza que actualmente engloba 15 proyectos de índole tanto nacional como supranacional.



Figure 1 – *Portal del Observatorio Virtual Español.*

La explotación científico-tecnológica de los recursos astronómicos aparece identificada como una de las líneas prioritarias del Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica 2004–2007. En 2004 se solicitó un proyecto para la creación del Observatorio Virtual Español (SVO, <http://svo.laeff.esa.es>) con el objetivo fundamental de aglutinar y servir de marco común a las actuaciones realizadas por la comunidad astrofísica española en el contexto del Observa-

torio Virtual. El proyecto fue aprobado en Junio de 2004, fecha en la que el SVO se incorpora a la estructura de IVOA y en él participan personal investigador y técnico de diferentes centros tanto nacionales (LAEFF, UNED, IAA, Univ. de La Coruña) como internacionales (INAOE, Univ. Texas). Dado el creciente interés que los aspectos relacionados con el Observatorio Virtual están generando dentro de la comunidad astrofísica española, uno de los objetivos que nos planteamos a

corto plazo es la ampliación del SVO (actualmente limitado a los miembros participantes en el proyecto) a una comunidad mucho más amplia mediante la creación de una Red Temática.

Líneas de trabajo del SVO

Adaptación del Centro de Datos Científicos del LAEFF a los estándares VO

El LAEFF constituye el centro de referencia español en el campo de los archivos astronómicos. En la actualidad, su Centro de Datos Científicos está formado por el archivo final del satélite IUE (INES), el archivo de OMC/INTEGRAL y GAUDI, un archivo preparatorio para la misión COROT. A corto plazo será igualmente responsable del archivo final de COROT así como del archivo científico del Gran Telescopio Canarias (GTC). La inclusión del Centro de Datos Científicos del LAEFF en la federación de archivos astronómicos del Observatorio Virtual exige la adecuación a los estándares y recomendaciones adoptadas en el seno de IVOA, en particular en lo referente a protocolos de acceso, modelos de datos y formatos.

La actuación más relevante dentro de este apartado será, sin duda, el desarrollo, implementación y gestión del Centro de Datos Científicos del Gran Telescopio Canarias. GTC representa una de las inversiones más importantes realizadas dentro de la Astronomía española y el desarrollo de un Centro de Datos perfectamente integrado en la estructura del Observatorio Virtual proporcionará al proyecto un valor añadido de enorme relevancia.

Desarrollo de herramientas de análisis y minería de datos

En el marco del Observatorio Virtual, un centro de datos astronómicos no puede ser simplemente un centro que se limite a proporcionar datos en distintas etapas de su proceso de reducción sino que debe implementar toda una serie de utilidades que faciliten al máximo la labor de selección y posterior análisis de los mismos. Este tipo de utilidades representan un valor añadido fundamental para el sistema y tienen un doble efecto: por un lado permite una utilización general por parte de la comunidad científica y, por otro lado, evita al usuario tener que dedicar tiempo al desarrollo de las mismas, máxime cuando, en la mayoría de los casos, dicho desarrollo requiere un conocimiento tanto científico como técnico no trivial.

Esta nueva concepción de Centro de Datos Científicos se encuentra plenamente justificada por la enorme cantidad de datos que los distintos proyectos astronómicos de observación de grandes regiones del cielo, en curso o previstos para un futuro cercano (SDSS, 2MASS, VISTA, ...), van a proporcionar durante su vida operacional. La ingente cantidad de información que los archivos de estos proyectos van a almacenar supera ampliamente las posibilidades de los investigadores para interpretarlos y analizarlos siguiendo el modelo tradicional según el cual el usuario accede al centro de datos, selecciona aquéllos que son de su interés y los transfiere a través de Internet a su estación de trabajo en donde realiza el análisis de los mismos utilizando una serie de herramientas estándares. En el nuevo escenario, el análisis se realiza remotamente en el Centro de Datos y solamente se transfieren aquéllos que, una vez analizados, son de verdadero interés para el usuario.

En este contexto, el desarrollo e implementación de técnicas de minería de datos constituye una de las líneas de actuación fundamentales. La minería de datos, definida como la extracción no trivial de información implícita, previamente desconocida y potencialmente útil a partir de los datos, constituye una fase dentro del proceso global denominado *descubrimiento de conocimiento en bases de datos* y, a diferencia de los análisis estadísticos clásicos, no requiere conocer ni establecer ninguna relación a priori entre los datos sino que es el propio sistema el que deduce las potenciales relaciones existentes.

Dos son las principales herramientas de análisis basadas en técnicas de minería de datos que se vienen desarrollando dentro del Observatorio Virtual Español:

— *Caracterización de distribuciones espectrales de energía: aplicación a discos protoplanetarios.* El objetivo es desarrollar una herramienta web que permita la comparación de distribuciones espectrales de energía observadas con modelos computacionales. En una primera fase nos hemos centrado en el estudio y caracterización de discos protoplanetarios alrededor de estrellas Pre-Secuencia Principal utilizando los modelos de discos protoplanetarios de D'Alessio et al. (2001, ApJ 553, 321). La herramienta web construye la distribución espectral de energía observada previa consulta a los centros de datos y archivos que hayan implementando los protocolos de acceso VO y que como tales aparezcan en el registro de servicios del Observatorio Virtual. El ajuste entre observación y modelos teóricos se realiza utilizando un agente basa-

do en técnicas bayesianas. El agente está diseñado para evaluar, dado un conjunto de observaciones, la evidencia en favor de distintos escenarios físicos de complejidad creciente (estrella, estrella + disco, estrella + disco con pared interior iluminada, disco con dos componentes de polvo, ...) entendiendo como evidencia la suma (integral extendida a todo el espacio de parámetros) de las probabilidades “a posteriori” de todos los modelos de un determinado escenario físico. Igualmente es posible obtener distribuciones de probabilidad marginal para los distintos parámetros, así como el modelo (o conjunto de modelos) del espacio de parámetros que mejor explica los datos.

Con este tipo utilidades es posible realizar de una manera eficiente y homogénea una labor de ajuste que, sin utilizar técnicas VO, requeriría una gran cantidad de tiempo obligando a ceñirse a una muestra reducida de objetos (e.g. Merín 2004, A&A 419, 301). En una segunda fase se prevé incluir nuevos conjuntos de parámetros (hiperparámetros) que permitan pesar de forma distinta conjuntos de observaciones provenientes de diferentes instrumentos, calibraciones, épocas o representativos de diferentes zonas del espectro electromagnético.

— *Desarrollo de un sistema automático de clasificación de curvas de luz.* El objetivo de instrumentos como OMC o misiones espaciales como COROT es el de producir curvas de luz de una gran cantidad de objetos de muy distinta naturaleza. Dado el elevado volumen de datos a analizar, es impensable realizar la clasificación de dichos objetos de manera manual a través de la inspección visual siendo necesario aplicar técnicas de clasificación automáticas. Dentro del SVO se ha desarrollado un agente clasificador de curvas de luz basado en redes neuronales a partir de las cuales se realiza la inferencia clasificatoria de acuerdo con su probabilidad a posteriori (estimación bayesiana). En una primera fase el sistema se diseñó para identificar objetos binarios eclipsantes y clasificarlos según su geometría. Para ello se emplearon curvas de luz tomadas del archivo de Hipparcos, reclasificadas de acuerdo al esquema desarrollado por Sánchez-Fernández y Giménez (2005, A&A aceptado) que permite separar configuraciones geométricamente distintas (sistemas separados o en diferentes configuraciones próximas o en contacto) a partir de la morfología de sus curvas de luz.

En la actualidad se viene trabajando en un sistema clasificador completo que incluya la detección de variabilidad esporádica (e.g. fulguraciones), sistemas de periodicidad variable (mediante análisis

de wavelets) así como la subclasificación dentro del esquema habitual de las variables clásicas (Cefeidas, Mira, RR Lyraes, etc.). Para ello, se añadirá al espacio de entradas el análisis del espacio de frecuencias y se combinarán distintas técnicas como los clasificadores bayesianos o las máquinas de vectores soporte con el agente especializado en sistemas eclipsantes de forma que, finalmente, la clasificación automática sea realizada por un “comité de expertos”.

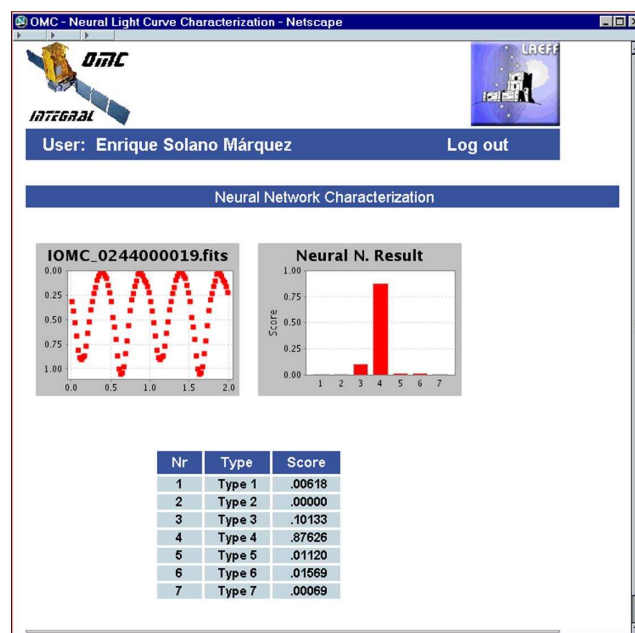


Figure 2 – *Herramienta de clasificación automática de curvas de luz implementada en el archivo científico de OMC.*

Modelos teóricos en el contexto del Observatorio Virtual

En numerosas líneas de investigación astrofísica existe la necesidad de comparar observaciones reales con resultados teóricos. En la actualidad esta comparación resulta, en la mayoría de los casos, complicada e ineficiente debido a la heterogeneidad en formatos, códigos de programación, arquitecturas, etc., que existe en el mundo de los modelos y simulaciones teóricas. Con objeto de definir el marco necesario que asegure una interoperatividad plena entre datos teóricos y observacionales, en Enero de 2004 se constituyó el grupo de Teoría en VO en el marco de IVOA. Entre sus objetivos destacan el de proporcionar un foro de discusión para aspectos relacionados con la investigación teórica en el marco del Observatorio Virtual y el de definir los protocolos estándares de acceso, transferencia de datos y formatos de los datos teóricos. Información detallada de las distintas líneas de trabajo así como de los grupos involucrados se puede encontrar en

www.ivoa.net/twiki/bin/view/IVOA/IvoaTheory. Dentro del Observatorio Virtual Español existe una participación activa en los dos siguientes campos:

- Diseño de protocolos de búsqueda y acceso para datos teóricos: Los protocolos ya definidos dentro del VO (ConeSearch, SSA, SIAP) se basan en búsqueda por posición, criterio que no es aplicable en la mayoría de los casos a los resultados teóricos, en particular los relacionados con simulaciones numéricas. Para solucionar este problema se está trabajando, en colaboración con el grupo de VO de ESAC-Villafranca, en un nuevo protocolo que ha sido probado con éxito en espectros estelares sintéticos generados con el código ATLAS9.
- Desarrollo de utilidades y servicios Web en el marco del VO teórico. Esta línea de trabajo se viene desarrollando en colaboración de la Red de Formación Estelar Violenta formada por distintas instituciones europeas y de Latinoamérica. En este marco se está realizando la adaptación a VO de Pgos3 (<http://ov.inaoep.mx/>), una herramienta dedicada al estudio de sistemas de formación estelar.

Conclusiones

El proyecto Observatorio Virtual ha alcanzado ya una fase de madurez tal que se encuentra en condiciones de proporcionar herramientas y sistemas de análisis de enorme valor tanto para la astronomía multirrango como para el estudio de grandes volúmenes de datos.

Uno de los problemas potenciales que podrían afectar a la rápida aceptación de esta nueva metodología es, sin duda, su novedad. La falta de un programa adecuado de difusión del VO puede limitar grandemente su impacto en la comunidad

astrofísica simplemente por falta de conocimiento del enorme potencial que encierra. Uno de los objetivos del SVO es, por tanto, dar a conocer el proyecto mediante actuaciones a varios niveles, desde el nivel de la divulgación para el público en general hasta astrónomos profesionales. Para el primer colectivo se contempla el desarrollo del Portal Educativo del Observatorio Virtual Español. Para el segundo grupo se tiene pensado realizar presentaciones sobre el SVO en foros astrofísicos de relevancia (congresos, cursos, reuniones anuales de la Sociedad Española de Astronomía). Una de las principales vías de comunicación dentro de la comunidad científica son, sin duda, las revistas internacionales con sistema de arbitraje. Es nuestra intención realizar publicaciones mostrando los resultados relevantes obtenidos dentro del SVO. Otra línea de actuación de relevancia es la familiarización de las nuevas generaciones de astrónomos con el VO a través de cursos de doctorado, actividad que se viene realizando desde el año 2002 en colaboración con la Universidad Autónoma de Madrid.

Es importante reseñar igualmente que, una de las claves del extraordinario desarrollo del VO, ha sido la estrecha colaboración que existe entre el mundo científico y el mundo técnico. El Observatorio Virtual representa una oportunidad para poder hacer investigación de vanguardia no solamente para la comunidad astronómica sino también para los distintos grupos técnicos involucrados en los desarrollos. La interoperatividad entre archivos, el tratamiento de grandes volúmenes de datos mediante procesos distribuidos, aplicaciones de la tecnología GRID, desarrollo de técnica de ingeniería del conocimiento, . . . , son aspectos a los que el Observatorio Virtual pretende dar respuesta y que no son exclusivos de la Astrofísica por lo que los logros obtenidos en este campo son perfectamente extrapolables a otras áreas del conocimiento.

Enrique Solano Márquez, científico del LAEFF/INTA, es el investigador principal del Observatorio Virtual Español.

¡Ya llega OSIRIS!

Jordi Cepa

jcn@iac.es

Resumen

Cuando este Boletín llegue a manos de los lectores, ya habrán empezado las pruebas del instrumento OSIRIS, previas a su embarque rumbo al Observatorio del Roque de Los Muchachos para su instalación en el foco *Nasmyth* del GTC. En este artículo se proporciona una visión resumida de la evolución del instrumento en estas fases finales, así como de las principales prestaciones de OSIRIS y su comparación con las de otros instrumentos.

Introducción

OSIRIS es uno de los dos instrumentos de Día Uno de GTC. De todos los instrumentos que estarán

disponibles en el GTC durante los primeros años, será el de mayor campo, mayor resolución espectral y mayor eficiencia. También será el primer instrumento español que operará en el GTC, situación que se mantendrá durante los primeros años de funcionamiento del telescopio. Estos hechos confieren a OSIRIS un valor añadido al propio interés científico. También depositan una responsabilidad adicional sobre el equipo científico y técnico a cargo de su construcción. Somos conscientes de ello y por este motivo, llegados a esta etapa tan avanzada de su desarrollo que es el preludio de la recta final, tenemos la intención de proporcionar una información actualizada y frecuente, utilizando para ello distintos medios de difusión. De entre ellos, ninguno más adecuado que el Boletín de la Sociedad Española de Astronomía para mantener informada a la comunidad astronómica nacional, futura usuaria de OSIRIS.

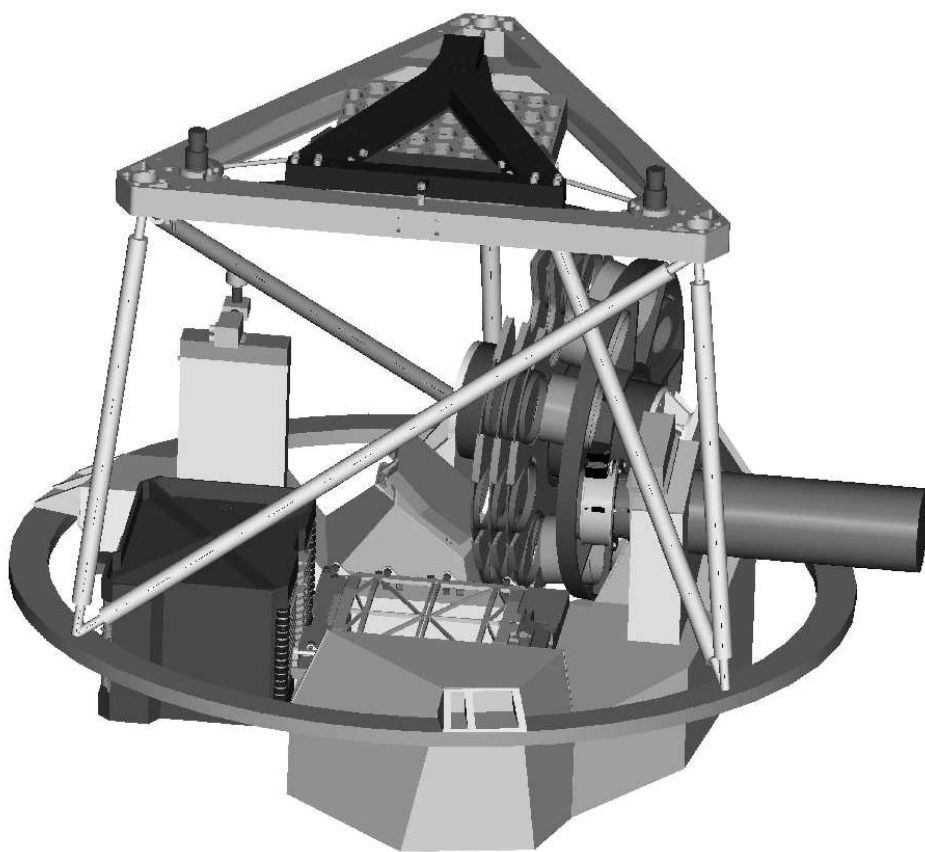


Figura 1 — *Imagen tridimensional de OSIRIS, el instrumento español de Día Uno del GTC. Durante los primeros años de operación del telescopio será el instrumento de mayor campo, mayor resolución espectral y mayor eficiencia.*

Tabla 1 — Comparación de las características de distintas cámaras-espectrógrafos existentes en telescopios de la clase 8–10m. OSIRIS es el instrumento que proporciona mejor calidad de imagen y mayor resolución, y es uno de los de mayor campo.

Telescopio	Instrumento	Campo ($''$)	Escala ($''/\text{pix}$)	Calidad de imagen ^a ($''$)	Máxima R ^b ($\lambda/\Delta\lambda$)
GTC	OSIRIS	8.6×8.6	0.12	0.12	5000
VLT	VIMOS	$4\times(7\times 8)$	0.20	0.40	2500 ^c
KECK	DEIMOS ^d	8.3×5.0	0.12	0.25	4500
VLT	FORS1/2	6.8×6.8	0.20	0.20	2700
GEMINI	GMOS	5.5×5.5	0.07	—	3600
SUBARU	FOCAS	6ϕ	0.10	0.14	3600

^a Definida como el tamaño de la imagen de un objeto puntual que contiene el 80 % de la energía.

^b Para una rendija de 0.6 segundos de arco de ancho.

^c En VIMOS no se recomienda utilizar rendijas de menos de 1 segundo de arco debido a problemas de flexiones, lo que limita la resolución máxima que puede alcanzar.

^d A diferencia de los restantes instrumentos, DEIMOS no es sensible por debajo de 410 nm.

Otros instrumentos

El hecho de que OSIRIS sea un instrumento de Día Uno motiva un diseño multifuncional, a fin de que una amplia fracción de la comunidad de usuarios del GTC pueda utilizar el telescopio desde la primera noche de operación. Por otro lado, que el GTC esté disponible unos años después de la entrada en operación de otros telescopios de clase 8–10m, motiva la incorporación de características que hagan de OSIRIS un instrumento único y competitivo. Conseguir armonizar ambas cualidades, una funcionalidad múltiple junto con características innovadoras, ha sido un reto añadido al diseño.

La funcionalidad múltiple se consigue mediante la multiplicidad de modos de observación: imagen en banda ancha y en banda estrecha, espectroscopía de rendija larga y multi-objeto, y fotometría y espectroscopía de alta velocidad. Además OSIRIS incorpora sistemas en línea para reducir el ruido atmosférico y aumentar la relación señal/ruido, como el desplazamiento de carga en imagen o la capacidad de cabeceo y desplazamiento (*nod & shuffle*) en espectroscopía.

La innovación se consigue con la incorporación de una primicia en telescopios de la clase 8–10m: los filtros sintonizables, que permiten obtener imágenes en banda estrecha a cualquier longitud de onda entre 365 y 1000 nm, con la posibilidad de elegir, además, la anchura espectral del filtro.

La competitividad, por la misma semántica de la palabra, se pondrá de manifiesto mediante una comparación con otros instrumentos. Para seleccionar los instrumentos de comparación se han uti-

lizado los criterios siguientes:

- Instrumentos existentes en telescopios de clase 8–10 m.
- Que sean cámara-espectrógrafo.
- Que cubran el rango espectral óptico.

Los datos utilizados proceden de las páginas WWW de los instrumentos y de manuales de usuario. La comparación se realizará a nivel de usuario, mediante los siguientes indicadores:

- Prestaciones tales como campo, calidad de imagen y máxima resolución espectral alcanzable (Tabla 1).
- Tiempo requerido para cambiar la configuración del instrumento (Tabla 2).
- Eficiencia del instrumento en cuanto a la transmisión de su óptica (Figura 2).

Del examen de la Tabla 1 se concluye que OSIRIS es el instrumento de mayor resolución espectral y mejor calidad de imagen, y que es el de mayor campo después de VIMOS. La mayor resolución permitirá abordar un abanico de proyectos más amplio y ambicioso, mientras que la cuidada calidad de imagen permitirá aprovechar al máximo la combinación del *seeing* del Observatorio del Roque de Los Muchachos con la calidad de imagen que proporcionará el GTC.

Tabla 2 — Comparación de los tiempos medios necesarios para cambiar la configuración de distintas cámaras-espectrógrafos en telescopios de la clase 8–10m. No se han incluido otros instrumentos que figuran en la Tabla 1 por no disponerse de información. OSIRIS es, con gran diferencia, el instrumento más rápido, lo que permitirá un mejor aprovechamiento del tiempo de observación.

Telescopio	Instrumento	Cambio de máscara (s)	Cambio de grisma (s)	Cambio de filtro (s)
GTC	OSIRIS	20	6	3
VLT	VIMOS	210	90	80
GEMINI	GMOS	120	90	20
SUBARU	FOCAS	120	90	60

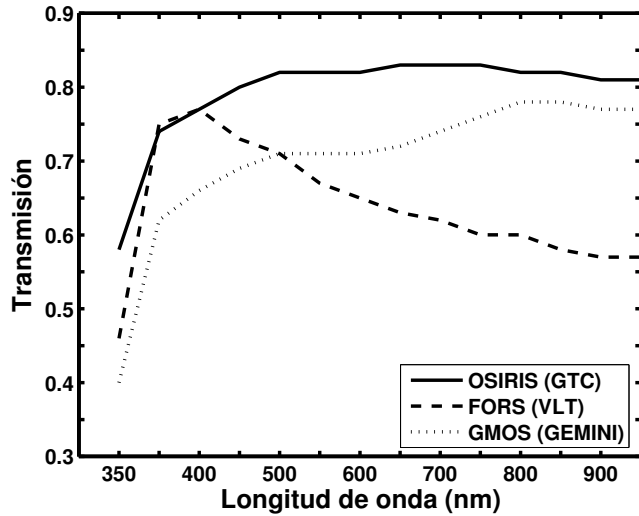


Figura 2 — Eficiencia comparada de distintas cámaras-espectrógrafos para telescopios de la clase 8–10m. No se ha incluido el telescopio ni el detector, solamente el instrumento. OSIRIS es excelente en un amplio rango de longitudes de onda, compitiendo con éxito en todo el rango espectral tanto con instrumentos optimizados en el azul como con instrumentos optimizados en el rojo, lo que lo convierte en un instrumento multipropósito excepcionalmente eficiente. No se han incluido otros instrumentos por la falta de datos suficientemente detallados.

La Tabla 2 resume, para los instrumentos de la Tabla 1 para los cuales ha sido posible encontrar esta información, el tiempo empleado en cambiar filtros, grismas y rendijas o máscaras multi-objeto. Puede observarse que OSIRIS barre a todos los demás instrumentos en cuanto a eficiencia de operación. Este es un aspecto importante que permitirá optimizar al máximo la operación del GTC y el tiempo de observación concedido al usuario. Esta rapidez de configuración de OSIRIS es tanto más manifiesta cuanto que permite elegir entre 13 máscaras, 2 filtros sintonizables, 6 grismas y 24 filtros convencionales, que estarán disponibles si-

multáneamente en el instrumento.

Finalmente, otro de los aspectos a tener en cuenta es la transmisión total del instrumento: la fracción de los fotones provenientes del plano focal del GTC que llegan al detector de OSIRIS. En la Figura 2 se representa la transmisión de OSIRIS comparada con FORS y GMOS. No se han encontrado datos tan detallados ni contrastados de los restantes instrumentos que figuran en la Tabla 1. OSIRIS se compara con ventaja tanto con instrumentos optimizados al azul como al rojo, mostrando una curva de transmisión equilibrada y muy alta en ambos rangos espectrales.

Estado actual

El estado de desarrollo de un instrumento se acostumbra a dar a conocer mediante los avances realizados en los distintos elementos que lo forman. A continuación se proporciona un resumen del estado de los principales componentes que integran OSIRIS.

Estructura

Es el elemento más pesado de OSIRIS. Proporciona el soporte de todos los demás componentes (ruedas de filtros, cámara, etc) y los mantiene en las posiciones exactas que deben ocupar. También se encarga de proporcionar la rigidez necesaria a todo el conjunto.

La estructura (Figura 3) se encuentra en el IAC desde el mes de febrero, completamente terminada y verificada. Cumple satisfactoriamente todos los requisitos de peso, dimensiones y rigidez estructural demandada.



Figura 3 — Imagen de la estructura de OSIRIS ya terminada. Se acopla al foco Nasmyth, o Cassegrain, y se encarga de mantener todos los elementos de OSIRIS en su posición exacta y de conferir al instrumento la necesaria rigidez estructural.

Unidad de Máscaras

Consta de un almacén con capacidad para 13 máscaras y de un cargador que se encarga de seleccionarlas e insertarlas o retirarlas del plano focal. Esta operación no demorará más de 12 segundos, tiempo inferior al de lectura del detector. De este modo, la operación de cambio de máscaras no introducirá tiempos de espera y permitirá optimizar al máximo el tiempo de observación.

Además de máscaras para aplicaciones específicas como fotometría rápida, se dispondrá de máscaras de rendijas largas de distintas anchuras, así como de máscaras para espectroscopía multiobjeto. Estas últimas serán diseñadas por los usuarios para cada proyecto científico específico, utilizando programas especialmente destinados al efecto.

Tanto el almacén (Figura 4) como el cargador (Figura 5) se hallan completamente terminados y en fase de pruebas de verificación en el momento de escribir estas líneas. Las rendijas largas y el programa de diseño de las máscaras multiobjeto están también concluidos y probados.



Figura 4 — Almacén de máscaras de OSIRIS ya terminado, con una de las máscaras multiobjeto sin anodizar. Tiene capacidad para 13 máscaras que se insertan o retiran del plano focal de OSIRIS en 12 segundos como máximo.

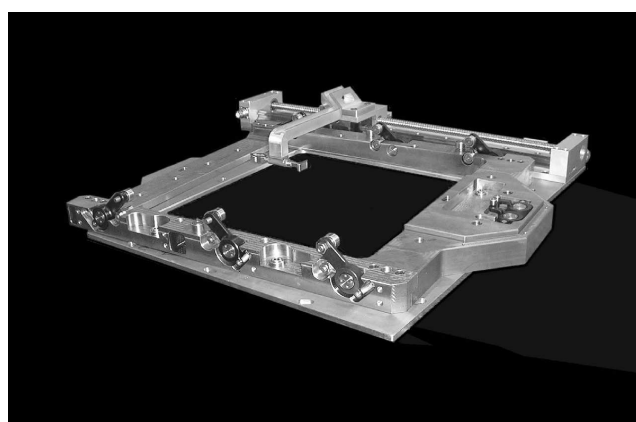


Figura 5 — Cargador de máscaras. Inserta o retira las máscaras del plano focal de OSIRIS desde o hacia el almacén (Figura 4). Su gran estabilidad garantiza una precisa calibración en flujo, y su estricta repetibilidad permite una rápida adquisición del objeto.

Óptica

La óptica de OSIRIS consta de un espejo colimador de 60×65 cm, un espejo plano que dobla el haz, y una cámara compuesta de 3 lentes dobles y 3 simples (Figura 6) que incorpora el obturador. Las lentes de la cámara se mantienen en posición mediante un conjunto de soportes de diversos materiales denominados barriles. Esta óptica le proporciona a OSIRIS un gran campo de visión, con una calidad de imagen y eficiencia excepcionales (Tabla 1 y Figura 2).

El colimador está ya pulido y recubierto y su estructura de soporte finalizada. Todas las lentes

están ya terminadas y con sus recubrimientos antirreflectantes depositados (Figura 7). Los barriles de la cámara están ya concluidos y están siendo tratados con pintura antirreflectante para empezar seguidamente el proceso de montaje. En cuanto al obturador, se halla en el IAC desde hace tiempo y ya ha sido completamente probado y caracterizado. Todas las lentes, recubrimientos, barriles y obturador cumplen con las estrictas características requeridas.

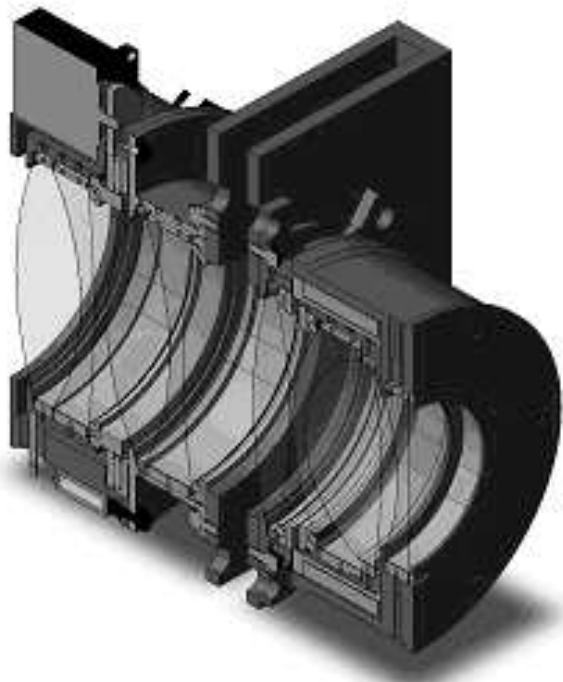


Figura 6 — Sección transversal de una imagen tridimensional de la cámara de OSIRIS. La óptica de la cámara se compone de tres lentes dobles y tres simples. Los materiales de las lentes han sido elegidos para proporcionar la máxima eficiencia en el rojo, con una elevada eficiencia en el UV óptico (Figura 2). En la imagen se pueden apreciar los barriles de las lentes, que mantienen a éstas en sus posiciones con exactitud, así como la ranura que alberga el obturador.

Ruedas de filtros y grismas

Cuatro ruedas concéntricas que se mueven independientemente se encargan de situar en el haz el elemento óptico que se precise, sea éste un filtro de banda ancha, un filtro sintonizable o un grisma para espectroscopía. Las ruedas tienen capacidad para dos filtros sintonizables, seis grismas y 24 filtros convencionales. El tiempo de cambio de filtro o grisma es de solamente unos pocos segundos (Tabla 2).

Las ruedas de filtros y grismas están ya terminadas y montadas y se hallan en proceso de verificación (Figura 8).

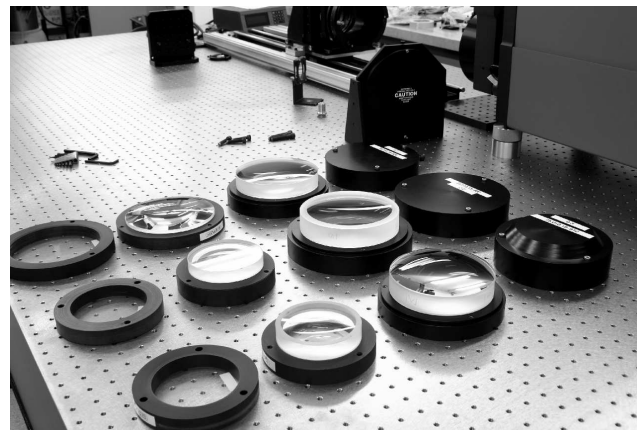


Figura 7 — Lentes de la cámara de OSIRIS listas para su montaje. La cuidadosa selección de los materiales y los recubrimientos antirreflectantes garantizan una eficiencia excepcional, que se muestra en la Figura 2.

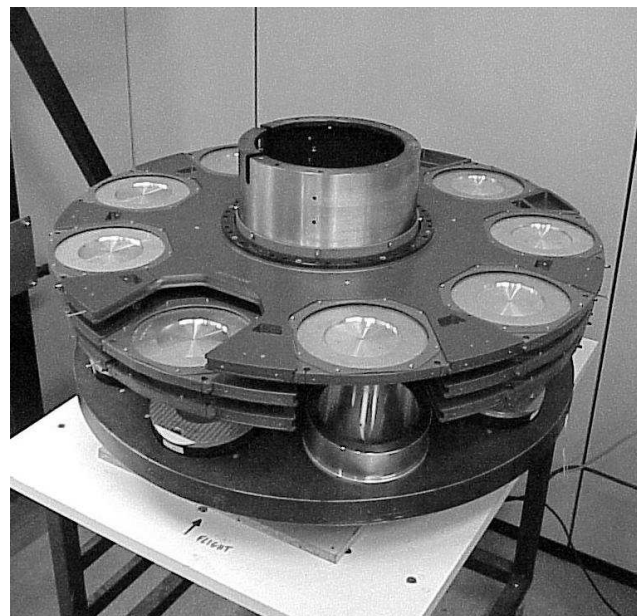


Figura 8 — Las ruedas de filtros, grismas y filtros sintonizables de OSIRIS ya terminadas y ensambladas. Cuatro ruedas independientes se encargan de insertar o retirar del haz el elemento óptico elegido. Las ruedas tienen capacidad para los dos filtros sintonizables, seis grismas y 24 filtros convencionales.

Grismas y filtros

Se han recibido y probado satisfactoriamente en el IAC los grismas para resoluciones 250, 500 y 1.000. Los grismas de resolución 2.500 y 5.000, basados en VPH, ya han sido encargados para su fabricación.



Figura 9 — *Los grismas de baja resolución ($R=250$, 500 y 1.000) de OSIRIS. Los de resolución 2.500 y 5.000 se hallan en camino.*

Los filtros convencionales incluyen filtros de banda ancha *ugriz* y los cortaórdenes necesarios para espectroscopía, que se hallan en los últimos estadios de fabricación.

Uno de los elementos esenciales y emblemáticos de OSIRIS son los filtros sintonizables. Con dos de ellos se cubre todo el intervalo espectral de OSIRIS, solapando su cobertura espectral en la línea $H\alpha$ a desplazamiento al rojo cero. Estos filtros sintonizables no solamente permiten observar (sintonizar) cualquier longitud de onda dentro del rango espectral de 365 a 1000 nm, sino que, para cada longitud de onda seleccionada, permiten al usuario elegir además la anchura del filtro según lo requiera su programa de observación. Los anchos que se podrán seleccionar estarán comprendidos entre 6 nm y menos de 1.2 nm. Los dos filtros sintonizables de OSIRIS se hallan en el IAC y ya han sido aceptados, validados y caracterizados.

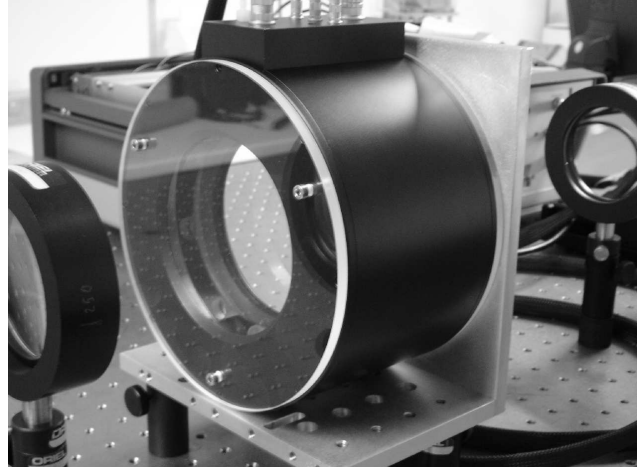


Figura 10 — *El filtro sintonizable azul de OSIRIS en fase de caracterización en el laboratorio de óptica del IAC.*

Detector y criostato

Los detectores ya están disponibles y caracterizados por la Oficina del Proyecto GRANTECAN S.A. El criostato está en fase de fabricación y llegará al IAC en el mes de junio. En cuanto a la electrónica del sistema de lectura, ya ha sido terminada y probada, y se han verificado con total éxito todos los modos de lectura previstos: velocidades de lectura rápida, media y lenta; lectura por ventanas; *frame transfer*; *charge shuffling*, etc.

Prestaciones de OSIRIS

Aunque ya se han presentado en varios foros y comunicaciones a congresos, las tablas 3 y 4 muestran las principales características de OSIRIS. Como responsable científico del instrumento debo destacar, sin embargo, que este resumen de características solamente permite mostrar la punta del iceberg de todas las prestaciones que tiene OSIRIS.

El proyecto OTELO

Es difícil hacer referencia a OSIRIS sin mencionar también OTELO. El proyecto OTELO es el programa científico que permitirá obtener el máximo rendimiento de OSIRIS en el área de cartografiados profundos del cielo para la detección de objetos en emisión.

La sensibilidad de OSIRIS, la alta eficiencia de los filtros sintonizables comparados con filtros de banda estrecha convencionales, y las técnicas de sustracción del cielo en línea (mediante *charge-shuffling*) que incorpora OSIRIS, permitirán llegar al límite absoluto de profundidad que es posible alcanzar con un telescopio de 10 m. Se alcanzará una profundidad que permitirá medir, a 5σ ,

Tabla 3 — *Resumen de los principales modos de observación de OSIRIS*

Modo	Comentarios
Imagen banda ancha	ugriz y cortaórdenes
Imagen banda estrecha	Filtros sintonizables
Espectroscopía	Rendija larga y multiobjeto
Modos rápidos	Imagen y espectroscopía

 Tabla 4 — *Resumen de las principales características de OSIRIS*

Parámetro	Comentarios
Rango espectral	360 a 1000 nm
Campo	8,6' × 8,6'
Resolución espectral	La máxima es 5.000
Detector	Mosaico de dos CCD de 2k×4k

líneas de emisión de menos de 10^{-18} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ con tiempos de exposición cortos. De esta manera, con una cobertura de un grado cuadrado, se detectarán decenas de miles de galaxias en emisión, de las cuales una fracción significativa corresponderá a galaxias Ly α de baja luminosidad, cuásares y núcleos galácticos activos. Los primeros permitirán estudiar los objetos más jóvenes del Universo, mientras que los últimos caerán como moscas en las redes tendidas por OTELO y permitirán estudiar su evolución. Dado que OTELO detectará, además de H α , Ly α y otras líneas que son intensas en cuásares, un conjunto de líneas de emisión como N[II] λ 658.4 nm y los oxígenos O[II] λ 372.7 nm y O[III] λ 500.7 nm, será posible estudiar no solamente la formación estelar o los núcleos activos, sino también la evolución química del Universo. Las aplicaciones de OTELO no se restringen, sin embargo, al dominio extragaláctico. OTELO también proporcionará un censo de estrellas con líneas de emisión en nuestra galaxia.

Conclusiones

Aunque optimizado para obtener imágenes utilizando filtros sintonizables, OSIRIS ha sido concebido como un instrumento multipropósito y competitivo, con gran variedad de modos de observación y amplias prestaciones.

De entre las cámaras-espectrógrafos actualmente en operación en telescopios de la clase 8–10m, OSIRIS es el instrumento de mayor resolución espectral, mejor calidad de imagen, mayor velocidad

de operación, con un gran campo y con una transmisión excepcional en todo el intervalo espectral.

Es una satisfacción comprobar como el trabajo de años empieza a dar sus frutos, y que éstos cumplen las expectativas depositadas en el instrumento. Todavía es más satisfactorio, sin embargo, compartir los resultados con la futura comunidad de usuarios, que dispondrá de OSIRIS desde el mismo Día Uno de operación del GTC.

Finalmente, el catálogo de objetos en emisión proporcionado por OTELO, que será el más amplio y profundo, constituirá un patrimonio singular y de amplias aplicaciones para la comunidad astronómica española.

Agradecimientos

El autor desea agradecer a todo el equipo científico, perteneciente a distintas instituciones, y a todo el equipo de ingeniería del IAC y del IA-UNAM, el esfuerzo que llevan realizando desde hace años para hacer de OSIRIS una realidad.

OSIRIS ha sido financiado por GRANTECAN S.A., el Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica mediante el proyecto AYA2000-0333-P4, y por el Instituto de Astrofísica de Canarias.

Puede encontrarse más información sobre OSIRIS y sobre OTELO en:

<http://www.iac.es/project/OSIRIS>.

Jordi Cepa, profesor titular del Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna y miembro del IAC, es el investigador principal de OSIRIS.

Ramón Luna Molina

ralunam@fis.upv.es

Tesis doctoral dirigida por Pedro García Lario y Miguel Ángel Satorre Aznar

Centro: Escuela Politécnica de Alcoy (Universidad Politécnica de Valencia)

Fecha de lectura: 26 de noviembre de 2004

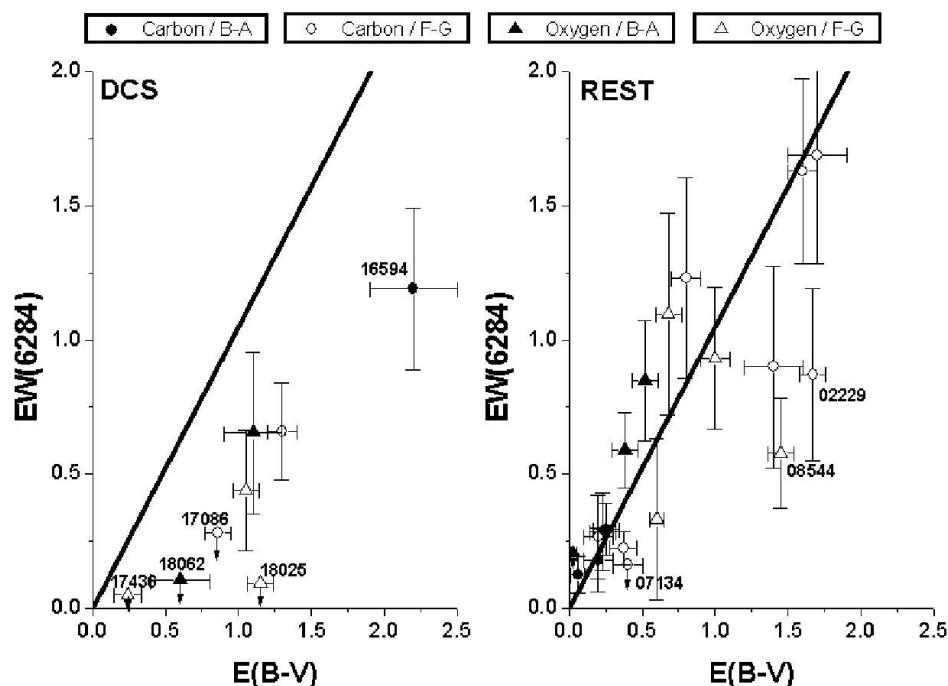
Las Bandas Difusas Interestelares (DIBs) son bandas de anchura e intensidad variable, de origen todavía desconocido, que aparecen superpuestas a los espectros de estrellas brillantes y enrojecidas localizadas principalmente en la dirección de observación de nubes moleculares densas de nuestra galaxia. Desde su descubrimiento, hace ahora más de 80 años, se han identificado y catalogado más de 300 DIBs en el intervalo espectral 3600–10200 Å, sin embargo todavía no hay una identificación inequívoca de las especies que las generan. Se ha propuesto que pueden ser debidas a granos de polvo y/o moléculas libres de diferente composición y tamaño, aunque la línea actual de estudio está dirigida principalmente hacia compuestos basados en el carbono.

Recientemente se ha sugerido que las DIBs pueden tener su origen en las envolturas circunestelares de estrellas evolucionadas por lo que, en lugar del nombre asignado inicialmente, algunos autores

proponen llamar Bandas Difusas (DBs) a estas signatures espectrales. Las gruesas capas de material debidas a los densos flujos de materia expulsada por estrellas en la fase AGB podrían ser un lugar propicio para la formación de las especies responsables de estas bandas. Desafortunadamente la detección de las DIBs en el continuo estelar de las estrellas AGB es extremadamente difícil debido a la presencia de intensas bandas moleculares en sus atmósferas que hacen esta tarea prácticamente imposible. Principalmente por esta razón todavía no se ha hecho ningún estudio sistemático.

Sin embargo existe una alternativa que permanece todavía sin explorar de forma sistemática y son las estrellas post-AGB. Éstas se encuentran evolucionando muy rápidamente en el diagrama H-R hacia *nebulosas planetarias* mientras todavía están rodeadas por los restos de la capa circunestelar de la fase AGB.

Figura 1 — Intensidad de la DB 6284 Å frente a la extinción en función de la química dominante y del tipo espectral en las estrellas observadas pertenecientes a cada uno de los dos grupos en que se ha dividido la muestra. Las flechas verticales orientadas hacia abajo indican límites superiores.



En esta tesis, se presentan los resultados de un estudio consistente en la búsqueda sistemática de 9 de las Bandas Difusas más intensas y mejor conocidas (5780, 5797, 5850, 6196, 6284, 6379, 6614, 6993 y 7224 Å), normalmente encontradas en el medio interestelar, en las direcciones de observación correspondientes a una muestra de 33 estrellas post-AGB cuidadosamente seleccionadas. El objetivo es determinar si (algunas de) las especies responsables de estas DBs podrían estar presentes en sus envolturas circunestelares y ser las responsables de las DBs detectadas en sus espectros ópticos de alta resolución.

Al comparar el valor de la intensidad de las DBs frente a la extinción en nuestra muestra de estrellas post-AGB respecto de estrellas de campo tomadas como referencia, se ha observado que la mayoría de las estrellas post-AGB presentan intensidades de las DBs inferiores a las esperadas por su valor de extinción, lo cual podría indicar la menor abundancia o incluso la ausencia de las especies responsables de estas bandas en las envolturas circunestelares. Para determinar si esta hipótesis es consistente con nuestros datos observacionales, se ha estimado la contribución de las

envolturas circunestelares a la extinción global a partir su Latitud Galáctica con el fin de dividir el conjunto de estrellas estudiadas en dos grupos: las estrellas cuya extinción está dominada por la contribución circunestelar (DCS) y las estrellas cuya extinción es consistente con el valor de la Latitud Galáctica (REST).

En un análisis posterior se observa que las estrellas DCS presentan sistemáticamente un déficit considerable en la intensidad de las DBs detectadas (ver Figura 1). Este déficit es independiente de la química dominante en la envoltura circunestelar y de la temperatura efectiva de las estrellas post-AGB consideradas, y sería compatible con la ausencia total de las especies responsables de las DBs en sus envolturas. Sólo en el caso de estrellas post-AGB ricas en carbono de tipos espectrales tempranos, se encuentran evidencias que permiten sugerir que estas especies podrían comenzar a formarse *in situ* en este tipo de estrellas, al final de la fase post-AGB. Ello sería consecuencia fundamentalmente de la creciente irradiación UV procedente de la estrella central que está sufriendo una rápida evolución.

Estudio de la actividad, rotación, cinemática y edad en estrellas frías miembros de grupos cinemáticos jóvenes

Javier López Santiago

jlopez@astropa.unipa.it

Tesis doctoral dirigida por David Montes

Centro: Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 14 de enero de 2005

En esta tesis doctoral nos hemos ocupado de realizar una caracterización espectroscópica completa desde el punto de vista de la actividad magnética, rotación, cinemática y edad de las estrellas frías miembros de los grupos cinemáticos más jóvenes: Asociación Local (20–150 Ma), supercúmulo Hyades (~600 Ma), grupo de movimiento Ursa Major (~300 Ma), supercúmulo IC 2391 (~35 Ma) y grupo de movimiento de Castor (~200 Ma), objetivos potenciales de exploraciones para la búsqueda de compañeras subestelares y planetas. En primer lugar se ha creado un catálogo de 535 posibles miembros de los grupos cinemáticos estudiados de un total de 1200 objetos seleccionados entre las distintas recopilaciones de estrellas frías activas, que se encuentran

en la literatura, así como de otros posibles miembros elegidos en base a su abundancia de litio y/o cinemática. Se ha estudiado la pertenencia de las 535 candidatas a través de criterios cinemáticos, fotométricos y espectroscópicos utilizando datos obtenidos de la bibliografía. Basándonos en los resultados obtenidos, se han seleccionado 105 estrellas a las que se ha añadido una muestra de 39 candidatas, de las que se desconocía anteriormente su cinemática, pero que presentan un alto nivel de actividad cromosférica y/o una gran abundancia de litio, indicadores físicos de una edad temprana.

Se ha realizado la exploración espectroscópica de estas 144 candidatas utilizando espectrógrafos *echelle* de alta resolución con el fin de observar simultáneamente todos los indicadores de activi-

dad cromosférica, así como la línea de resonancia del litio en 6707.8 Å. Igualmente, se ha realizado un seguimiento temporal de muchas de las candidatas, con el propósito de detectar variabilidad en la actividad magnética, así como una posible binariedad. Los resultados nos han permitido estudiar la cinemática, rotación y actividad cromosférica de todas las candidatas, así como determinar su edad a partir de indicadores espectroscópicos y fotométricos. Todo ello ha contribuido a obtener una visión precisa de la realidad de los grupos de movimiento, demostrando que en su formación están implicados dos procesos que actúan

simultáneamente: la rotación galáctica diferencial y la migración debida a ondas de densidad espiral, constatado por la existencia de subgrupos de edades distintas dentro de los grupos principales, gran parte de los cuales han sido identificados aquí por primera vez. Asimismo, se ha demostrado que parte de estos subgrupos de edad están relacionados con cúmulos estelares bien conocidos, lo que indica un escenario de formación en el cual parte de la asociación original permanece ligada gravitacionalmente formando un cúmulo estelar, mientras que el resto de miembros se dispersa por acción del potencial galáctico total.

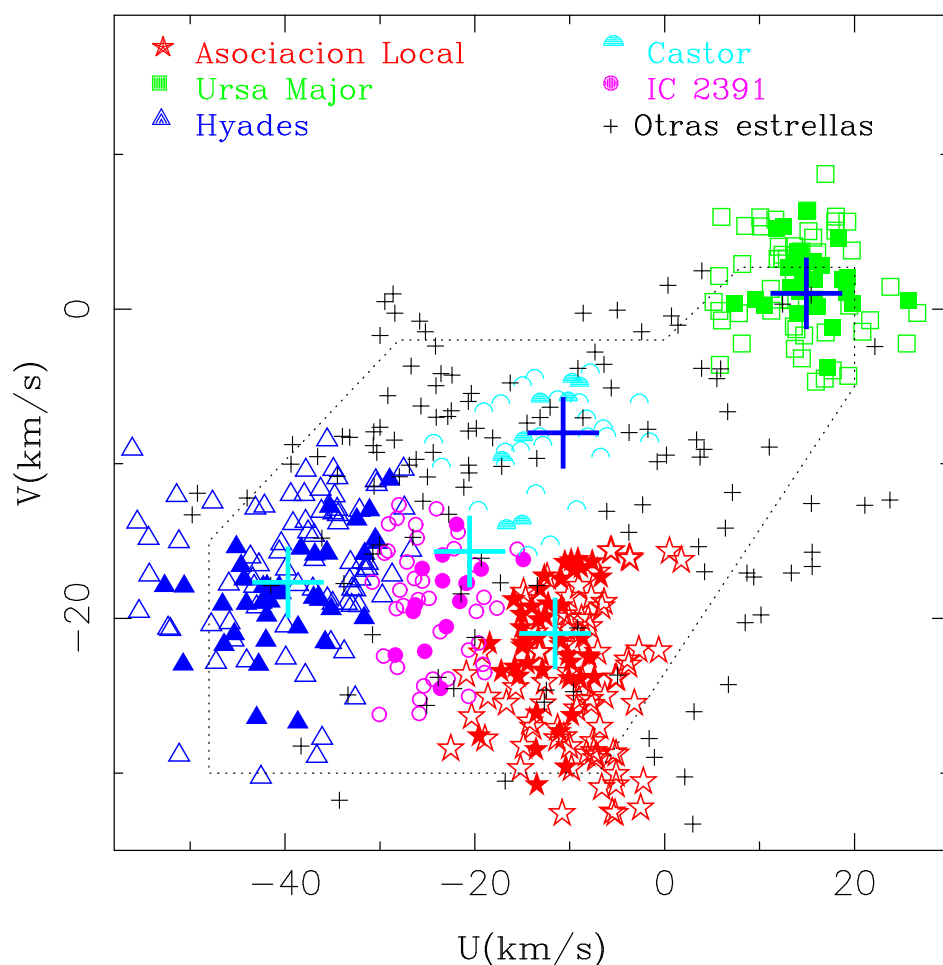


Figura 1 — Posición de las estrellas del catálogo de posibles miembros de grupos cinemáticos jóvenes en el plano-UV. Con distintos símbolos se muestran las candidatas de cada grupo (véase leyenda).

Paralelamente, se ha llevado a cabo un estudio de la relación que existe entre la emisión de las distintas líneas cromosféricas, así como entre la actividad magnética y la rotación estelar, y de cómo la edad influye en ellas, demostrándose que ésta es un factor determinante en la dispersión encontrada en las relaciones actividad-rotación. Por otro lado, se ha determinado la relación entre la emisión en las líneas del triplete infrarrojo de Ca II (IRT) y el resto de líneas cromosféricas, encontrándose que las estrellas de tipo UV Ceti (estrellas de tipo dMe

con fulguraciones) siguen una tendencia diversa en la relación $H\alpha$ vs. Ca II (IRT), lo que implica un cambio en el modelo de emisión de estas estrellas con respecto a las de tipos espectrales más tempranos.

El resultado final de este trabajo de tesis doctoral es, así, la caracterización espectroscópica de una amplia muestra de estrellas de la vecindad solar con un rango de edades entre 20 y 650 Ma, que servirá a la comunidad científica como punto de referencia para la búsqueda de componentes

subestelares y planetas utilizando técnicas de óptica adaptativa, así como para estudiar la influencia de la actividad magnética en la formación de planetas gigantes y, particularmente, de tipo terrestre.

Asimismo, los resultados se utilizarán para realizar un estudio sistemático de los *análogos solares*, con el fin de comprender la evolución con la edad de la actividad magnética en estrellas de tipo solar.

Estructura espacial y cinemática de la componente estelar joven en el entorno solar^a

David Fernández Barba

david.fernandez@am.ub.es

Tesis doctoral dirigida por Francesca Figueras Siñol y Jordi Torra Roca

Centro: Universitat de Barcelona

Fecha de lectura: 18 de febrero de 2005

^aLa memoria completa de esta tesis se encuentra disponible en el *Servidor de Tesis Doctorals en Xarxa* (TDX): <http://www.tdx.cesca.es/TDX-0316105-114904/>

En este trabajo se ha realizado un estudio de la estructura espacial y cinemática de la componente estelar joven de la Galaxia en el entorno solar en tres escalas diferentes, que han permitido estudiar la estructura espiral galáctica, el Cinturón de Gould y la componente estelar joven en el entorno solar más cercano.

Se han construido tres muestras de estrellas con datos procedentes del catálogo Hipparcos. La primera de ellas está formada por estrellas de los tipos espectrales O y B, y contiene información astrométrica, fotométrica, velocidades radiales y diversos parámetros físicos de las estrellas, incluyendo la edad. La segunda muestra contiene todas las estrellas variables cefeidas del catálogo Hipparcos, con información astrométrica, distancias calculadas a partir de dos calibraciones periodo-luminosidad y velocidades radiales. Finalmente, se ha recopilado toda la información existente hasta la fecha en la bibliografía referente a las asociaciones locales jóvenes que han sido descubiertas en el entorno solar más cercano durante los últimos años.

A partir de las muestras de estrellas que se han construido se ha estudiado, en primer lugar, la estructura espiral de la Galaxia. Los resultados más destacados en este apartado son que el Sol se encuentra situado en la parte externa del brazo espiral más cercano y fuera del círculo de corrotación. Ambos resultados pueden tener una gran importancia en la historia de la formación estelar reciente en el entorno solar. También se ha obtenido un valor negativo (y significativo) para la divergencia del campo de velocidades (término K). Los

resultados obtenidos han sido validados a través de unas simulaciones, que han permitido obtener una estimación externa de los errores y una evaluación de los sesgos que afectan a los diferentes parámetros obtenidos.

A una escala a 1 kpc de distancia heliocéntrica, la estructura dominante en el entorno solar es el denominado Cinturón de Gould, que contiene la mayor parte de las estrellas jóvenes y nubes de polvo y gas de esta región. En nuestro trabajo hemos obtenido los parámetros de orientación del Cinturón y se ha estudiado su peculiar cinemática, tras la realización de unas simulaciones con los mismos objetivos que las mencionadas anteriormente. Se ha obtenido que las estrellas del complejo de Scorpio-Centaurus (Sco-Cen) presentan una cinemática que no se ajusta a la prevista por los diversos modelos que intentan explicar la evolución cinemática del Cinturón. También se ha obtenido que el movimiento de expansión de esta estructura no parece ser un efecto global, ya que se restringe a los primeros ~ 250 pc de distancia heliocéntrica.

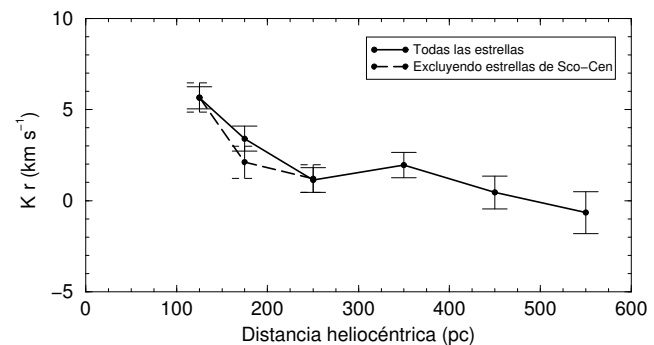


Figura 1 — Variación del producto $K \cdot r$ en función

de la distancia heliocéntrica para estrellas con una edad inferior a 60 Ma.

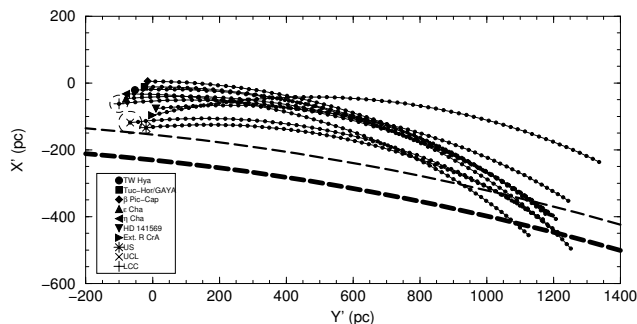


Figura 2 — Órbitas hacia atrás en el tiempo en el plano galáctico hasta $t = -30$ Ma de las asociaciones de estrellas jóvenes y de las tres asociaciones del complejo de Scorpius-Centaurus. El sistema de coordenadas utilizado rota con una velocidad angular constante e igual a la de giro de la estructura espiral de la Galaxia ($\Omega_p = 30 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$), de manera que en este sistema de referencia los brazos espirales se mantienen inmóviles. Con un trazo discontinuo grueso se marca la posición del pozo

de potencial de la estructura espiral ($\psi = 0^\circ$) para el brazo espiral más cercano, y con un trazo menos grueso la posición de la fase $\psi = 10^\circ$.

El estudio de la integración de las órbitas hacia atrás en el tiempo de las asociaciones locales jóvenes y de los miembros del complejo de Sco-Cen nos ha permitido inferir que las primeras no se formaron en el interior de este complejo, sino en pequeñas nubes moleculares situadas en sus alrededores, y que previamente habían sido expulsadas. Por otro lado, se ha visto que alguna supernova de estas asociaciones locales jóvenes fue probablemente la responsable del recalentamiento de la Burbuja Local hace unos pocos millones de años. Finalmente, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en diversos apartados de este trabajo, se ha propuesto un escenario para la formación estelar reciente en el entorno solar a partir del impacto de una gran nube molecular con el brazo espiral interno, que dio lugar, en diferentes fases, al complejo de Sco-Cen y a las asociaciones locales jóvenes.

X-Gamma Ray Imaging of HMXRB with INTEGRAL

Silvia Martínez Núñez

Silvia.Martinez@uv.es

Tesis doctoral dirigida por Víctor Reglero, Peter Kretschmar y Pablo Reig

Centro: Departamento de Astronomía y Astrofísica. Universidad de Valencia

Fecha de lectura: 12 de marzo de 2005

Esta tesis es el resultado de mi participación en el desarrollo de las herramientas de análisis científico para el monitor de rayos X (JEM-X) a bordo de la misión INTEGRAL (*INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory*) y la reducción y análisis de los datos proporcionados por los tres instrumentos de alta energía del satélite.

INTEGRAL es una misión de la ESA (Agencia Espacial Europea) de altas energías lanzada con éxito el 17 de octubre de 2002. Sus principales objetivos son la obtención de espectros e imágenes de alta resolución en el rango de energía 15 keV–10 MeV, así como el seguimiento simultáneo de la emisión en rayos X y en el óptico de fuentes de rayos γ .

El satélite está formado por dos instrumentos principales: un espectrómetro (SPI) y una cámara de imágenes (IBIS). Completan el satélite dos monitores, uno de rayos X (JEM-X) y otro en la banda óptica (OMC), alineados con los instrumentos

principales.

Los principales objetivos científicos de INTEGRAL son: objetos compactos, astronomía galáctica, nucleosíntesis estelar, el plano de nuestra galaxia y su estructura central, los procesos de aceleración de partículas, la identificación de fuentes de alta energía y el descubrimiento de nuevas fuentes inesperadas.

Los tres instrumentos de alta energía son telescopios de máscaras codificadas. Estos telescopios están formados por una máscara codificada, i.e. una matriz de elementos opacos y transparentes organizados siguiendo un patrón regular, situada entre las fuentes y un detector sensible a la posición. Conociendo el patrón regular de la máscara y la imagen producida en el plano detector, se puede reconstruir la imagen del cielo por medio de métodos de deconvolución.

El análisis científico de los datos de la misión IN-

INTEGRAL requiere considerable tiempo y capacidad de procesamiento para transformar los datos enviados por el satélite en imágenes, curvas de luz y espectros, debido principalmente a que los tres instrumentos de alta energía son telescopios de máscaras codificadas.

La tesis se divide en dos partes. En la primera parte se describe el software de análisis científico del monitor de rayos X (JEM-X). El trabajo presentado en esta primera parte es consecuencia del estudio de las herramientas de análisis de JEM-X, su validación científica durante las primeras fases de la misión y el desarrollo y mantenimiento de los guiones (“*scripts*”) de análisis del monitor.

En la segunda parte de la tesis se presentan los resultados del análisis de los datos de INTEGRAL para el enigmático sistema binario de rayos X Cygnus X-3. Este sistema ha sido observado desde los comienzos de la astronomía de rayos X, pero su naturaleza es todavía desconocida. Esta tesis proporciona nuevas claves para resolver la misteriosa naturaleza de la fuente.

Los principales objetivos del estudio presentado en esta parte de la tesis han sido:

- Localización de la fuente mediante la obtención de imágenes en diferentes bandas de energía. INTEGRAL permite localizar e identificar fuentes de rayos X y γ con una precisión sin precedentes.
- Estudio de la variabilidad del flujo de la fuente en diversos rangos energéticos, en función del tiempo y de la fase orbital del sistema.
- Caracterización del estado espectral de la fuente en nuestro período de observación y sus variaciones en función del tiempo y de la fase orbital.

Los principales resultados de este estudio son: el análisis temporal revela que la fuente se encuentra principalmente en el llamado estado alto de intensidad, excepto durante un par de días de observación, detectándose modulación orbital desde 5 keV hasta 40 keV. Los diagramas color-fase muestran variabilidad de los colores indicando un endurecimiento del estado de la fuente conforme la luminosidad decrece. El análisis espectral nos confirma que la fuente se encuentra en un estado alto/blando excepto durante un par de días donde muestra un estado más bajo/duro. Durante el estado alto la fuente presenta variaciones espectrales con la fase orbital caracterizadas por: aumento de la anchura equivalente de la línea de emisión del Fe conforme la luminosidad decrece, presencia de un exceso de rayos blandos que no varía con la fase, aumento de la opacidad conforme la luminosidad disminuye y aumento del índice espectral de la ley de potencias ajustada conforme la luminosidad aumenta.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican la presencia de un halo de acrecimiento en el disco (“*Accretion Disk Corona*”), donde la transición observada a un estado más bajo/duro es debida a cambios en la opacidad y la densidad electrónica de la corona. Mientras que las variaciones orbitales detectadas son debidas a la presencia de una distribución no uniforme de electrones térmicos y no-térmicos en el halo. La ocultación parcial de la corona conlleva a la detección de regiones con distinta ionización del halo.

Por último, mencionar que, atendiendo a nuestros resultados, la modulación de la emisión en X no puede ser debida a un fenómeno de absorción como sugieren diversos autores.

La tesis puede descargarse en formato PDF en la dirección: <http://castor.uv.es/who/smartinez.htm>.

Modos de Oscilación en Estrellas con Simetría Axial

Francisco Espinosa Lara

fel@iac.es

Tesis doctoral dirigida por Fernando Pérez Hernández y Teodoro Roca Cortés

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias

Fecha de lectura: 18 de Marzo de 2005

La rotación juega un papel importante en la estructura y evolución de las estrellas. La mayoría de las estrellas con tipos espectrales más tempranos que el Sol presentan altas velocidades de rotación. Por

ello, si queremos aplicar las técnicas de la *Astrosismología* al estudio de estas estrellas, debemos comprender cómo afecta la rotación a las oscilaciones estelares. En la actualidad, existe una gran canti-

dad de observaciones de estrellas de tipo δ Scuti en las cuales se han detectado frecuencias de oscilación, aunque su estructura no está aún bien entendida. Desafortunadamente los métodos disponibles hasta la fecha para calcular las oscilaciones en estrellas en rotación se basan en técnicas perturbativas, las cuales solamente son válidas para velocidades de rotación bajas. El objetivo de esta tesis doctoral es la elaboración de un algoritmo matemático y el correspondiente código numérico (OMASS2d) para calcular los modos acústicos de oscilación en una estrella cuya estructura está fuertemente deformada por la rotación.

Partiendo de las ecuaciones de los fluidos en un caso de simetría axial y, realizando ciertas aproximaciones (aproximación de Cowling, oscilaciones acústicas, despreciar la fuerza de Coriolis) se ha obtenido la ecuación de oscilación que gobierna el comportamiento de las perturbaciones adiabáticas en el interior de la estrella. Gracias a las aproximaciones realizadas, es posible escribir esta ecuación en términos de una única variable escalar, ψ , que describe las autofunciones:

$$c^2 \Delta \psi + \left(2 \nabla c^2 - \frac{\nabla p_0}{\rho_0} \right) \nabla \psi + \left[\Delta c^2 - \operatorname{div} \left(\frac{\nabla p_0}{\rho_0} \right) \right] \psi = -(\omega - m\Omega)^2 \psi. \quad (1)$$

A diferencia del caso sin rotación (con simetría esférica), la ecuación no es separable por lo que es necesario resolver el problema de valores propios en un recinto bidimensional, y además el grado l ya no es un parámetro de la ecuación, lo cual complica la clasificación de los modos resultantes del cálculo. Para la resolución se ha utilizado un método de diferencias finitas implícito, empleando el método de Arnoldi implícitamente reinicializado para calcular los valores y vectores propios de la matriz asociada. Para comprobar la fiabilidad del código, se han realizado varias pruebas en diversos escenarios para los cuales se puede conocer la solución de manera independiente, obteniendo en todos los casos resultados satisfactorios.

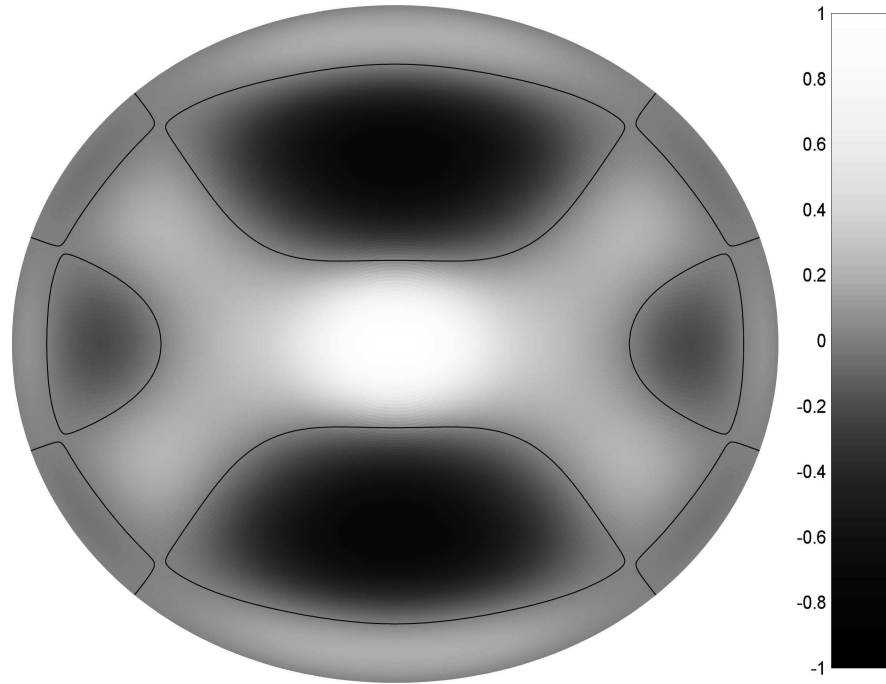


Figura 1 — Ejemplo de autofunción para una estrella de $1.8 M_{\odot}$ con rotación elevada (78 % de la velocidad de rotura). Corresponde a un modo clasificado como $(n, l, m) = (1, 4, 0)$. Se representa un corte transversal en un plano meridiano.

Utilizando este nuevo código se han calculado los modos de oscilación para dos conjuntos de modelos estelares. El primero está compuesto por modelos estelares con densidad uniforme, para los que se dispone de una amplia muestra de veloci-

dades de rotación. El segundo lo componen tres modelos basados en una física realista con diferentes velocidades de rotación, calculados por A. Claret (Claret, 1999). Para ambos conjuntos se han obtenido conclusiones similares:

- La rotación tiene una influencia diferenciada en los modos según su tipo de simetría respecto al plano del ecuador. Los modos anti-simétricos tienden a aumentar su frecuencia respecto a los simétricos.
- La estructura de los multipletes (igual n y l) viene determinada principalmente por dos efectos. Un efecto de compresión, según el cual la distancia entre las frecuencias de los modos del multiplete disminuye hacia la parte superior de éste, y un efecto de apareamiento entre las frecuencias de modos consecutivos de distinta paridad.
- En la aproximación utilizada, las frecuencias de los modos de igual l y m están igualmente espaciadas en frecuencia.
- Se observan fenómenos de acoplamiento en-

tre los modos, más importantes para l bajo y n alto, que dificultan en gran medida su clasificación.

- La visibilidad de los modos está fuertemente afectada por el acoplamiento, siendo frecuente que la estructura superficial de los modos sea distinta a la que poseen en las zonas internas de la estrella.

Todos los efectos descritos son más importantes en el rango de l bajo y alta frecuencia, acentuándose a medida que aumenta la velocidad de rotación. Estas conclusiones pueden ser de gran ayuda para la clasificación de los espectros de oscilaciones observados en estrellas con velocidades de rotación elevadas, como por ejemplo las estrellas de tipo δ Scuti.

Discos protoplanetarios durante la etapa de formación de planetas

Aurora Sicilia-Aguilar

asicilia@cfa.harvard.edu

Tesis doctoral dirigida por Director: Lee Hartmann — Tutor: Carlos Eiroa

Centro: Universidad Autónoma de Madrid — Smithsonian Astrophysical Observatory

Fecha de lectura: 8 de junio de 2005

Este trabajo comprende el estudio de poblaciones de estrellas jóvenes y de sus discos protoplanetarios, con edades entre 1 y 10 millones de años, pertenecientes a la etapa en la cual los discos circumstelares se disipan, probablemente tras formar sistemas planetarios. La época entre los 3 y los 10 millones de años presenta un interés particular, puesto que, debido a la ausencia de cúmulos y regiones cercanas en este rango de edades, existe una carencia sistemática de datos acerca de los procesos que tienen lugar en los discos durante la misma. Los instrumentos de nueva generación, que incluyen los espectrógrafos multifibra Hectospec y Hectochelle, operativos en el telescopio de 6.5m MMT (*Multiple Mirror Telescope, Mount Hopkins, Arizona*), y el Telescopio Espacial Spitzer, han abierto recientemente una nueva ventana para la investigación de estas regiones más distantes. Este estudio forma parte de un programa para trazar la evolución de los discos protoplanetarios durante las etapas cruciales (de 1 a 10 millones de años) para entender los procesos que llevan a la disipación de los discos y a la formación de sistemas planetarios.

En primer lugar, se presentan los resultados de las

observaciones en longitudes de onda ópticas y JHK en dos cúmulos jóvenes en la Asociación de Cep OB2: Tr 37 (el cual está embebido en la región H II IC 1396), y NGC 7160. Usando espectros ópticos de baja resolución tomados con el espectrógrafo Hectospec, se ha identificado un total de ~ 165 y ~ 50 estrellas de baja masa pertenecientes a Tr 37 y NGC 7160, respectivamente (usando la línea de Li a 6707 Å y la emisión en H α). La fracción de estrellas de baja masa con discos de acrecimiento es de $\sim 43\%$ en Tr 37, mientras que sólo una estrella en NGC 7160 presenta indicadores de acrecimiento activo. La fotometría en el óptico, junto con las correspondientes isocronas teóricas, permite la estimación de las edades de Tr 37 y NGC 7160, 4 y 12 millones de años, respectivamente.

La presencia de discos protoplanetarios en Cep OB2 se infiere a través de los datos del Spitzer, pertenecientes a un programa con Tiempo de Observación Garantizado (GTO) destinado al estudio de la evolución de los discos. Las observaciones del Spitzer (IRAC y MIPS, 3.6–24.0 μm) permiten determinar la presencia y las características de los discos en el rango de distancias de ~ 0.1 a 20

unidades astronómicas. Los colores en IR y las distribuciones espectrales de energía (SEDs) de las estrellas poco masivas (tipos espectrales G–M2) se presentan y describen, comparándolos con los de regiones más jóvenes. La principal diferencia entre Tr 37 y Tauro radica en que los excesos de color para las longitudes de onda inferiores o iguales a $5.8\ \mu\text{m}$ son substancialmente menores en Tr 37. De acuerdo con los modelos de discos, este efecto sugiere que la parte más interna del disco ha sufrido una importante aglomeración del polvo, y/o un destacado asentamiento del mismo en el plano medio al cabo de 4 millones de años. Al cabo de 12 millones de años (NGC 7160), el efecto de la coagulación y asentamiento del polvo es aún más evidente en los discos que quedan, viéndose afectada la emisión entre 3.6 y $24.0\ \mu\text{m}$. Estas observaciones sugieren, entonces, que la evolución del disco comienza en la parte interna del mismo, propagándose hacia el exterior. También se ha encontrado una pequeña fracción de “objetos de transición”, consistentes en estrellas que no están acretando, no presentan emisión de la parte interna del disco, pero aún conservan la parte más externa del disco (detectable como un exceso a longitudes de onda de $5.8\ \mu\text{m}$ o más largas). La escasez de estos objetos sugiere que sus tiempos de vida son del orden de cientos de miles de años como mucho, luego el disco externo no tardaría en disiparse una vez que el disco interno ha desaparecido o se ha aglomerado.

También se consideran las estrellas de alta masa y de masa intermedia (tipos espectrales B, A, F,

o masas entre 2 y $7\ M_{\odot}$), cuya pertenencia a los cúmulos se establece a través de sus tipos espectrales y extinciones. Los datos de IRAC y MIPS en Spitzer revelan un total de 7 discos en Tr 37, y otros 3 en NGC 7160. De los discos en Tr 37, 4 son ópticamente delgados y presentan exceso de emisión sólo a $24\ \mu\text{m}$, al igual que los 3 discos en NGC 7160. Esto los convierte en unos de los discos residuales o de escombros (*debris disks*) más jóvenes que se conocen, así como uno de los casos en los que las edades de los discos están claramente determinadas (a través de las estrellas de baja masa pre-secuencia principal). La juventud de estos objetos plantea la pregunta de si estos discos son los remanentes de discos protoplanetarios ópticamente gruesos, que han evolucionado, o si se han producido debido a la colisión de planetesimales recién formados. En cualquier caso, la presencia de estos discos apoya la idea de que, a las edades de 4–10 millones de años, la evolución de los discos y probablemente, la formación de planetas y/o planetesimales, está muy avanzada.

Por último, se estudian miembros bien conocidos en el Cúmulo de la Nebulosa de Orión (ONC), utilizando espectros ópticos de alta resolución, tomados con el espectrógrafo multifibra Hectochelle en el telescopio MMT. Los espectros de la región de $H\alpha$ se emplean para determinar la fracción de discos que están acretando, comparándose la efectividad de este procedimiento con los resultados obtenidos a través de los excesos en IR y los espectros ópticos de baja resolución.

Study of the transition phase between AGB stars and PNe

D. Aníbal García-Hernández

agarcia@iac.es

Tesis doctoral dirigida por Arturo Manchado Torres y Pedro García-Lario

Centro: I.A.C. (Instituto de Astrofísica de Canarias)

Fecha de lectura: 17 de Junio de 2005

Esta tesis trata diversos aspectos relacionados con el estudio de la, todavía poco conocida, fase de transición comprendida entre la rama asintótica de las gigantes (RAG) y nebulosa planetaria (NP). Para ello, hemos analizado varios tipos de objetos en esta corta fase evolutiva, incluyendo estrellas RAG/post-RAG y proto-nebulosas planetarias (proto-NP), utilizando una variedad de datos observacionales.

En primer lugar, hemos analizado datos espectroscópicos en el infrarrojo cercano de una muestra (30) representativa de objetos de transición que cubren completamente la evolución post-RAG. Este estudio ha incrementado de 4 a 13 el número total de proto-NP detectadas en hidrógeno molecular (H_2), y ha confirmado que el comienzo de la emisión H_2 tiene lugar durante la fase de transición entre la RAG y el estado de NP. Además, hemos utilizado los cocientes

de diagnóstico $\text{H}_2[v=1\rightarrow 0 \text{ S}(1)/v=2\rightarrow 1 \text{ S}(1)]$ y $\text{H}_2[v=1\rightarrow 0 \text{ S}(1)]/\text{Br}\gamma$ como indicadores del mecanismo de excitación dominante de la emisión H_2 detectada. Interesantemente, hemos encontrado que la detección de hidrógeno molecular depende fuertemente del mecanismo de excitación. Cuando el H_2 es excitado por fluorescencia, el ritmo de detección está directamente correlacionado con el estado evolutivo de la estrella central, independientemente de la morfología nebular. Sin embargo, la emisión H_2 producida por choques es detectada solamente en proto-NP fuertemente bipolares. La fuerte correlación encontrada entre emisión H_2 chocada y bipolaridad parece explicar el alto ritmo de detección de emisión H_2 encontrado en NP bipolares.

Seguidamente, la distribución del polvo alrededor de la proto-NP multipolar IRAS 16594–4656 y la joven NP elíptica IRAS 07027–7934 han sido estudiadas con la ayuda de imágenes limitadas por difracción en el infrarrojo medio ($\lambda \sim 10 \mu\text{m}$). Hemos interpretado la morfología observada teniendo en cuenta la espectroscopía ISO disponible. Además, hemos discutido el estado evolutivo para ambos objetos.

Para concluir este trabajo, hemos analizado una larga muestra (102) de estrellas RAG galácticas y ricas en oxígeno utilizando espectroscopía óptica de alta resolución ($R \sim 40000\text{--}50000$) con la intención de estudiar sus abundancias de Litio y/o posible enriquecimiento en elementos de procesos de tipo-s. Se ha estudiado la muestra completa en función de diversas propiedades observacionales, como su posición en el diagrama color-color IRAS ([12]–[25] vs [25]–[60]), distribución galáctica, velocidad de expansión (derivada de la emisión maser de OH) y período de variabilidad. Seguidamente, hemos realizado un análisis químico que combina modelos hidrostáticos clásicos de atmósferas para estrellas frías y espectroscopía sintética con extensas listas de líneas. Nuestro análisis químico muestra que algunas estrellas de la muestra son sobreabundantes en Litio mientras que otras estrellas no lo son. Las sobreabundancias de Litio observadas han sido interpretadas como una clara firma de la activación del proceso de “combustión caliente profunda” (*Hot Bottom Burning*, HBB) en estrellas RAG masivas y ricas en oxígeno de nuestra Galaxia. Esto confirma que solamente las estrellas

RAG más masivas experimentan la fase de HBB. Sin embargo, de acuerdo a los modelos, estas estrellas no muestran ningún enriquecimiento de Zirconio (tomado como elemento representativo del enriquecimiento de elementos formados en procesos tipo-s) indicando que estas estrellas son químicamente diferentes de las RAG masivas de las Nubes de Magallanes. Las discrepancias observadas son atribuidas a la diferente metalicidad de las Nubes de Magallanes respecto a nuestra Galaxia.

Asumiendo que el período de variabilidad y la velocidad de expansión de OH pueden tomarse como indicadores de masa independientes de la distancia y comparando nuestros resultados con las predicciones teóricas de los modelos de HBB y nucleosíntesis hemos concluido que las estrellas RAG masivas y ricas en oxígeno de nuestra muestra son todas considerablemente masivas ($M > 3 M_\odot$), pero solamente las más masivas ($M > 4 M_\odot$; con períodos mayores que 400 días y $v_{exp}(\text{OH}) > 6 \text{ km s}^{-1}$) experimentan HBB y producción de Litio. El no enriquecimiento de Litio en algunas estrellas pertenecientes al grupo de estrellas RAG más masivas de la muestra indica que la escala temporal de la fase de producción de Litio es del orden (o ligeramente menor) que el tiempo entre pulsos ($\sim 10^4$ años), en buen acuerdo con las predicciones de los modelos teóricos. El grupo de estrellas de la muestra que muestran las propiedades observacionales más extremas (con períodos mayores que 700 días y $v_{exp}(\text{OH}) > 12 \text{ km s}^{-1}$) deben representar las estrellas RAG más masivas de nuestra Galaxia. Desafortunadamente, estas estrellas están fuertemente oscurecidas por sus gruesas envolturas circunestelares y no pudimos llevar a cabo ningún tipo de análisis en el rango óptico. Esta población de estrellas de muy alta masa deben experimentar HBB y mostrar fuertes sobreabundancias de Litio pero no de elementos-s.

Nuestros resultados están en buen acuerdo con los datos observacionales de estrellas post-RAG y NP disponibles en la literatura. En particular, las estrellas RAG ricas en oxígeno que experimentan HBB, deberían ser los precursores de las NP de tipo I y ricas en nitrógeno. Sin embargo, las estrellas RAG y ricas en oxígeno de nuestra muestra que no experimentan HBB, deberían evolucionar como NP ricas en oxígeno de tipo II.