PARTNeRama

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DEL PROYECTO PARTNeR

número 2 otoño 2008

Nuevo software de control para la antena DSS-61 de PARTNeR

José Santiago Pérez Cano

PARTNeR, asignatura *obligatoria*

Celso Frade

Reducción de datos en PARTNeR

Discos protoplanetarios: qué son y cómo los estudiamos

Ignacio Mendigutía, LAEFF

Editorial 3
PARTNeRama, número 2

La Astronomía por… un científico

Discos *protoplanetarios*:
qué son y cómo los estudiamos 4
Ignacio Mendigutía Gómez, LAEFF

La Astronomía por… un profesor

PARTNeR, asignatura *obligada* 8
Celso Frade, Colegio Zazuar

Actualidad PARTNeR

Nuevo Software de control
para la antena DSS - 61 de PARTNeR 13
José Santiago Pérez Cano, PARTNeR

Reducción de datos en PARTNeR 18
Equipo PARTNeR

Contraportada: Radiotelescopios del mundo

El radiotelescopio de Effelsberg
Imágenes: ©2005 Schorsch (grande) y ©2007 Frank Vincentz (pequeña).

Imagen en portada: Imagen de DSS-61, la antena de PARTNeR, en la que se puede distinguir el subreflector, en la parte superior de la imagen y sujeto por un cuadripodo, y las dos bocinas o *feeders* (alimentadores) de banda S (el mayor, a la izquierda y bajo el cardioide) y de banda X (el menor, a la derecha y bajo el espejo dicroico).

El equipo PARTNeR está formado por:

Coordinador y responsable didáctico ..... *Juan Ángel Vaquerizo*
Responsable de talleres de Astronomía ..... *Lara Saiz*
Desarrollo de software e instrumentación ..... *José Santiago Pérez*
Monitora de talleres y soporte didáctico ..... *Rocío Castro*
Colaboradores ..... *Sergio Suárez y David Cabezas*

PARTNeRama
número 2
otoño 2008

PARTNeR es un proyecto que surge en 2001 tras un acuerdo entre NASA e INTA al que se une la Comunidad Autónoma de Madrid a través de la Dirección General de Universidades e Investigación de la Consejería de Educación.

PARTNeR

Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA en Robledo
Tel.: 918131264 (LAEFF)
Tel.: 918677516/7196 (MDSCC)
Fax: 918131160
E-mail: partner@laeff.inta.es
Web: www.laeff.inta.es/partner

RED DE UNIDADES DE CULTURA CIENTÍFICA

FECYT
FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

LAEFF – INTA

Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental
ESAC
Apartado 78
Villafranca del Castillo
28691 Villanueva de la Cañada
Madrid (España)

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
Carretera Torrejón-Ajalvir km. 4
28850 Torrejón de Ardoz
Madrid (España)

NIPO: 078-08-002-1
ISSN: 1888-9670
Depósito Legal: M-20275-2008

PARTNeRama es una publicación trimestral del Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental de INTA.

PARTNeRama no se hace responsable de las opiniones de los autores de los artículos. Se autoriza la difusión de los contenidos de esta publicación previo permiso.

Estimados usuarios y amigos de PARTNeR:

Os presentamos el número 2 de **PARTNeRama**, correspondiente al otoño de 2008. Los meses de verano han quedado atrás y ya estamos inmersos en el curso 2008/2009, así que queremos aprovechar el comienzo del nuevo curso para mostraros algunas novedades en la sección *Actualidad PARTNeR*. En este último año, José Santiago Pérez Cano, del equipo PARTNeR, ha desarrollado un nuevo software de control de la antena DSS-61 para realizar las observaciones radioastronómicas de una manera más sencilla. Este software viene acompañado de un interfaz de usuario completamente nuevo que integra de forma más intuitiva los diferentes procedimientos que se siguen durante las observaciones y que os mostramos de forma resumida en uno de los artículos que aparece en este número. Otro aspecto importante del nuevo software es que automatiza la toma de datos, de manera que tras realizar ya sea un barrido, ya sea un tránsito o un scan de un radio mapa, se genera una gráfica con los datos obtenidos y un archivo asociado, en formato texto, que contiene los mismos datos ya tabulados y listos para trabajar con ellos posteriormente. Ya no es necesario que los estudiantes tomen los datos en papel puesto que estos se recogen, muestran y almacenan automáticamente tras realizar cada proceso de medida. Consideramos que esta forma de obtención de datos hará más fluida la observación y permitirá al profesor hacer hincapié en los pasos previos a realizar antes de que comiencen las medidas. Así, una vez que comience la toma de datos automática, los estudiantes se dedicarán únicamente a controlar el proceso. Asimismo, os mostramos en otro artículo y de manera pormenorizada la reducción de datos a partir de las temperaturas de antena medidas con el radiotelescopio y de los datos aportados por la curva de temperaturas o *tipping curve* que se realiza al final de cada observación.

En la sección *La Astronomía por… un científico*, Ignacio Mendigutía, investigador del LAEFF–INTA (Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) nos desvela, de una manera muy sencilla y amena, las técnicas de estudio usadas y el conocimiento actual que tenemos sobre los *discos protoplanetarios*, elementos fundamentales para entender la formación de estrellas y de sistemas planetarios como nuestro Sistema Solar.

Y para finalizar, la aportación de los profesores. Os aconsejamos una atenta lectura de la pequeña joya que es el artículo realizado por Celso Frade, del Colegio Zazuar de Madrid. Participante veterano y experto observador, da una interesante perspectiva del proyecto ya sea en lo referente a su implementación en el aula como en lo concerniente a la organización y realización de las observaciones, destacando su trabajo riguroso y sus acertadas indicaciones y consejos.

Es nuestro deseo que los trabajos mostrados os ayuden a desarrollar el proyecto de la manera más provechosa posible. Desde las páginas de **PARTNeRama** esperamos vuestras aportaciones. Animáos.

Un cordial saludo.

Equipo PARTNeR

Discos protoplanetarios: qué son y cómo los estudiamos

Ignacio Mendigutía Gómez, LAEFF[1]
[1]Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental

Dentro de las múltiples ramas que conforman la astronomía actual, el estudio de la formación de planetas alrededor de otras estrellas ocupa un lugar principal. El hecho de que, con la ayuda de nuevos telescopios e instrumentos, se hayan descubierto desde el año 1995 hasta el momento actual unos 300 planetas orbitando alrededor de estrellas distintas del Sol -*exoplanetas*- sugiere, junto con otros, que la formación planetaria es un hecho común en nuestra galaxia.

En este artículo trataré de resumir parte de la visión que actualmente tenemos sobre la formación estelar y planetaria -procesos íntimamente relacionados, como veremos-, centrándome en las características de los *discos protoplanetarios*. El artículo se ha enfocado introduciendo los temas a partir de las técnicas astronómicas usadas para estudiar este tipo de sistemas.

¿Dónde y cómo se forman las estrellas y sus planetas?

Las estrellas se forman a partir de las denominadas *nubes moleculares*, es decir, regiones de gas y polvo en las que el material es lo suficientemente denso y opaco como para impedir que la luz proveniente de las estrellas cercanas llegue a las zonas internas, de modo que éstas se mantengan lo suficientemente frías (unos 10 K) como para permitir la asociación de los átomos en moléculas y la formación de granos de polvo. En un momento dado, una perturbación provocada por un proceso tal como la explosión de una supernova relativamente cercana o los fuertes vientos estelares generados por estrellas masivas circundantes, provoca que el material de la nube tienda a agruparse y comprimirse. A partir de aquí la atracción de la gravedad hará el resto, dando lugar a la formación de nuevas estrellas en el seno de la nube molecular.

Dentro de la nube molecular se forman por tanto grumos -*núcleos protoestelares*- más densos de materia que han comenzado a colapsar sobre la zona central debido a la acción de la gravedad. Una ley fundamental de la física, denominada *conservación del momento angular*, nos indica que ese colapso no puede ser homogéneo, sino que la materia va agrupándose de forma que va apareciendo una estructura en forma de disco alrededor de la protoestrella central. Este disco denso de materia es el que, con el paso de varios

millones de años, acabará formando probablemente los planetas que orbitan alrededor de la nueva estrella, de ahí que se los denomine *discos protoplanetarios*. Una prueba clara de este proceso la tenemos aquí cerca: no es casualidad que todos los planetas (salvo Plutón...) y asteroides orbiten alrededor del Sol en el mismo plano, denominado eclíptica, en lugar de hacerlo en planos distintos, como en la típica imagen de los electrones orbitando alrededor del núcleo de un átomo. Este hecho nos indica que en el pasado, hace unos 5000 millones de años, nuestro entonces jovencísimo Sol debía estar rodeado de un disco denso de gas y polvo que, con el paso del tiempo, dio lugar al sistema solar.

¿Cómo estudiar estos sistemas? ¿Qué propiedades tienen?

Al igual que en otras ramas de la astronomía, tres son las técnicas fundamentales que nos permiten estudiar este tipo de objetos: el estudio de sus imágenes directas, la fotometría y la espectroscopía, todas ellas basadas en las partículas de luz -*fotones*- que recorren las inmensas distancias que nos separan hasta llegar a nuestros telescopios.

Imagen directa

Si queremos ver directamente estos objetos habrá que buscarlos en las zonas del espacio donde se forman, en las inmediaciones de las nubes moleculares, que además han de estar lo suficientemente cerca como para que los telescopios actualmente disponibles puedan mostrar una buena imagen de los mismos. Una de estas zonas es la nebulosa de Orión, situada a "sólo" 1500 años luz. En la figura 1 (arriba) podemos ver algunos discos protoplanetarios descubiertos en esta región. La luz de la nebulosa localizada detrás de estos objetos es ocultada por el polvo de los discos. Podemos ver también, en la misma figura (abajo), la luz directa del disco que rodea la estrella β Pictoris. Puesto que sabemos que esta última está bastante más evolucionada que las que encontramos en la región de Orión, los discos que rodean uno y otro tipo de estrellas también serán distintos. En efecto, la combinación de las técnicas astronómicas mencionadas y los modelos teóricos nos indica que los discos pasan por distintas fases evolutivas: desde un estado denso, con gran cantidad de gas y pequeños granos de polvo, pasando por un disco *debris* (escombros, en francés), donde la mayor parte del gas se ha perdido al ser atrapado por la estrella central o expulsado debido a los vientos que ésta genera, y el polvo se ha agrupado formando cuerpos de mayor tamaño, hasta finalizar en un sistema planetario orbitando alrededor del objeto central, como sabemos que ocurre en el Sol y en otras estrellas.

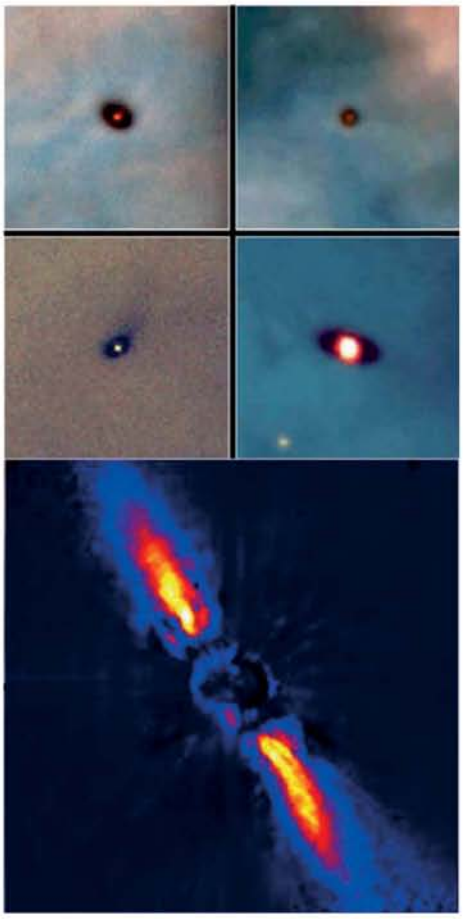


Fig. 1: En las imágenes de la mitad superior se observa cómo el polvo contenido en los discos protoplanetarios oculta la luz proveniente de la nebulosa situada detrás de ellos, en la región de Orión. En la parte inferior, la imagen en luz infrarroja del disco que rodea β Pictoris, que ha de ser ocultada con un coronógrafo para eliminar su intenso brillo.

Fotometría

Sabemos que la luz es una onda electromagnética. El parámetro *longitud de onda* (distancia entre dos crestas sucesivas) caracteriza sus distintos tipos. De esta forma, los rayos X, la radiación ultravioleta, visible (desde el violeta hasta el rojo), infrarroja, radio, etc. es luz con distintos valores de longitud de onda. La radiación óptica o visible es aquella cuyo rango de longitudes de onda está comprendido entre los 400 y 700 nanómetros (1 nm = 10^{-9} m). La mecánica cuántica nos indica que la energía de los fotones es mayor cuanto menor es su longitud de onda, por lo que los rayos X son muy energéticos y las ondas de radio lo son muy poco. Supongamos que colocamos un filtro en un telescopio, de modo que sólo deje pasar fotones de una determinada longitud de onda, y además colocamos tras ese filtro un detector que mida el flujo de fotones que recibimos del objeto al que estamos apuntando. Estaríamos aplicando entonces la técnica astronómica denominada fotometría.

¿Qué filtros deberíamos usar para estudiar fotométricamente los *discos protoplanetarios*? La fotometría de discos nos informa de las características del polvo que contienen, y se sabe que éste no puede sobrevivir a temperaturas superiores a unos 1500 K. La l*ey de desplazamiento de Wien*, que relaciona la temperatura de un cuerpo y la longitud de onda a la que éste emite más radiación por estar a dicha temperatura, nos indica que el polvo de los discos ha de estudiarse en longitudes de onda que abarcan el rango infrarrojo y radio. En este rango, la fotometría realizada de menor a mayor longitud de onda nos informará del polvo más caliente (es decir, más cercano a la estrella central) al más frío (en la zona externa del disco), respectivamente. Por lo tanto, la fotometría de un sistema estrella-disco revelará un "exceso infrarrojo" debido al polvo del disco, que se superpone a la radiación generada por la estrella.

En la figura 2 podemos ver las denominadas *distribuciones espectrales de energía* de tres sistemas estrella-disco en distintos estados evolutivos, construidas a partir de los datos fotométricos obtenidos de cada uno de ellos. Puede observarse como, según nos fijamos en objetos más y más evolucionados, obtenemos, por un lado, un menor flujo procedente del disco: el polvo va disipándose con el paso del tiempo, y por otro, que primero tiende a atenuarse el exceso infrarrojo a pequeñas longitudes de onda: el polvo desaparece desde dentro hacia fuera del disco. La fotometría realizada sobre estrellas en el mismo estado evolutivo que nuestro Sol revela que no hay apenas exceso infrarrojo.

La combinación de la técnica fotométrica y la modelización teórica permite, como vemos, estudiar discos de los que no podemos obtener su imagen directa con los medios actuales

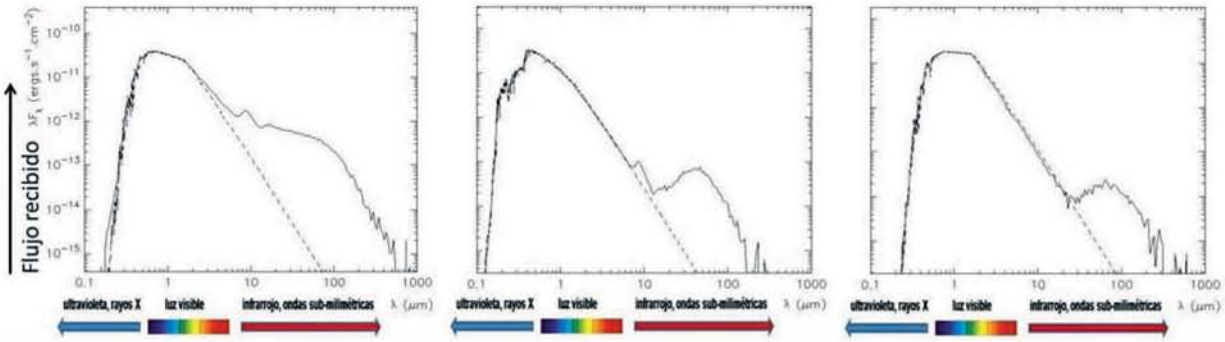


Fig. 2: Distribuciones espectrales de energía de tres sistemas estrella-disco en distintos estados evolutivos. A la izquierda está situado el más joven y a la derecha el más viejo. La línea continua une las medidas fotométricas obtenidas para cada uno de los objetos. La línea discontinua representa la distribución espectral de energía que tendría la estrella central en caso de no tener disco. Obsérvese el exceso de flujo en longitudes de onda infrarrojas y sub-milimétricas debido al polvo frío del disco, y cómo éste tiende a desaparecer en estados más evolucionados.

(¡como ocurre en la inmensa mayoría de los casos!), y comprender sus estructuras: se sabe entre otras cosas que han de tener una región interna, muy cercana a la estrella, libre de polvo, y que las zonas externas han de estar combadas hacia el exterior, debido a la radiación proveniente del objeto central, que calienta y abomba esta zona.

Espectroscopía

Si colocamos un prisma (o gotitas de agua...) en la trayectoria de la luz blanca que nos llega del Sol la descompondremos en sus componentes y observaremos los colores del arco iris. Habremos obtenido entonces el *espectro óptico* del Sol. En general, los distintos tipos de gases absorben o emiten luz en longitudes de onda específicas que constituyen una auténtica "firma" del elemento (átomos, moléculas) del cual estamos obteniendo el espectro. De este modo, si colocamos en un telescopio un prisma o instrumento equivalente (un espectrógrafo) y lo apuntamos a un objeto podremos conocer qué gases lo componen, además de otra información como temperaturas, abundancia de dichos gases, velocidades por efecto Doppler, etc. La técnica espectroscópica puede entenderse como una fotometría realizada con multitud de filtros de distintas longitudes de onda adyacentes, dando como resultado final el flujo de energía que nos llega en cada una de ellas, que nos permite estudiar los elementos que componen el objeto en cuestión.

En la figura 3 se muestran los espectros de un sistema estrella-disco protoplanetario y de una estrella similar al Sol. Las diferencias a simple vista son claras: la línea espectral más intensa, debida al hidrógeno, se muestra en emisión en el objeto joven y en absorción en la estrella evolucionada. Muchas otras líneas muestran este tipo de comportamiento. Además, si tomamos sucesivos espectros, con intervalos de años, meses, semanas, o incluso días y horas en algunos casos, veremos que los espectros de los objetos jóvenes muestran una gran variabilidad, mientras que los "tipo Sol" permanecen sin apenas cambios. La técnica espectroscópica proporciona información acerca de la intensa actividad que se desarrolla en los *discos protoplanetarios*, en forma de vientos, chorros o jets, caída de materia hacia el objeto central –*acreción*-, y de cómo dicha actividad, y la cantidad de gas contenida en los discos, van disipándose en el plazo de unas decenas de millones de años, hasta alcanzar la estabilidad que caracteriza a las estrellas evolucionadas como el Sol.

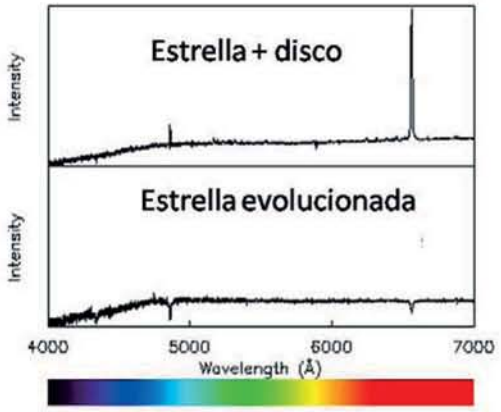


Fig. 3: Comparación entre los espectros ópticos de una estrella joven, rodeada de un *disco protoplanetario*, y de un objeto en un estado evolutivo similar al Sol

Perspectivas futuras

Hemos visto cómo la combinación de las distintas técnicas astronómicas proporciona información que, unida a la modelización teórica que surge del conocimiento actual de las leyes físicas, nos proporcionan una visión general sólida sobre el origen de los sistemas planetarios. Sin embargo, son muchos los detalles que quedan por resolver: entender la evolución precisa del gas y el polvo en los discos, comprender la forma en que los granos se unen hasta llegar a formar planetas, acotar superior e inferiormente el rango de masas de los objetos centrales que albergan discos y futuros sistemas planetarios, etc. Para responder a este tipo de preguntas serán necesarios telescopios e instrumentos más precisos que permitan a los futuros astrónomos ver e interpretar lo que de momento permanece velado.

PARTNeR, asignatura *obligatoria*

Celso Frade, Colegio Zazuar

Objetivos del proyecto

Como explicó Juan Ángel Vaquerizo, actual responsable del proyecto PARTNeR, en el primer número de **PARTNeRama**, el objetivo del proyecto es claro: acercar la ciencia a los estudiantes. Yo diría más: hacer ciencia **con** nuestros estudiantes.

Para ello se utiliza la antena DSS-61, situada en el Complejo de Comunicaciones Espaciales de Robledo de Chavela (Madrid). Esta antena dejó de utilizarse a finales de 1999. Fue la primera antena instalada en el complejo en 1965. Su diámetro se amplió de 26 a 34 metros en 1979 y por este motivo hubo que elevarla con grúas para colocarla sobre cuatro bloques de hormigón, evitando así que el reflector primario (el plato de la antena) chocara con el suelo. Para que nos hagamos una idea, en vertical alcanza una altura equivalente a un edificio de 12 plantas, ¡¡IMPRESIONANTE!!, ¿a que sí? Si queréis observarla desde satélite, sus coordenadas son 40º25'43'' N y 4º14'57'' W.

Antena DSS-61, utilizada en el proyecto PARTNeR para realizar las observaciones.

Pero la reina del complejo es la antena DSS-63, de 70 metros de diámetro cuya

parte móvil tiene una masa de 3.500 toneladas y para poder girar está flotando sobre una capa de aceite de 0,07 milímetros. Su masa total alcanza las 9.500 toneladas, su altura es equivalente a la de un edificio de 24 plantas y los cimientos tienen una profundidad de más de 30 metros.

Volvamos a nuestro proyecto; alcanzar el objetivo es otro cantar. Es necesario tener la voluntad de implicarse valorando la importancia del proyecto y la oportunidad que nos brinda y sabiendo que requerirá por nuestra parte un esfuerzo extra para preparar actividades, modificar el currículo de la materia, saber motivar a los estudiantes, en definitiva, plantearlo de forma atractiva para que los alumnos no se conviertan en meros oyentes.

Implementación en el aula

En el número anterior, se ofrecían muchas ideas para llevar a cabo el proyecto en el aula. Como este es, probablemente, el tema más complejo para el profesor, hablaré de mi experiencia personal. Primero, debemos realizar el curso de formación, muy importante especialmente para aquellos que no sean Astrofísicos (la mayoría). Esta es la parte fácil ya que los miembros del equipo de PARTNeR facilitan todo el material necesario, bien organizado y comprensible con un poquito de esfuerzo. Tras realizar unos test y recibir el diploma acreditativo, ya tenemos el "*carnet*" para manejar el radiotelescopio de PARTNeR.

Y ahora, ¿cómo lo hacemos?, ésa es la cuestión. Es la parte más difícil, especialmente el primer año con lo que, paciencia. En mi caso, y por tercer año consecutivo, seleccioné el grupo de estudiantes de Tecnología de 4º de E.S.O. Puede realizarse dentro de otras materias y en otros niveles pero considero que éste es el idóneo. Se trata de una asignatura optativa, la edad de los estudiantes permite aprovechar mejor sus conocimientos previos y su grado de madurez y autonomía permiten que el proyecto sea interactivo. Por último, la naturaleza y estructura de la asignatura permite una mayor flexibilidad a la hora de poder aplicar experiencias docentes de innovación educativa como es el proyecto PARTNeR. Aunque a lo largo de estos cursos he realizado variaciones importantes en función de la experiencia acumulada en cada curso, haré una relación breve pero detallada de la estructura de trabajo seguida.

Primero hay que dejar claro en la programación didáctica aspectos como: objetivos y naturaleza del proyecto, actividades a realizar, criterios de calificación, pero debe ser lo suficientemente flexible como para que nos permita adaptar el desarrollo del proyecto a las necesidades de nuestro grupo. Podéis encontrar un borrador de la redacción utilizada en mi sitio Web.

Posteriormente es útil establecer un temario o campos que queremos abordar, por ejemplo:

- Bloque 0: ¿Qué es el Proyecto PARTNeR?
- Bloque I: Introducción: ¿dónde estamos?
- Bloque II: Orientándonos en el cielo.
- Bloque III: La vida de las estrellas.
- Bloque IV: Observando el Universo.
- Bloque V: Preparamos la observación.

Y por último sólo quedaría desarrollar cada uno de los bloques. Es un planteamiento ambicioso pero el contenido y trabajo de cada bloque es fácilmente adaptable según los intereses del profesor. Por ejemplo, el bloque 0 no requerirá más de una sesión. El bloque I puede consistir en un mero relato del profesor en el que hable de la escala del Universo o pueden prepararse a tal efecto fichas con textos de científicos famosos acerca del tema y utilizarse recursos audiovisuales. El bloque II es más complicado para los alumnos pero es necesario para que comprendan la estructura y movimientos de un radiotelescopio estudiando el movimiento aparente de la esfera celeste y la necesidad de disponer de sistemas de coordenadas comunes a cualquier observador. Mejorarán

su visión espacial que tanto echamos en falta en las clases de matemáticas o física. Para ello, utilizamos unas fichas con un resumen de los sistemas de coordenadas existentes y en unas 3 sesiones, con ayuda de dibujos realizados en la pizarra, los alumnos son capaces de adquirir nociones básicas que les permitirán, entre otras cosas, entender lo que significa que un objeto culmine, saber en qué dirección se mueven los astros, aunque no debemos pretender que sepan de memoria los distintos sistemas de coordenadas existentes. Los bloque III y IV son fácilmente abordables utilizando recursos audiovisuales e informáticos y el bloque V será el colofón en el que se trabajará ya con la guía que les permita a los alumnos realizar la observación así como los modelos de los documentos que tendrán que utilizar.

También hemos realizado a lo largo del curso algunas de las unidades didácticas que aparecen en el sitio Web del proyecto: "*Cuanto más grande mejor*", "*Afinando la puntería*" y "*Construye el mapa de una radiofuente*". En Internet encontraremos infinidad de material que los alumnos y el profesor pueden utilizar. Eso sí, dado que la mayor parte de la información científico-técnica de calidad está en inglés, debemos forzarles a utilizarla y cumpliremos así un doble objetivo, utilizar las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y hacerles conscientes de la necesidad de poder defenderse en Inglés.

El uso de recursos audiovisuales es muy aconsejable. Nosotros hemos utilizado un video de la colección Astronomía Video "*El Universo en directo*" y un DVD, "*HUBBLE, 15 años de descubrimientos*". Si queréis tener más ejemplos, no dejéis de consultar la excelente medioteca de Astronomía creada por el profesor del I.E.S. Celestino Mutis Javier de Lucas, que podéis hallar en http://platea.pntic.mec.es/~jdelucas/mediotecа.htm.

He creado una página Web para poder ampliar lo visto en el aula y para plantear a los alumnos retos y actividades que tengan relación con los contenidos de la materia, por ejemplo, diseñar, utilizando los programas de diseño gráfico que utilicemos, un logo sobre proyecto PARTNeR y su colegio (incluso podrían utilizarlo para realizar camisetas, fondos de pantalla, etc.).

Podemos utilizar el trabajo en el taller para realizar proyectos que ayuden a los alumnos a entender conceptos complejos como los espectros. Para ello hemos construido un sencillo espectroscopio utilizando simplemente cartulina y dos billetes de metro.

Hemos realizado trabajos en grupo por escrito sobre temas diversos (estrellas binarias, nebulosas, cuásares, agujeros negros, etc.) para posteriormente, en el último trimestre, realizar presentaciones digitales.

Lo importante es ir avanzando poco a poco y no pecar de pretenciosos en nuestro primer curso. Poco a poco iremos afinando nuestro proyecto, se nos ocurrirán ideas nuevas, tendremos un fondo de actividades ya preparadas, intercambiaremos opiniones con otros profesores, etc. por lo que nuestro grado de satisfacción será cada vez mayor.

Resultados de la observación

Al haber realizado múltiples actividades previas, el momento de la observación es el más deseado por los estudiantes (y el profesor). Es importante, si la madurez del grupo lo permite, hacerles partícipes de todos los pasos llevados a cabo, como son la petición de tiempo, la planificación de horarios o la resolución de los problemas existentes.

Solamente me referiré a la observación realizada el pasado 18 de junio de 2008 aunque en la Web podréis encontrar información y fotografías de observaciones realizadas en cursos pasados. Problemas con un sensor de la estación meteorológica, nos impidieron realizar la observación el día previsto aunque los alumnos pudieron

presenciar en directo no solamente cómo surgía un problema sino cómo se trabajaba a contrarreloj intentando solucionarlo. Además establecieron ya un primer contacto con la estación de Robledo de Chavela y también conocieron las fuentes a observar (Casiopea A y 3C 84) por lo que les permitió investigarlas previamente. Finalmente la observación se realizó con éxito una semana después. En las imágenes podéis ver algunos de los datos y gráficas obtenidas.

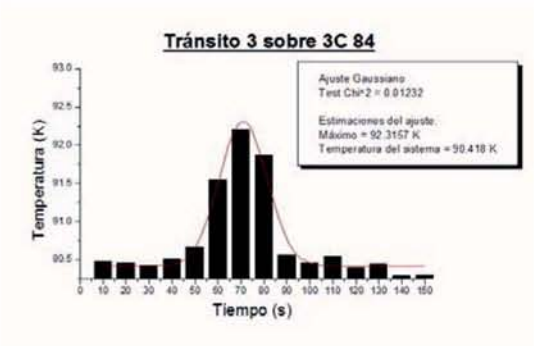
3-4. Toma de datos de la fuente (no usamos calibrador) B. Tránsito		Día:	Día 170; 18 de Junio de 2008 (10:00 h-13:00 h)
		Autores:	Celso Frade y alumnos de 4º A de E.S.O. (Colegio Zazuar, Madrid)

Hora (U.T.)	Objeto	Elevación	Tiempo (s)	Temperatura (K)
10:48:00	3C 84	78.816º	10	90.476
			20	90.460
			30	90.431
			40	90.513
			50	90.669
			60	91.147
			70	92.295
			80	91.877
			90	90.565
			100	90.458
			110	90.543
			120	90.400
			130	90.449
			140	90.298
			150	90.302

Se adelanta el radiotelescopio 0.3º en Ascensión recta.

Como el objeto se mueve a una velocidad de 0.004º, supondrá una duración de 105 segundos en recorrer 0.6º.

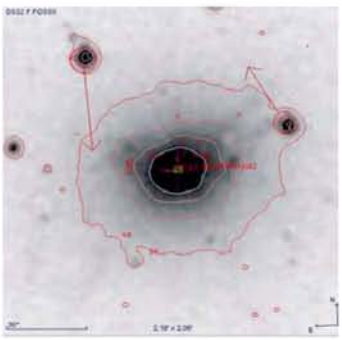
No hacemos tránsitos tan largos como con Casiopea A porque es una fuenta más pequeña.



Imágenes con algunos de los datos y gráficos obtenidos en la observación realizada desde el Colegio Zazuar en Madrid el miércoles 18 de Junio de 2008. Para realizar los ajustes gaussianos se ha utilizado el programa Origin.

Para realizar la observación hicimos grupos de trabajo. El número ideal es cuatro alumnos por ordenador. Uno de ellos se fijará en el tiempo y otro en las temperaturas e irán "cantando" a los otros dos alumnos del grupo los datos que éstos escribirán en las tablas previamente preparadas a tal efecto. Al ser dos minimizamos el riesgo de que falten datos. Una vez tomados los datos, se tomarán las medias en el caso de que varios grupos las tomen simultáneamente, y bien el profesor o ellos, los pasarán a limpio y llevarán a cabo el análisis y representación de los datos utilizando una hoja de cálculo y algún programa específico de tratamiento de datos. Nosotros hemos utilizado Origin. Hablemos brevemente de lo que pudimos observar.

Casiopea A es uno de los calibradores primarios que se utilizan en el hemisferio Norte. Han de ser fuentes muy estables y potentes y por ello son escasas. En el hemisferio Norte sólo tenemos cuatro siendo la más potente Casiopea A aunque somos más afortunados que los habitantes del hemisferio Sur que sólo disponen de una. Esta fuente es un remanente de supernova, y no de cualquiera sino de la famosa supernova de Tycho (llamada así en honor al físico danés quién la observó en 1572). Se encuentra a unos 3.400 parsecs (unos 11.000 años luz) y su tamaño es de unos 4 parsecs (13 años luz). El parsec y sus múltiplos son las unidades utilizadas en Astrofísica para hablar de distancias y equivale a 3,26 años-luz.



Fotografía de NGC 1275 obtenida a partir del Aladdin Sky Atlas. ©1999-2008 ULP/CNRS – Centre de Donnees astronomiques de Strasbourg

La fuente que pudimos observar en esta ocasión fue ni más ni menos que la Galaxia Seyfert de tipo 2, NGC 1275, en concreto su núcleo, 3C 84 o Perseo A. Puede que los nombres no sorprendan a nadie pero ¿y si os digo que la distancia a la que se encuentra de nosotros es de unos 80 Mpc, aproximadamente 260 millones de años

luz? Es decir, que la radiación que detectamos hoy en día y que va conformando la gráfica en nuestra pantallita del ordenador surgió de dicha galaxia ¡¡cuando en la Tierra aún habitaban los dinosaurios!!

Pese a su enorme distancia, desde el punto de vista humano, se trata de una de las fuentes de radio compactas más brillantes que podemos encontrarnos en el cielo. Es una de las fuentes de radio más estudiadas del firmamento pues en su interior, se cree que hay un gran agujero negro rodeado de un disco de acreción, que es el responsable de los chorros de materia que salen despedidos de su centro a la mitad de la velocidad de la luz tal y como se ha verificado utilizando el VLBI desde mediados de los años 70.

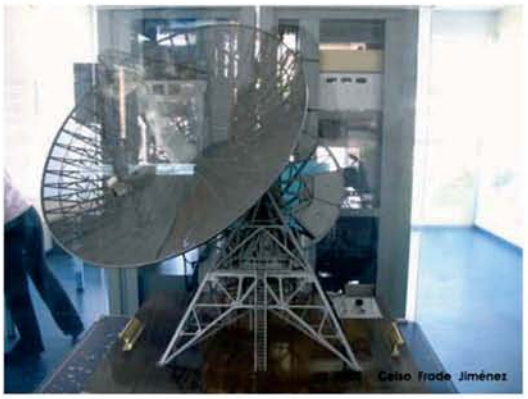
Conclusiones

No hay dos cursos iguales pero la valoración no puede ser más positiva. Los alumnos sienten, cuando saben que ese día de clase toca PARTNeR, como dicen ellos, que están haciendo algo diferente, único, y cuando realizan la observación, sus caras reflejan a la perfección su entusiasmo. Es la recompensa al trabajo realizado durante todo el curso. Intercambian opiniones con sus familias y nos aportan ideas para mejorar el proyecto.

Cualquiera que conozca el proyecto, inmediatamente coincidirá con nosotros en la necesidad de trabajar en esta línea en el mundo educativo, donde resulta tan difícil motivar a los alumnos. Pero no es suficiente. Hoy en día el marketing, los medios de comunicación, son la clave. Si no hay una difusión de las actividades realizadas, el esfuerzo será baldío y quedará en el recuerdo de unos pocos por lo que es necesario que los que tenemos la oportunidad de difundirlo, lo hagamos.

En el ámbito científico contamos con la ventaja de ser los pioneros en hacer uso de las nuevas tecnologías. Eso hace que los profesionales que trabajan en los distintos ámbitos (centros de enseñanza, empresa, organizaciones gubernamentales) estén sobradamente preparados para llevar a cabo tal labor de difusión. Aún así la cooperación es un elemento clave y publicaciones como **PARTNeRama** sirven de cauces que facilitan esa interrelación.

Es por ello que animo desde aquí no sólo a profesores, sino a los alumnos con ayuda de sus familias a colaborar con esta publicación y que entre todos consigamos aportar nuestro granito de arena. Yo me comprometo a seguir haciéndolo desde mi página Web y desde el Colegio Zazuar y estaré encantado de ayudar en lo que sea posible. Ánimo y mucha suerte, merece la pena.



Maqueta a escala de la antena utilizada en el proyecto PARTNeR que se encuentra en el Centro de Entrenamiento y Visitantes (CEV) del Complejo de Comunicaciones Espaciales de Robledo de Chavela.

Para saber más:

http://celsofradejimenez.googlepages.com/partner

http://www.uam.es/otros/hojavol/hoja8/partner08.html

http://www.colegiozazuar.com/proyectopartner.htm

http://deepspace.jpl.nasa.gov/dsn/history/dsn59.html

http://www.insa.org/node/112

http://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/311313

http://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/382273

www.colegiozazuar.com

Nuevo software de control para la antena DSS - 61 de PARTNeR

José Santiago Pérez Cano, PARTNeR

Desde el inicio del proyecto, PARTNeR ha venido utilizando para el control de la antena y para el desarrollo de las observaciones un software implementado en leguaje de programación C. Tras varios años de uso, este software ha quedado desfasado y necesita ser actualizado y mejorado. Por ello, se ha decidido migrarlo, partiendo de cero, a otro lenguaje de programación que permita la realización de modificaciones y mejoras de manera más sencilla que en C. Así pues, se ha optado por desarrollarlo en LabVIEW, un lenguaje de programación gráfico creado por la empresa National Instruments que es, además, el que utilizan actualmente los desarrolladores de software que trabajan en el MDSCC (Madrid Deep Space Communications Complex) de Robledo de Chavela.

El nuevo software desarrollado se encarga de controlar, a través de un intefaz gráfico muy sencillo, la obtención de los datos radioastronómicos durante las observaciones, así como los movimientos y todas las comunicaciones realizadas con la antena. Además, permite el soporte remoto, lo que es de gran utilidad para el proyecto, ya que dicho software va a ser usado por los estudiantes desde sus centros escolares de Ed. Secundaria o Universidades, para controlar remotamente la antena a través de Internet.

En realidad se han desarrollado dos aplicaciones diferentes, una de usuario y otra de superusuario o control. La primera es la que usan los estudiantes, mientras que la segunda es la aplicación de control completa, es decir, la que permite el acceso a todos los elementos y dispositivos disponibles y el control total sobre ellos.

La aplicación de usuario es muy parecida a la de control pero está limitada en el acceso a los instrumentos, siendo el interfaz gráfico más simple que el de la aplicación de superusuario.

Características

El nuevo software de control presenta algunas características novedosas y algunas

mejoras respecto al anterior que podríamos resumir como sigue:

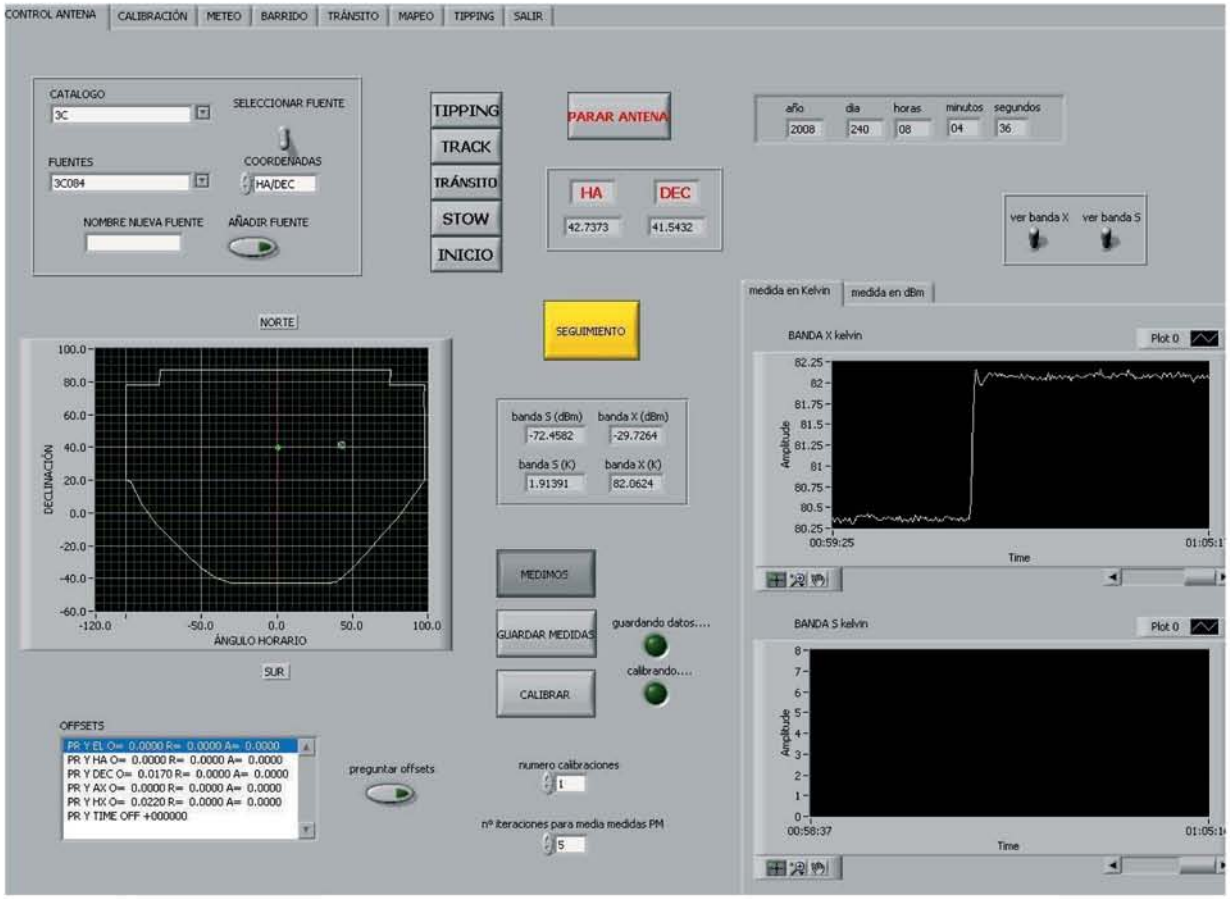
- Las acciones que se realizan a lo largo de una observación, como son los mapeos de zonas celestes, los barridos sobre fuentes, los tránsitos o la tipping curve, se realizan ahora de forma totalmente automatizada.
- Se ha modificado la forma en la que se realizan los barridos, usando un método más eficiente y fiable que el utilizado hasta ahora.
- A la hora de calibrar la antena podemos elegir entre una calibración lineal o una cuadrática, así como hacer también varias calibraciones sucesivas y obtener el valor medio de todas ellas para obtener un resultado más fiable.
- Los datos obtenidos al realizar cualquier operación con la antena (calibración, barridos, mapeos….), así como la comunicación con la misma (comandos enviados por el usuario, respuestas de la antena, eventos…), son almacenados en archivos de texto para su posterior uso.

Todo esto nos permite tener un control absoluto de la antena, ya que los procesos que se realizan en una observación están automatizados y los datos obtenidos se pueden visionar y almacenar de una forma muy sencilla.

Interfaz de usuario

Hasta ahora, el usuario disponía de dos aplicaciones por separado para realizar las observaciones: Xant (control de antena) y Xplot (representación gráfica de datos).

Para los usuarios que ya han realizado observaciones en cursos anteriores, lo primero que llama la atención del nuevo interfaz de usuario es que no está formado por varias ventanas independientes, sino que tenemos todos los elementos agrupados en una sola ventana, ahora diferenciados por pestañas. Cada pestaña sirve para controlar todas las acciones que se realizan a lo largo de las observaciones.



Veamos cada una de ellas, de modo resumido.

Control antena

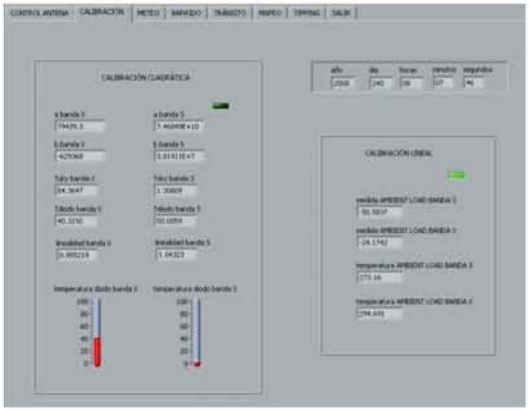
Como se ha comentado anteriormente, esta pestaña pretende implementar, a la vez y en una sola ventana, las dos funciones realizadas por los procesos Xant y Xplot en el software antiguo.

Básicamente, tenemos la gráfica de la posición de la antena y de la fuente a observar, las gráficas de la potencia recibida (tanto en banda X como en S, pudiendo elegir si queremos ver la potencia en dBm o en temperatura), la selección de fuente, y luego botones tales como *parar antena*, *preguntar offsets* (cuya respuesta saldrá en el cuadro "offsets"), *medir*, *guardar medidas*, *calibrar* (pudiendo elegir entre calibración lineal o cuadrática, siendo ésta última más exacta), *nº de calibraciones* (podemos elegir el nº de calibraciones que queremos hacer para obtener un dato medio, que será más fiable), *nº iteraciones para media medidas PM* (elegimos el número de medidas por segundo que recibimos del medidor de potencia, o *power meter*), *ver Banda X y S* (con ello no sólo dejamos de ver con la gráfica de la banda seleccionada, sino que además dejamos de medir con el *power meter* correspondiente). Además de los botones *Track* y *Stow* que teníamos en el anterior software, ahora disponemos también del botón *Tipping* (que realizará la *tipping curve* de forma automática), el botón *Tránsito* (que realizará el tránsito de manera automática) y el botón *Inicio* (que está pensado para el caso en que hagamos una *tipping curve* y queramos seguir utilizando la antena, para lo cual desbloquea los frenos de la antena).

Por último, señalar la existencia del denominado indicador de movimiento de la antena. Se trata de un recuadro que puede tener tres colores de fondo, con un texto indicativo diferentes en su interior. Si es en rojo, la antena está parada y aparece el texto PARADA. Si está en amarillo, está haciendo el seguimiento de una fuente y aparece el texto SEGUIMIENTO. Y si está en verde, está en movimiento y aparece el texto MOVIMIENTO. En la figura de la página anterior se puede ver claramente cómo la antena se encuentra realizando el seguimiento de una fuente.

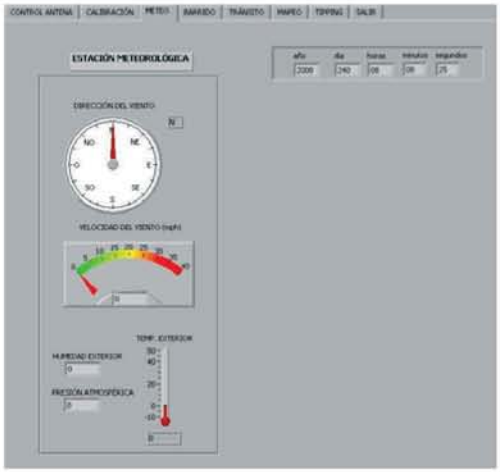
Calibración

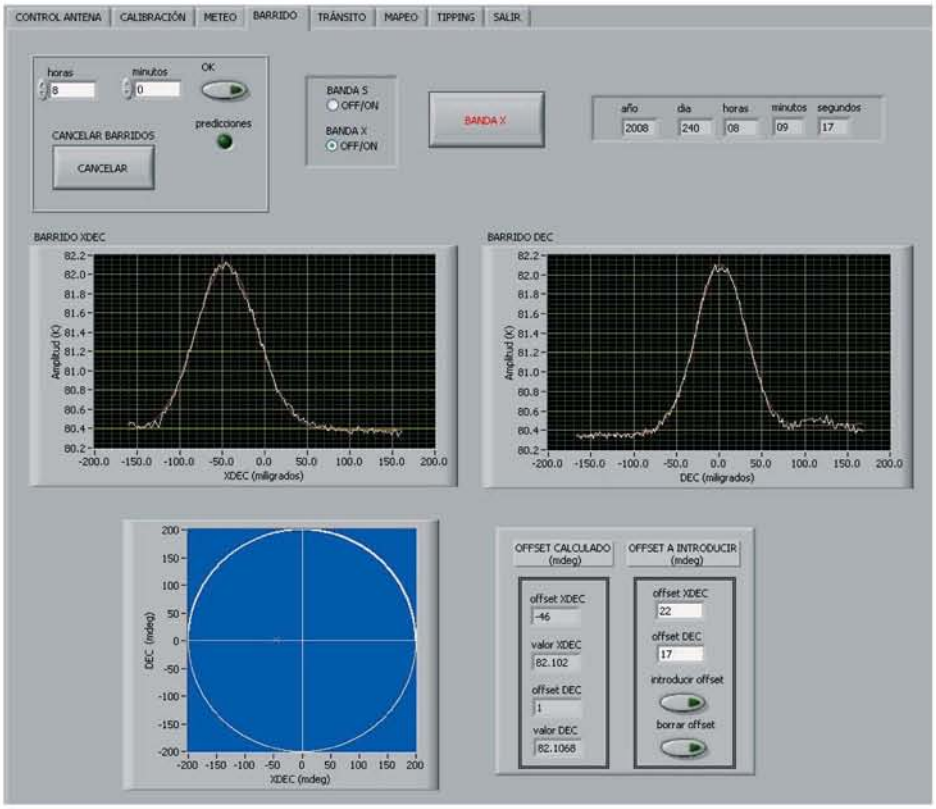
En ella tenemos los datos referidos a la calibración, tanto si la hemos elegido lineal, como cuadrática (sabremos la que hemos elegido porque el LED correspondiente a cada una estará encendido). Para la lineal, tenemos la potencia de la carga ambiente y la temperatura que tiene asociada, para que podamos calcular el "y factor". Para la cuadrática, tenemos para ambas bandas el valor de los coeficientes que se utilizan para la transformación de potencia a temperatura, así como el valor de la temperatura de los diodos y del cielo.



Meteo

Obtenemos los datos de la estación meteorológica y que nos servirán para que la antena haga las correcciones necesarias por la refracción.





Barrido

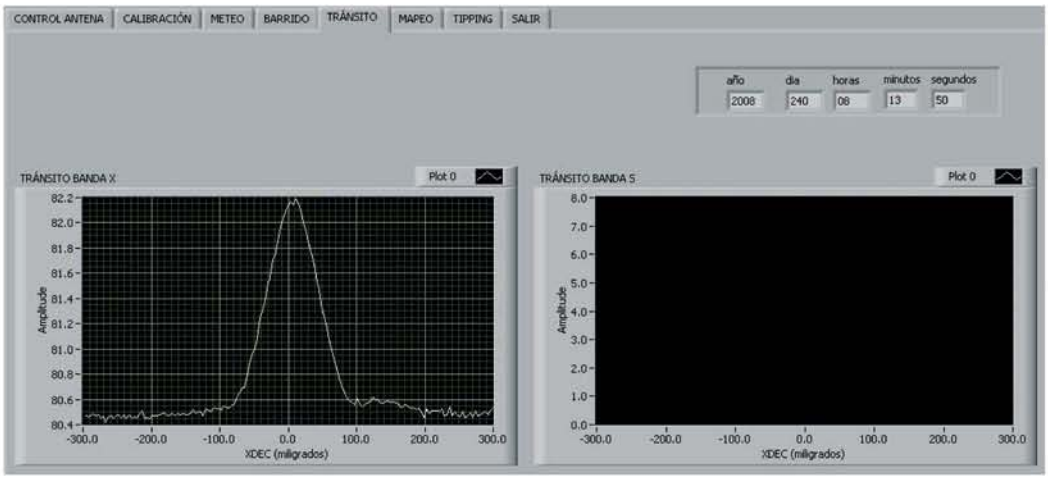
Ahora los barridos se hacen de forma distinta. Debemos elegir primero la banda en la que queremos hacer el barrido, así como la hora a la que queremos que empiece. El barrido durará **tres minutos y medio siempre** (en ambas bandas). El botón *Cancelar barridos*, borrará las predicciones que hemos introducido a la memoria del ACS. Una vez que la antena esté tomando datos para el barrido, aparecerá en verde el indicador *predicciones*, y cuando termine, se apagará.

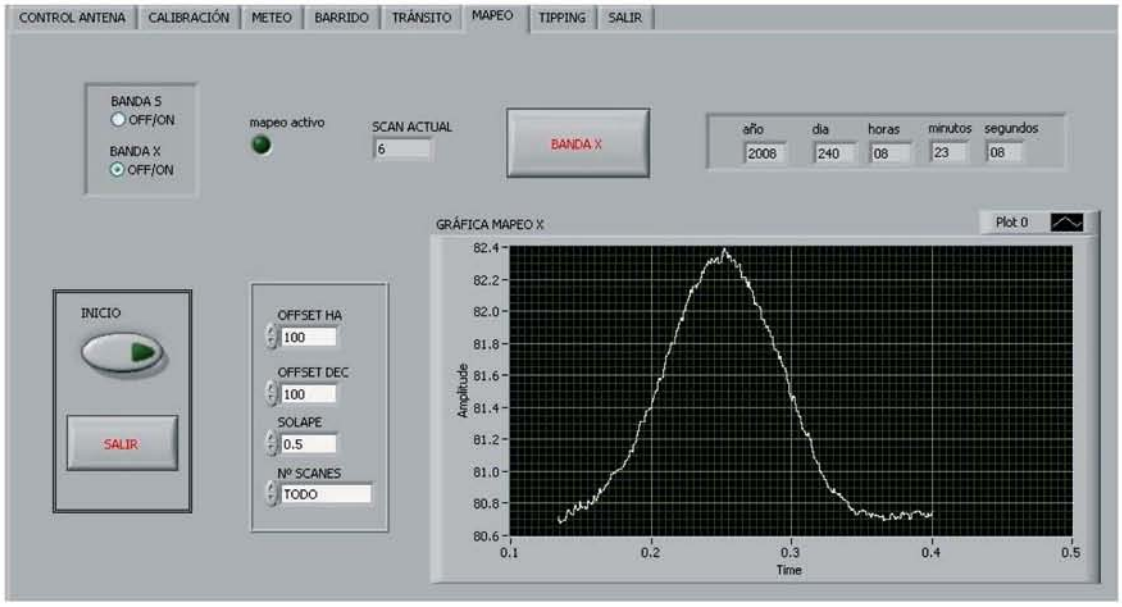
En la parte central de la imagen superior tenemos las dos gráficas que representan los barridos, en XDEC y en DEC. Debajo de ellas, tenemos otra, que muestra lo desapuntada que está la antena respecto al centro del "punto de mira".

Por último, en la parte inferior derecha tenemos los datos obtenidos en el barrido (Offsets y valores, tanto en DEC como en XDEC). Además podemos introducir los offsets calculados para corregir el apuntamiento, así como borrarlos.

Tránsito

En la imagen inferior se muestran las gráficas obtenidas al hacer un tránsito sobre





una fuente. Para realizarlo tenemos que pulsar el botón *Tránsito* en la pestaña "Control antena").

Mapeo

En esta pestaña se encuentran las diferentes opciones para realizar mapeos de fuentes extensas de forma automatizada. Para ello, debemos elegir primero la banda de trabajo, y después las dimensiones del área a mapear, lo que se hace a través de la elección adecuada de valores de Offsets en HA y en DEC.

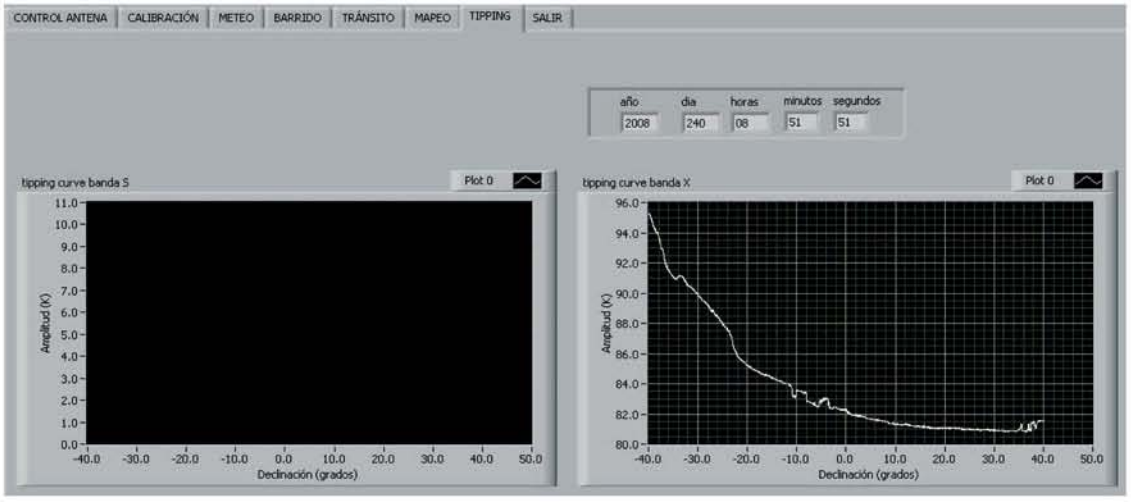
El botón *solape* representa la superposición de haz que hay entre un scan y el siguiente (que elegiremos con el *nº de scanes*). El indicador *scan actual*, nos dice el número del scan que se está haciendo en ese momento, y la gráfica mostrará el resultado obtenido en el último scan realizado. Cuando finalice el proceso, aparecerá un indicador de *fin de mapeo*.

Tipping

En la figura inferior se muestra esta pestaña. En ella aparecen representadas las gráficas obtenidas al hacer una *tipping curve* o curva de temperaturas, tanto en banda S como en X. Para realizar la tipping tenemos que pulsar el botón *Tipping* en la pestaña "Control antena".

Salir

Esta pestaña contiene simplemente los botones para poder salir del programa de control. Lo más usual es usar esta pestaña cuando la observación ha finalizado. En ocasiones, la aparición de problemas requiere el reinicio del programa. En este caso recurriremos también a esta pestaña.



Reducción de datos en PARTNeR

Equipo PARTNeR

La finalidad de la reducción de datos es obtener la densidad de flujo de la fuente que se está observando. La temperatura *total* medida por la antena tiene las siguientes componentes (ver Cap. 6 del Curso de Iniciación a la Radioastronomía):

$$T_m = T_{sis} + T_f \cdot A_{atm}$$

donde T_m es la temperatura *total* medida por la antena, T_{sis} es la temperatura de sistema, T_f es la temperatura de antena real de la fuente, que es la que nos interesa obtener, y A_{atm} es la absorción atmosférica.

Corrección de la temperatura de sistema

La temperatura de sistema se elimina ajustando cada tránsito realizado sobre la fuente durante la observación a una curva *gaussiana*, de forma que la temperatura de antena de la fuente es el valor de la altura del máximo de cada *gaussiana* por encima del nivel de base o ruido. Una vez realizado este paso de sustraer la temperatura de sistema, la temperatura de antena de la fuente medida por el radiotelescopio, que todavía estará afectada por la atmósfera, será:

$$T_f^{'} = T_m - T_{sis} = T_f \cdot A_{atm}$$

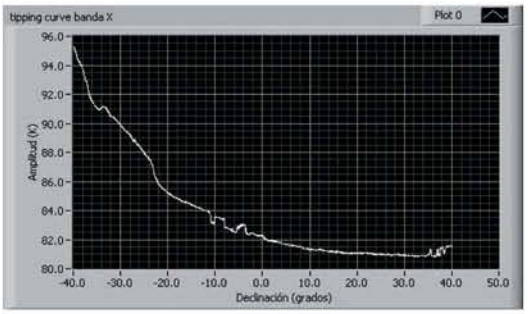
donde T'_f es la temperatura de antena de la fuente medida por el radiotelescopio, T_f es la temperatura de antena real de la fuente, y A_{atm} es la absorción atmosférica.

Corrección de la influencia atmosférica

El valor de la opacidad atmosférica (τ) se calcula mediante la *tipping curve* o curva de temperatura de sistema, que se realiza al final de cada observación. La absorción atmosférica (A_{atm}) está relacionada con la opacidad mediante la siguiente expresión:

$$A_{atm} = e^{-\tau} = e^{\left(\frac{-\tau_0}{\sin \varepsilon}\right)}$$

donde ε es la elevación de la antena.



Curva de temperatura de sistema para banda X. Se aprecia claramente que la forma de esta curva es la de una exponencial negativa. El ajuste subsiguiente permite obtener el valor de la opacidad en el cenit τ_0.

El valor de la opacidad en el cenit (τ_0) se calcula a partir de los datos obtenidos con la *tipping curve*. Recordemos que esta curva se obtiene midiendo con el radiotelescopio la temperatura de antena atmosférica desde elevaciones bajas hasta el cenit, sin pasar sobre fuentes. La expresión matemática de esta curva resulta ser:

$$T_{atm} = T\left(1 - e^{\left(\frac{-\tau_0}{\sin\varepsilon}\right)}\right)$$

donde T_{atm} es la temperatura de antena de la atmósfera medida por el radiotelescopio durante la realización de la *tipping curve* y T es la temperatura equivalente media de la atmósfera, supuesta ésta en equilibrio termodinámico (su valor es de 265 K).

Tenemos dos maneras de obtener el valor de τ_0. La primera es realizar el ajuste de la *tipping* obtenida a una curva normalizada y obtener τ_0 a partir de cualquiera de los puntos de dicha curva de ajuste. La segunda es representar gráficamente $\ln(T-T_{atm})$ frente a $\sin\varepsilon$. El valor de τ_0 es la pendiente de esta recta, cambiada de signo, ya que, de la expresión anterior, obtenemos, obviando constantes:

$$\ln(T - T_{atm}) = \frac{-\tau_0}{\sin\varepsilon}$$

Una vez obtenida la opacidad en el cenit tendremos la opacidad y la absorción atmosféricas.

Finalmente, el resultado de corregir la absorción atmosférica será la temperatura de antena real de la fuente:

$$T_f = T_f^{'} \cdot e^{\tau} = T_f^{'} \cdot e^{\left(\frac{\tau_0}{\sin\varepsilon}\right)}$$

Paso de la temperatura de antena en K a la densidad de flujo en Jy

No debemos olvidar que la temperatura de antena es una convención que utilizamos para trabajar con unidades más manejables durante las observaciones. Lo que nos interesa conocer realmente es el flujo recibido en la banda de trabajo. Más concretamente, la densidad de flujo recibida, en Janskys. Para convertir a Jy la temperatura de antena obtenida hay que utilizar la denominada *curva de sensibilidad*, para cada banda de trabajo. La expresión matemática general de esta curva es un polinomio cuyos coeficientes deben ser calculados empírica y específicamente para cada antena. Su forma general es:

$$1/sensibilidad = \sum_n A_n \cdot \varepsilon^n$$

Los polinomios de ajuste para la antena DSS - 61 y para cada banda de trabajo son:

Banda S

$$1/sensibilidad\left(Jy/K\right) =$$
$$= 5{,}5182347 - 0{,}0049122809\,\varepsilon$$
$$+ 0{,}0016764142\,\varepsilon^2 - 2{,}14292\times10^{-5}\,\varepsilon^3$$
$$+ 9{,}307191\times10^{-8}\,\varepsilon^4$$

con ε medida en grados y válida para elevaciones entre ε = 13,3º y 82,6º.

Banda X

$$1/sensibilidad\left(Jy/K\right) =$$
$$= 9{,}7565529 - 0{,}14479588\,\varepsilon$$
$$+ 0{,}0035352276\,\varepsilon^2 - 3{,}6021838\times10^{-5}\,\varepsilon^3$$
$$+ 1{,}2893929\times10^{-7}\,\varepsilon^4$$

válida para elevaciones entre ε = 13,3º y 82,6º.

Los valores de las *curvas de sensibilidad* se actualizan para obtener mejores ajustes o para aumentar su rango de validez. Las temperaturas de antena obtenidas se transforman en densidades de flujo usando las relaciones anteriores.

Para comprobar que la calibración y el proceso de reducción de datos son correctos, es conveniente reducir también el calibrador de flujo observado y comprobar que la densidad de flujo obtenida para las dos bandas es la esperada según los datos de los catálogos radioastronómicos existentes.

Radiotelescopio de Effelsberg

Desde su inauguración en 1972, el radiotelescopio de 100 metros de Effelsberg es uno de los radiotelescopios completamente dirigibles más grandes del mundo. Tiene montura altazimutal y disposición cassegrain, y puede operar hasta en 23 longitudes de onda diferentes comprendidas entre 3 mm y 73 cm. Pertenece al Instituto Max Planck de Radioastronomía (MPIfR, en alemán) en Bonn, Alemania. Durante cerca de 30 años fue el radiotelescopio dirigible más grande del mundo, hasta la puesta en servicio del Green Bank Telescope (GBT).

Recientemente este radiotelescopio se incorporó a e-EVN (electronic European VLBI Network, red europea de interferometría electrónica de muy larga base), la mayor red europea de radiotelescopios interferométricos. Ahora está conectado a otros seis radiotelescopios situados por toda Europa mediante enlaces de fibra óptica. Los otros radiotelescopios que forman parte de la red se encuentran en Cambridge y Jodrell Bank (Reino Unido), Medicina (Italia), Onsala (Suecia), Torun (Polonia) y Westerbork (Países Bajos). Con la integración de este radiotelescopio en la red, el proyecto e-EVN se ha convertido en la red interferométrica más rápida del mundo, realizando observaciones en tiempo real con interferometría electrónica de muy larga base (e-VLBI, electronic Very Long Baseline Interferometry, en inglés).

Además, la incorporación de este radiotelescopio ha incrementado también la sensibilidad de la red para detectar en el cielo objetos emisores de radio ondas extremadamente débiles. Se calcula que la velocidad de transmisión permite recoger, de una pasada, 1,5 Terabytes de datos. De este modo, la red puede generar imágenes astronómicas extremadamente nítidas, con resoluciones que pueden ser cien veces mejores que las de los mejores telescopios ópticos.