



**MEMORIA
2008**

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

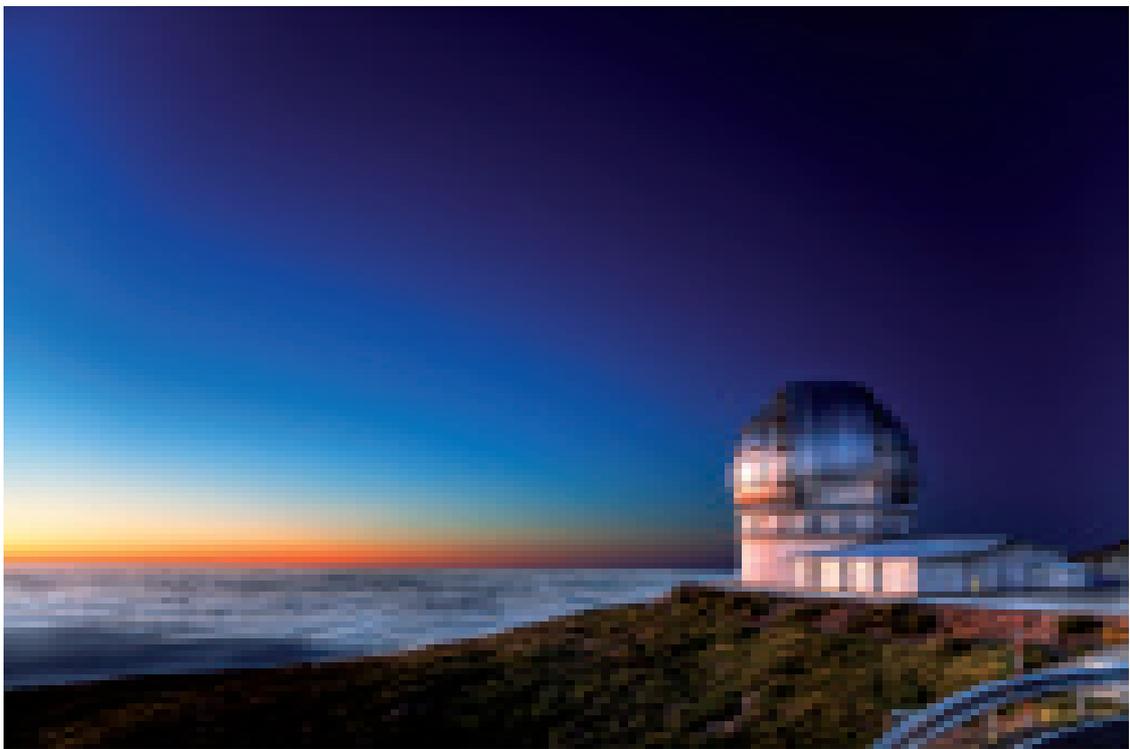


Foto Pablo Bonet Márquez.

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS

GABINETE DE DIRECCIÓN

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS
MAQUETACIÓN: Ana M. Quevedo
PORTADA: Gotzon Cañada
PREIMPRESIÓN E IMPRESIÓN: Producciones Gráficas S.L.
DEPÓSITO LEGAL: TF-1905/94

Indice general

5 -	PRESENTACIÓN
6 -	CONSORCIO PÚBLICO IAC
9 -	LOS OBSERVATORIOS DE CANARIAS
9 -	Observatorio del Teide (OT)
10 -	Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM)
11 -	COMISIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE TIEMPO (CAT)
15 -	ACUERDOS
16 -	Gran Telescopio CANARIAS (GTC)
20 -	ÁREA DE INVESTIGACIÓN
22 -	Estructura del Universo y Cosmología
39 -	El Universo Local
72 -	Física de las estrellas, Sistemas Planetarios y Medio Interestelar
92 -	El Sol y el Sistema Solar
111 -	Instrumentación y Espacio
149 -	Otros
163 -	ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN
163 -	Ingeniería
171 -	Producción
176 -	Acciones de apoyo tecnológico
183 -	Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)
194 -	ÁREA DE ENSEÑANZA
194 -	Cursos de doctorado
195 -	Seminarios científicos
198 -	Coloquios
199 -	Becas
201 -	XX Escuela de Invierno: "Cosmología del Grupo Local de Galaxias"
204 -	ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS GENERALES
204 -	Instituto de Astrofísica
205 -	Observatorio del Teide
206 -	Observatorio del Roque de los Muchachos
207 -	Centro de Astrofísica de La Palma
207 -	Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo
209 -	Ejecución del Presupuesto 2008
210 -	GABINETE DE DIRECCIÓN
210 -	Ediciones
212 -	Comunicación y divulgación
217 -	Visitas a las instalaciones del IAC
220 -	SERVICIOS INFORMÁTICOS COMUNES (SIC)
224 -	BIBLIOTECA
225 -	PUBLICACIONES CIENTÍFICAS
225 -	Artículos en revistas internacionales con árbitros
235 -	Artículos de revisión invitados (Invited Reviews)
237 -	Comunicaciones a congresos internacionales
247 -	Comunicaciones a congresos nacionales
250 -	Artículos en revistas internacionales sin árbitros y comunicaciones cortas
250 -	Artículos en revistas nacionales
250 -	Libros y capítulos de libros
251 -	Tesis doctorales
253 -	REUNIONES CIENTÍFICAS
259 -	TIEMPO DE OBSERVACIÓN FUERA DE CANARIAS
260 -	DISTINCIONES
262 -	RECURSOS HUMANOS
266 -	PERSONAL
279 -	DIRECCIONES Y TELÉFONOS

PRESENTACIÓN

Animo a los lectores de esta Memoria Anual a que miren con cuidado los resultados conseguidos en 2008 por los Proyectos, tanto los netamente científicos como los tecnológicos. Verán como vamos avanzando, pese a las dificultades económicas y de gestión que padecemos.

Como viene siendo habitual, la importancia del Gran Telescopio CANARIAS (GTC) merece siempre una mención especial en la presentación de la Memoria. El 2008 se ha ocupado en la difícil y trabajosa recta final, y resulta gratificante comprobar cómo las prestaciones de apuntado y seguimiento, así como la estabilidad en las imágenes, superaron los objetivos planteados inicialmente. Con mucho esfuerzo se logró que OSIRIS, el instrumento de rango visible de Día Uno, se instalase en el GTC. El otro instrumento de primera generación, CanariCam, llegó al Observatorio desde Florida y superó las primeras pruebas de recepción.

Para el IAC, no obstante, la era de los grandes telescopios no termina con el GTC. Estamos implicados activamente en los dos grandes proyectos de la Astronomía europea en tierra: el Telescopio Solar Europeo (EST) y el Telescopio Súper Gigante Europeo (E-ELT).

En relación a estos macroproyectos voy a atreverme a decir algo sobre la tan traída y llevada crisis económica, que no sea esperar y rezar para que no dañe a la Astronomía. Yo, como soy optimista práctico, se por experiencia que de las crisis se puede sacar provecho, entendiéndolas como ocasión de reflexión y cambio, punto de inflexión que empuja a dejar atrás viejas prácticas y esquemas anticuados, para abrir nuevos rumbos. Albert Einstein decía que: "La crisis es la mejor bendición que puede sucederle a personas y países, porque la crisis trae progresos".

Los grandes proyectos científicos necesitan ahora más que nunca la cooperación multinacional, pero con nuevos conceptos de gestión mucho más eficaces, adaptados a los nuevos tiempos, que sin bajar la eficacia reduzcan costos. De otra forma, proyectos como los Extremely Large Telescopes tendrán que esperar muchos años para que puedan llevarse a cabo.

Naturalmente, que estos súper grandes telescopios deberían de ubicarse en los lugares que reúnan las mejores condiciones atmosféricas que se requieran para la Astronomía que con ellos quiera realizarse. Los site testing, con observaciones realmente comparables, deben ser la guía. Y como se trata de instrumentación extremadamente costosa que debe ser utilizable durante muchos años, habrá que prestar singular atención a las largas series de observaciones que garanticen que el sitio elegido va mantener las condiciones durante muchos años. También, es evidente, que deben ser lugares con estabilidad política y económica, así como con bajísimas posibilidades de terremotos importantes.

El Observatorio del Roque de los Muchachos reúne todas estas condiciones y, además, hay datos fehacientes de que la construcción y operación aquí del European Extremely Large Telescope (E-ELT) puede resultar netamente más barata que en otros de los lugares propuestos. Si a esto se unen las subvenciones concretas obtenibles de la Comunidad Europea, por ser Canarias una de sus "Regiones Ultraperiféricas", y las aportaciones que están dispuestas a añadir España y Canarias, la posibilidad de iniciar sin más dilaciones el proyecto pasa a ser un hecho cierto. La verdad es que, en estos tiempos de crisis económica, La Palma es la apuesta segura para el E-ELT. Esperemos que así lo entiendan también nuestros colegas europeos.

CONSORCIO PÚBLICO

"INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS"

El Consorcio Público "Instituto de Astrofísica de Canarias" está integrado por la Administración del Estado (a través del Ministerio Educación y Ciencia), la Comunidad Autónoma de Canarias, la Universidad de La Laguna y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Esta fórmula jurídica de consorcio fue una avanzada solución administrativa, consecuencia de un pacto por el que las entidades implicadas, concentrando sus esfuerzos y evitando duplicidades innecesarias, se comprometieron a unificar objetivos y medios en un único ente, al que dotaron de personalidad jurídica propia. Se trataba de que el IAC fuese un centro de referencia, no sólo capaz de cumplir las responsabilidades derivadas de los Acuerdos Internacionales de Cooperación en materia de Astrofísica, en los cuales representa a España, sino además de ser palanca para el desarrollo de la Astrofísica en el país.

Cada uno de estos entes consorciados aporta algo esencial. La Comunidad Autónoma de Canarias: el suelo y, sobre todo, el cielo de Canarias; la Universidad de La Laguna: el Instituto Universitario de Astrofísica, germen del propio IAC; y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas: su experiencia en relaciones científicas internacionales. La Administración del Estado a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología, por su parte, no sólo

contribuye con el mayor porcentaje al presupuesto del Instituto, sino que, además, lo engloba dentro de sus organismos públicos de investigación y lo proyecta en la comunidad científica nacional e internacional.

Especialmente importante es la participación internacional. Téngase en cuenta que la mayoría de las instalaciones telescópicas de los Observatorios del IAC pertenecen a otros organismos e instituciones de investigación europeos.

La participación de las instituciones de los diversos países en los Observatorios se realiza a través del Comité Científico Internacional (CCI). Se produce un "Informe Anual" en el cual se recoge la actividad científica desarrollada en los Observatorios y las mejoras en sus instalaciones. Este informe tiene una amplia difusión internacional.

La contrapartida principal que se recibe por el "cielo de Canarias" es del 20% del tiempo de observación (más un 5% para programas cooperativos) en cada uno de los telescopios instalados en los Observatorios del IAC. Un porcentaje realmente significativo que una Comisión para Asignación de Tiempo (CAT) reparte cuidadosamente entre las numerosas peticiones formuladas por los astrofísicos españoles.

El IAC lo integran:

MEMORIA
2008 IAC

6

EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA (La Laguna - Tenerife)
EL OBSERVATORIO DEL TEIDE (Izaña - Tenerife)
EL OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (Garafía - La Palma)
EL CENTRO DE ASTROFÍSICA DE LA PALMA (Breña Baja - La Palma)

Se estructura en áreas:

Investigación
Instrumentación
Enseñanza
Administración de Servicios Generales

Organos Directivos

Nº Reuniones

CONSEJO RECTOR

PRESIDENTE	Ministro de Ciencia y Tecnología
VOCALES	Presidente del Gobierno de Canarias Representante de la Administración del Estado Rector de la Universidad de La Laguna Presidente del CSIC Director del IAC

DIRECTOR

Organos Colegiados

Nº Reuniones

COMISIÓN ASESORA DE INVESTIGACIÓN (CAI)

COMITÉ DE DIRECCIÓN (CD)

34

Consejo de Investigadores	
Comisión de Investigación	12
Comisión de Enseñanza	10
Comisión de Doctores	9
Comité de la Biblioteca	2

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL (CCI)

2

SUBCOMITÉS	Finanzas	2
	Operación del Obs. del Roque de los Muchachos	3
	Operación del Obs. del Teide	2
	Calidad Astronómica del Cielo	1

COMISIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE TIEMPO (CAT)

Telescopios nocturnos (sala nocturna)	2
Telescopios solares (sala diurna)	1

MEMORIA
IAC 2008

REUNIONES CELEBRADAS

Reuniones del Comité Científico Internacional (CCI)

- El 6 de junio en la sede central del IAC, La Laguna, el CCI celebró su reunión número **59**.

Esta reunión fue la primera con el nuevo formato donde la mayoría de las Instituciones Usuarias estarán representadas por miembros de su personal residentes en Canarias para así reducir el número y presupuesto de los viajes.

En la reunión se acordó repartir el Tiempo Internacional nocturno de 2009 entre las propuestas ITP08-01 y ITP08-04, "New exoplanets from SuperWASP" y "The Origin and Evolution of Fossil Galaxy Groups".

El CCI acordó que no se convocaría en el 2008 el programa solar del ITP para hacerlo coincidir con el habitual entre la comunidad de astrofísica solar de final de enero cada año.

Se presentó el Informe sobre la actividad de coordinación de OPTICON conocido como NA2. y el CCI felicitó a todos los participantes en ésta actividad de coordinación y divulgación por los excelentes logros.

El Secretario presentó el Informe Anual correspondiente al 2007 y el CCI le felicitó por el excelente informe y agradeció especialmente la sección sobre la "Caracterización Astronómica de los Observatorios de Canarias".

En la reunión se hizo entrega de una copia del libro de proceedings del Congreso Internacional "La Luz de las Estrellas" ("Starlight a Common Heritage"), celebrado en La Palma en 2007.

- La reunión número **60** del CCI, se celebró el 25 de noviembre, en el Hotel H10 Taburiente Playa (Los Cancajos, La Palma).

Se informó sobre el accidente mortal del Dr. F. Goebel, responsable principal del proyecto del Telescopio MAGIC II. Como consecuencia de este accidente se suspendió la inauguración del Telescopio. Se presentó el nuevo reparto de responsabilidades por la Seguridad Laboral para MAGIC y se acordó que en el futuro los temas de seguridad laboral formarán parte del Orden del Día de las Reuniones del Subcomité de Operación (OSC + SOT).

Se presentó el informe sobre el estado del telescopio GTC y el CCI felicitó al Dr. Pedro Álvarez y a su equipo por el excelente progreso en su puesta a punto. También se acordó incluir la contribución del telescopio GTC al Programa de Tiempo Internacional del CCI a partir del 2010.

Se presentó el informe que ha resultado de la inspección de las infraestructuras de Servicios Comunes del ORM realizada por la empresa especializada Bureau VERITAS. Dicho informe y recomendaciones servirán como base para las discusiones sobre los trabajos que deberían acometerse dentro del Plan de Largo Alcance.

En base al informe presentado por la Presidenta del SUCOSIP sobre la propuesta de reemplazar el contenedor situado al lado del Telescopio de Liverpool por un edificio anexo y la propuesta por parte del Consorcio SuperWASP de construir un telescopio de 1m, denominado SFT, cerca de su instalación actual, el CCI acordó que las dos nuevas instalaciones propuestas para el ORM no impactan negativamente en las existentes, pero encargó a la Universidad Queens de Belfast que resuelva, en la medida de lo posible, la incidencia de polvo resultante de los trabajos de construcción en el programa detallado de trabajos de instalación del SFT.

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (ORM)

- Superficie: 189 hectáreas
- Altitud: 2.396 m
- Situación: Isla de La Palma (Islas Canarias/España)
- Longitud: 17° 53' 32" Oeste
- Latitud: 28° 45' 23" Norte

Observatorio	Instrumento	Operador	Operación
1	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
2	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
3	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
4	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
5	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
6	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
7	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
8	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
9	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
10	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
11	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
12	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
13	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
14	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
15	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
16	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
17	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
18	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
19	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
20	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
21	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
22	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
23	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
24	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
25	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
26	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
27	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
28	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
29	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
30	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
31	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
32	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
33	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
34	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
35	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
36	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
37	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
38	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
39	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
40	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
41	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
42	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
43	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
44	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
45	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
46	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
47	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
48	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
49	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000
50	Observatorio de Radioondas	Observatorio de Radioondas	2000

***Consortio WASP:**
Universidades de Cambridge, Keele, Leicester,
Open, Queens Belfast y St. Andrews (RU) IAC-ING (E)

****Consortio MAGIC:**
Inst. Física d'Altes Energies (E); Univ. Autónoma Barcelona (E); Obs. de Crimea (U);
Univ. California (EEUU); Univ. Gottingen (A); Univ. Lodz (P); Univ. Complutense de Madrid (E);
Inst. Nuclear Research (R); Inst. Max-Planck Munich (A); Univ. Padua (IT); Univ. Potchefstroom (PB);
Univ. GH-Siegen (A); Univ. Siena (IT); Obs. Tuorla (FI); Univ. Wurzburg (A); Inst. Física Yerevan (AR)

A= Alemania; AR= Armenia B= Bélgica; D= Dinamarca; E= España; EEUU=Estados Unidos;
FI= Finlandia; FR=Francia; IT= Italia; M= México; N= Noruega; PB= Países Bajos; P= Polonia;
RU=Reino Unido; R= Rusia; S=Suecia; U= Ucrania; IS=Islandia

SERVICIOS

- Comunicaciones: Red IBERCOM, sistema de radio-enlace con estaciones de base y a bordo de vehículos, línea de datos a 34 Mbps.
- Alojamientos: Residencia = 29 habitaciones (24 individuales y 9 dobles); Anexo = 27 habitaciones (6 individuales y 21 dobles).
- Vehículos: 3 todo-terreno, 1 turismo, 1 camión (quitanieve y contraincendios) y 1 ambulancia.
- 4 Helipuertos.
- Otras instalaciones: Zona de Servicios con despachos, Sala de reuniones con videoconferencia, Laboratorio de Electrónica, Taller de Mecánica, Almacén, Garajes, Grupos Electroógenos, Transformadores, Cuarto de Máquinas, Taller de Soldadura y Gasolinera.

COMISIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE TIEMPO (CAT) en los Observatorios del IAC

Entre los objetivos del IAC figura "promover la investigación astrofísica" y "fomentar las relaciones con la comunidad científica nacional e internacional". La forma más directa que tiene el Instituto de actuar en tal sentido es facilitando el uso de tiempo de observación disponible en cada uno de los telescopios instalados en los Observatorios de Canarias. La asignación de tiempo de observación se realiza a través de la "Comisión de Asignación de Tiempo" (CAT), constituido por astrofísicos de probada cualificación, que se adscriben a las listas de candidatos elegibles según sus campos de investigación. Las normas sobre su composición y funcionamiento las fija el Consejo Rector del IAC.

El Presidente del CAT continúa actuando en delegación del Director del IAC. Además hay un representante del Comité Científico Internacional (CCI).

La nueva composición consta de tres Paneles, cada uno formado por un Comisionado, un Vice-comisionado, un representante de la Subdirección General de Promoción e Infraestructuras Tecnológicas y Grandes Instalaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, en relación con el Programa de Mejora y Acceso a Grandes Instalaciones y tres vocales y especializados en un campo específico de la Astrofísica: el Panel de **Galaxias y Cosmología**, el de **Galaxias y Estrellas** y el de **Estrellas y Planetas**. El cometido de estos Paneles es reunirse para estudiar las propuestas de su especialidad, pre-evaluar las solicitudes y hacer llegar sus informes científicos al Presidente y Vicepresidente del CAT, por medio de sus respectivos Comisionados y Vice-comisionados, con el propósito de facilitarles su labor. Los tres Paneles se reúnen simultáneamente durante dos días consecutivos y los seis Comisionados y Vice-comisionados se reúnen a continuación con el Presidente y Vice-presidente durante dos días más.

Los miembros del CAT no permanecen en él más de 4 evaluaciones consecutivas (2 años). Al final de cada reunión semestral evaluadora se nombra el vocal correspondiente a la plaza que ha quedado vacante, de tal manera que vayan renovándose los vocales de uno en uno.

Sala diurna

El CAT, en la sala diurna, distribuyó el tiempo de observación de los telescopios solares. Se reunió en una ocasión por videoconferencia y los participantes fueron:

28 de enero

Presidente
Pere L. Pallé (IAC)

Representante del MICINN
Jesús Burgos (IAC)

Vocal del IAC
Andrés Asencio

Vocales de la Comunidad Nacional
José C. del Toro (IAA)
Javier Pacheco (UAH)

Vocal Comité Científico Internacional
Saku Tsuneta (Obs. Nacional de Japón)

Tatiana Karthaus, del IAC, como Secretaria

MEMORIA
IAC 2008

11

Sala nocturna

El CAT, en la sala nocturna, para los telescopios nocturnos, se reunió en dos ocasiones y asistieron a las reuniones:

13, 14 y 15 de mayo

Presidente
Juan A. Belmonte (IAC)

Vicepresidente
José M. Vilchez (IAA)

Representante del MICINN
Manuel Varela Conde

18, 19 y 20 de noviembre

Presidente
Juan A. Belmonte (IAC)

Vicepresidente
José M. Vilchez (IAA)

Representante del MICINN
Francisco Herrada

PANEL I; GALAXIAS Y COSMOLOGIA (GACOS)

Comisionado
José A. Acosta (IAC)

Vice-comisionado
Miriam Centurión (Univ. Trieste)

Vocales
J. Alfonso López Aguerri (IAC)
J. A. Muñoz Lozano (UV)
Gustavo Yepes (UAM)

PANEL I; GALAXIAS Y COSMOLOGIA (GACOS)

Comisionado
José A. Acosta (IAC)

Vice-comisionado
Miriam Centurión (Univ. Trieste)

Vocales
J. Alfonso López Aguerri (IAC)
J. A. Muñoz Lozano (UB)
Gustavo Yepes (IEEC)

PANEL II; GALAXIAS Y ESTRELLAS (GAES)

Comisionado
Josep María Paredes (UB)

Vice-comisionado
John Beckman (IAC-CSIC)

Vocales
David Martínez Delgado (IAC)
Francisco Najarro (DAMIR)
Grazyna Stasisnska (OPM)

PANEL II; GALAXIAS Y ESTRELLAS (GAES)

Comisionado
Emilio Alfaro (IAA)

Vice-comisionado
John Beckman (IAC-CSIC)

Vocales
Pablo Rodríguez Gil (ING)
Francisco Najarro (DAMIR)
Grazyna Stasisnska (OPM)

PANEL III; ESTRELLAS Y PLANETAS (ESPLA)

Comisionado
Inmaculada Díaz Aguilera (UG)

Vice-comisionado
Eduardo Martín Guerrero (IAC)

Vocales
Luis Bellot (IAA)
David Montes (UCM)
M. Jesús Arévalo (IAC)

PANEL III; ESTRELLAS Y PLANETAS (ESPLA)

Comisionado
David Montes (UCM)

Vice-comisionado
Enric Pallé Vago (IAC)

Vocales
M. Jesús Arévalo (IAC)
José L. Ortíz (IAA)

Tatiana Karthaus, del IAC, como Secretaria

NOTA: Las resoluciones del CAT, con las propuestas seleccionadas, aparecen detallados en las siguientes direcciones electrónicas, por lo que para evitar repeticiones no se incluirán en esta Memoria. (Información: Tatiana Karthaus, Secretaría del CAT).

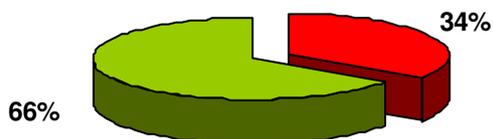
- telescopios solares <http://www.iac.es/cat/diurno/HOJA.html>

- telescopios nocturnos <http://www.iac.es/cat/portalcad.html>

FACTORES DE SOBREPETICIÓN PARA EL TIEMPO ESPAÑOL EN LOS TELESCOPIOS NOCTURNOS DEL OT Y ORM

El factor de sobrepetición expresa el número de noches solicitadas por cada noche concedida.

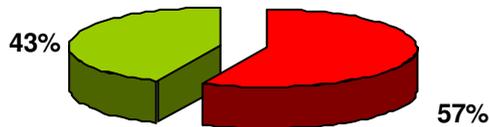
262,9 noches solicitadas en el
telescopio WHT (ORM)



■ concedidas ■ denegadas

Factor de sobrepetición 2,9 (290%)

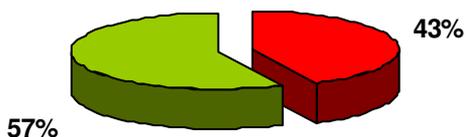
162 noches solicitadas en el
telescopio INT (ORM)



■ concedidas ■ denegadas

Factor de sobrepetición: 1,8 (180%)

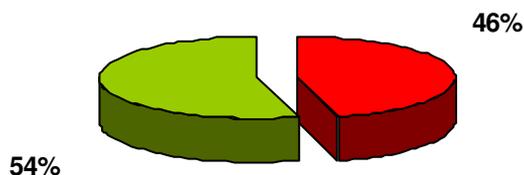
133 noches solicitadas en el
telescopio NOT (ORM)



■ concedidas ■ denegadas

Factor de sobrepetición: 2,3 (230%)

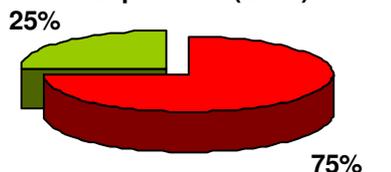
52 noches solicitadas en el
telescopio LT (ORM)



■ concedidas ■ denegadas

Factor de sobrepetición: 2,2 (220%)

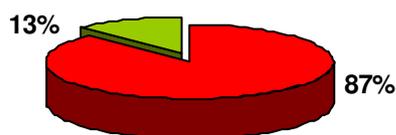
88 noches solicitadas en el
telescopio TNG (ORM)



■ concedidas ■ denegadas

Factor de sobrepetición 1,3 (130%)

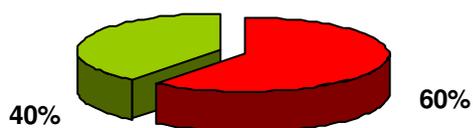
8 noches solicitadas en el
telescopio MERCATOR (ORM)



■ concedidas

Factor de sobrepetición 1,1 (110%)

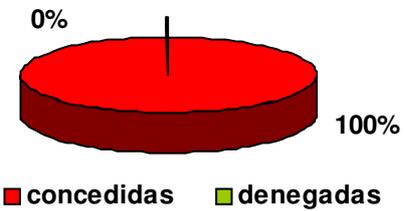
97,7 noches solicitadas en el
telescopio GTC (ORM)



■ concedidas

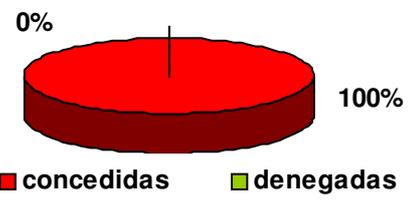
Factor de sobrepetición 1,7 (170%)

68 noches solicitadas en el telescopio TCS (OT)



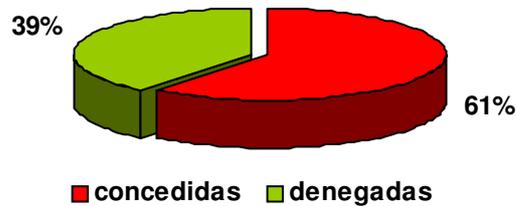
Factor de sobrepetición: 1 (100%)

170,7 noches solicitadas en el telescopio IAC-80 (OT)



Factor de sobrepetición 1 (100%)

1.042,8 noches solicitadas en los telescopios nocturnos del ORM y OT



Factor de sobrepetición 1,6 (160%)

ACUERDOS

ACUERDO PARA EL PATROCINIO DE LOS ENCUENTROS "BLAS CABRERA"

Éste ha sido el tercer año de actividad de los Encuentros Astrofísicos "Blas Cabrera", que fueron concebidos como una herramienta "especialmente diseñada para fomentar con agilidad y eficacia, las interrelaciones y las sinergias entre los grupos astrofísicos de España y México, llenando necesidades no cubiertas por las actividades habituales", como figura en el convenio firmado por la Universidad Autónoma de México (UNAM), el IAC y el Grupo Santander en el año 2005.

Durante el año 2008, tuvo lugar el encuentro: "El Gran Telescopio CANARIAS (GTC) y sus instrumentos de Día Uno".

ACUERDO CON EL CONSORCIO AMS (ALPHA MAGNETIC SPECTROMETER)

El IAC y el Consorcio AMS han firmado un acuerdo para el Experimento AMS cuyo propósito es facilitar la comprobación (en ESA, ESTEC, Noordwijk, Países Bajos), operación inicial (NASA Centro Espacial Johnson, Houston, Texas, EEUU) y explotación (en CERN, Ginebra, Suiza), de un espectrómetro magnético de última generación para el estudio del equilibrio entre la materia y la energía del Universo.

ACUERDO CON TELEFÓNICA MOVISTAR

El IAC y TME (Telefónica Móviles España) han establecido un compromiso de permanencia por un periodo de 18 meses. A cambio el IAC recibirá un crédito que podrá usar a cambio de nuevos terminales y modems de datos. TME tendrá derecho a citar el IAC e incluir su logo en sus listas de clientes.

CONVENIO CON LA CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN TERRITORIAL

El IAC y la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial han firmado un convenio para la instalación de una estación de medición de la calidad del aire. La estación ha sido ubicada en los

terrenos del Centro de Astrofísica de La Palma. (CALP), en el municipio de Breña Baja, La Palma.

ACUERDO DE CESIÓN DE DERECHOS DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL

El IAC y D. Guillermo Herrera Carles han establecido un acuerdo de cesión de derechos de explotación comercial en relación al módulo ITFC (Improved Tuneable Filter's Controller) para el instrumento OSIRIS. El propósito es permitir al inventor que ejerza la opción de presentar la correspondiente solicitud de patente y establecer los acuerdos de explotación comercial que estime oportunos. A su vez D. Guillermo Herrera Carles reconocerá y citará durante un periodo de tres años al IAC en cuantas acciones de difusión, publicación y comunicación por cualquier medio se realicen en relación con este módulo ITFC.

CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS Y EL MAX-PLANCK INSTITUT FÜR SONNENSYSTEMFORSCHUNG

Convenio de Colaboración entre el Instituto de Astrofísica de Canarias y el Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, para el fortalecimiento de la cooperación y colaboración en la financiación del vuelo del Globo SUNRISE en el verano de 2009. Mediante este convenio, el IAC contribuirá a los gastos que se generen al MPI por la contratación de la institución subsidiaria que se encargue de llevar a cabo la campaña de vuelo desde la Base Polar del Globo SUNRISE.

MEMORANDO DE ACUERDO ENTRE NEW JERSEY INSTITUTE OF TECHNOLOGY Y EL IAC

Memorando de Acuerdo entre New Jersey Institute of Technology (Newark, New Jersey, EEUU) y el IAC para la instalación de una estación de observación de reflectancia global que formará parte de una red global de telescopios robotizados para medir la reflectancia global de la Tierra en la Luna.

MEMORIA
IAC 2008

15

GRAN TELESCOPIO CANARIAS (GTC)

El Gran Telescopio Canarias (GTC) es el primer proyecto de "gran ciencia" liderado por España, para ser instalado en nuestro territorio. Es, además, un proyecto industrial de alto valor tecnológico con una importante participación de la industria de nuestro país. Está liderado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y financiado por el Estado Español, a través del Ministerio de Educación y Ciencia, el Gobierno Autónomo de Canarias, a través de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes, el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), el Instituto de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) de Puebla (México) y la Universidad de Florida (EEUU). Este telescopio, con un espejo primario segmentado de 10,4 metros de diámetro equivalente, se está completando su instalación en el Observatorio del Roque de Los Muchachos, en la Isla de La Palma.

A lo largo del año 2008 la actividad en el GTC se ha focalizado en preparar el telescopio para iniciar la operación científica lo más pronto posible. Al finalizar el año, las prestaciones del telescopio alcanzan las mínimas necesarias para poder realizar observaciones científicas en el rango visible con el instrumento **OSIRIS**. Unos meses antes se había realizado la instalación de los últimos segmentos, completando el espejo primario del telescopio. Terminamos el año plenamente dedicados a la instalación y puesta a punto de **OSIRIS**. La instalación de **CanariCam** y las observaciones científicas en el rango infrarrojo se trasladan para el año 2009, cuando las prestaciones del telescopio satisfagan los exigentes requisitos que impone el uso de ese instrumento.

En el mes de julio se solicitó a la comunidad científica que propusieran programas de observación que permitieran poner a prueba estos instrumentos y ayudar en el proceso final de su puesta a punto, sirviendo de verificación de todo el proceso de observación.

Preparando el inicio de la fase de operación del telescopio GTC, a finales de agosto se abrió la convocatoria pública y competitiva de programas de observación a ser realizados con el instrumento **OSIRIS**, en sus modos básicos (imagen con filtros anchos y estrechos y espectroscopía de rendija larga), durante el semestre 2009A (de marzo a agosto de 2009). Los diferentes Comités de Asignación de Tiempos (CAT's) del telescopio GTC valoraron científicamente las solicitudes recibidas y se seleccionaron finalmente un total de 52 programas de observación.

A lo largo del año los trabajos más destacables sobre el telescopio han sido los siguientes:



- Se completan múltiples detalles de instalación del Sistema de Adquisición y Guiado del foco Nasmyth B. Se realiza el calibrado y puesta a punto de sus modos más básicos de funcionamiento: adquisición y guiado lento. Se inicia la puesta a punto de modos más sofisticados: los sensores de frente de onda. Las prestaciones comprobadas de rigidez del telescopio dotándole de una alta inmunidad a los golpes de viento permiten dejar para más adelante la puesta en marcha de los modos de guiado rápido.

- Se prepara e instala en el telescopio los dos últimos lotes de seis segmentos, con lo que queda el telescopio con los 36 segmentos instalados, completando así la superficie completa del espejo primario. El control del espejo primario permite obtener imágenes limitadas por difracción, aún sin disponer de los sensores de frente de onda, lo que indica la estabilidad de este sistema y la calidad de los segmentos individuales.



Imagen del espejo primario del telescopio GTC con sus 36 segmentos instalados. Foto Miguel Briganti (SMM-IAC).

- Se desmonta el sistema del espejo secundario para:

- a) realizar un nuevo aluminizado para corregir los defectos observados en el primer aluminizado de su superficie
- b) realizar un nuevo ajuste de sus servos de basculación
- c) instalar el sistema de protección contra luz indirecta recientemente fabricado

- Se completa el control del telescopio de apuntado y seguimiento para la compensación de la rotación terrestre. Las prestaciones finales son excelentes:

- a) los errores de apuntado en todo el cielo son inferiores a un segundo de arco
- b) los errores de seguimiento o guiado ciego son inferiores al "seeing" durante varias decenas de minutos
- c) los errores de guiado son inferiores a la décima de segundo de arco durante horas

- Se completa la instalación del sistema de suministro de helio-gas a presión para los instrumentos de observación infrarroja que requieren de temperaturas muy bajas, tales como **CanariCam**, **EMIR** o **FRIDA**.

- Se completa la instalación del sistema de comunicación segura entre la parte fija y la rotante de la cúpula para integrar los sistemas de seguridad de esta con los del telescopio.

- Se completa la fabricación del sistema de calibración de instrumentos y se instala en el telescopio permitiendo la calibración fotométrica y espectral de **OSIRIS**.

- Se continúa con las actividades de diseño de detalle del sistema de Óptica Adaptativa del telescopio GTC, realizando a principios de año su revisión de este diseño (ADR).

- Se continúan los trabajos de diseño para la puesta en marcha de los focos Cassegrain plegados o "Folded Cass".

En el terreno de la instrumentación científica:

- En los laboratorios del IAC se completa la integración y pruebas del instrumento **OSIRIS**. Aunque no están operativos todos sus modos de

observación y falta recibir algunos elementos ópticos, el estado de finalización de **OSIRIS** permite iniciar su uso científico a cambio de completar su funcionalidad en el telescopio, junto con las restantes actividades sobre el telescopio. En noviembre se traslada el instrumento al Observatorio del Roque de los Muchachos y se instala en el telescopio a principios de diciembre, iniciándose entonces su puesta a punto.

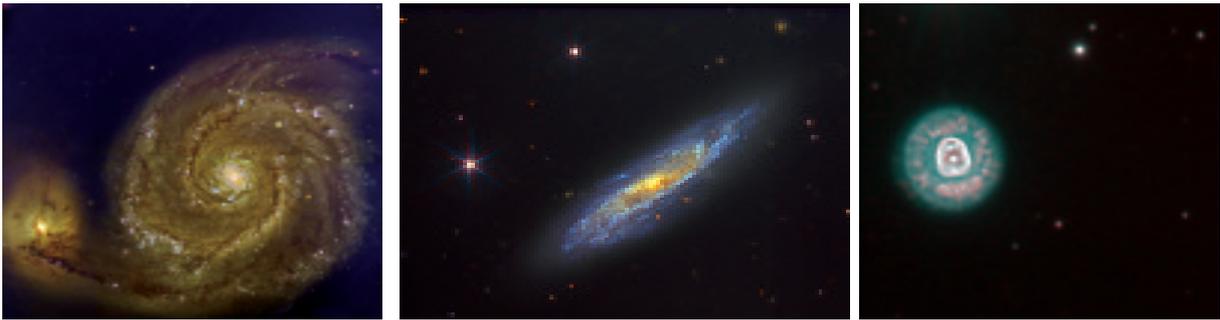


Equipo de OSIRIS en la Sala AIV del IAC.

- En enero se completan y superan las pruebas de aceptación de **CanariCam** en los laboratorios del Departamento de Astronomía de la Universidad de Florida. Una vez resueltos los trámites de traslado, se recibe en el Observatorio del Roque de los Muchachos a principios de julio donde se realizan las pruebas de recepción del instrumento, verificando su completa funcionalidad, sin haber sufrido daños durante el transporte. **CanariCam** se almacena en las dependencias del telescopio GTC hasta que llegue el momento de su instalación en el foco Nasmyth A, posiblemente a finales de 2009.



Equipo de CanariCam junto al instrumento.



Algunas de las primeras imágenes obtenidas con el Gran Telescopio CANARIAS GTC.

Izquierda: Imagen de M51, conocida como "Galaxia Remolino". Localizada a 23 millones de años luz de distancia de la Tierra, esta magnífica espiral se observó utilizando el instrumento OSIRIS, con un tiempo de exposición de dos minutos. Para llegar a la misma profundidad, un telescopio de un metro de diámetro necesitaría un tiempo de exposición de aproximadamente cuatro horas. La imagen se ha obtenido como composición de imágenes en tres colores.

Centro: Imagen de NGC2770 obtenida utilizando OSIRIS. Esta galaxia, situada a 100 millones de años luz, tiene el sobrenombre de "Fábrica de Supernovas", puesto que han sido detectadas dos supernovas y un emisor de rayos X durante los últimos nueve años. La imagen se ha obtenido como composición de imágenes en tres colores.

Derecha: La Nebulosa Planetaria "Esquimal", una nube de gas ionizado situada a tres mil años luz de distancia, observada utilizando los filtros sintonizables de OSIRIS. Estos filtros especiales, únicamente disponibles en telescopios de clase 10 m, permiten seleccionar un rango del espectro muy estrecho. En el caso de este objeto, se ha seleccionado la línea de emisión del Hidrógeno en Balmer alpha.

- El IAC, en colaboración con los restantes miembros del Consorcio que lo respalda, avanza en la fabricación del instrumento **EMIR**. Se trata de un sofisticado y complejo instrumento cuyo desarrollo tropieza con múltiples dificultades técnicas que han ido retrasando su planificación. **EMIR** es el primero de los instrumentos de segunda generación del telescopio GTC y su llegada al telescopio está actualmente prevista para el año 2011.

- El instrumento **FRIDA**, que diseña el Instituto de Astronomía de la UNAM, en México, en colaboración con otras instituciones como el IAC, la Universidad de Florida, la Universidad Complutense de Madrid, etc, ha superado su diseño preliminar y avanza en el diseño de detalle cuya revisión está prevista para finales de 2009. **FRIDA** tiene previsto ser instalado en el telescopio en el año 2011.

- El instrumento **CIRCE**, que fabrica la Universidad de Florida, será un instrumento visitante en el telescopio GTC ofrecido a toda la comunidad del mismo. Su instalación está prevista para finales de 2010.

- Se aprueba un plan de instrumentación futura para el telescopio tras un estudio específico encargado a un Comité de Expertos. Este plan incluye:

- Un espectrógrafo multiobjeto de resolución intermedia en el visible para estar operativo en 2015/16.

- Un espectrógrafo multiobjeto de resolución intermedia en el infrarrojo próximo para estar operativo en 2015/16.

- Instalar, de ser viable, el espectrógrafo de alta resolución UES para estar operativo en 2012.

- Estudiar la mejor forma de facilitar el acceso de instrumentación visitante al telescopio GTC.

- Preparar los restantes focos del telescopio: el Cassegrain y dos Cassegrain plegados.

- Ampliar la cobertura de cielo del sistema de Óptica Adaptativa del telescopio GTC dotándolo de un sistema de estrella artificial.

- Realizar los estudios de viabilidad necesarios para dotar al telescopio, en un futuro, con capacidades de MCAO (Óptica Adaptativa Multiconjugada) y GLAO (Óptica Adaptativa de capa límite) y de la instrumentación que aproveche estas nuevas capacidades.

- Realizar estudios de las capas atmosféricas sobre el Observatorio del Roque de los Muchachos para disponer de medidas de alta resolución de estas capas, incluida la capa límite.

Para el desarrollo de este plan de nueva instrumentación es necesario disponer de una financiación extraordinaria que se ha solicitado a los financiadores del Proyecto.



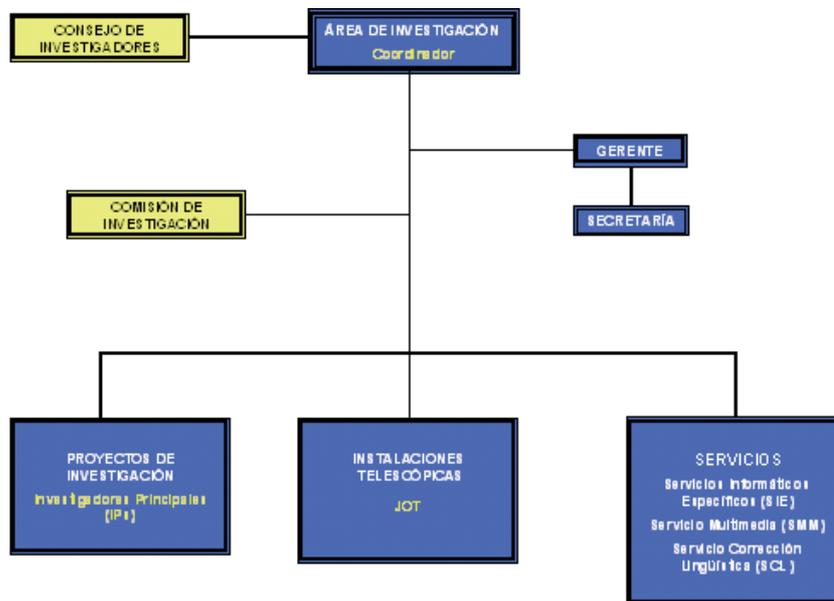
ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Corresponde al Área de Investigación la "elaboración y desarrollo de Proyectos de Investigación en el campo de la Astrofísica y en áreas relacionadas con ella". A fin de cumplimentar sus objetivos, el Área tiene una estructura organizativa, de gestión y de servicios enfocada a facilitar y encauzar el desarrollo de la actividad investigadora.

El Área está encabezada por el **Coordinador de Investigación** como responsable directo de las actividades de investigación del IAC. El **Consejo de Investigadores** es el órgano asambleario del Área y en él están presentes todos los Doctores que realizan su actividad investigadora en el Centro, con una antigüedad de al menos seis meses en el IAC. Tiene como máximas atribuciones el proponer el nombramiento (y, en su caso, el cese) del Coordinador, así como valorar sus informes de Gestión y los de las comisiones que de él dependen.

Para asistir al Coordinador en el desempeño de sus funciones, existe la **Comisión de Investigación**, que él mismo preside, y de la que forman parte el Director del Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna y cinco doctores del centro, uno de ellos elegido por los estudiantes de Doctorado. Si bien es éste un órgano consultivo del Coordinador, para estudiar todos los asuntos relativos a la investigación y proponer las resoluciones pertinentes a los órganos competentes, éste lleva a través de la misma una dirección colegiada del Área de Investigación.

La organización del Área se apoya en la Secretaría y cuatro Servicios. La **Gerencia**, que dirige la Secretaría, tiene como misión la de asistir al Coordinador en sus funciones y llevar a cabo, bajo sus directrices, la gestión interna del Área. La **Secretaría** (compuesta por tres administrativos) asiste al Coordinador y al Gerente en las tareas administrativas y de gestión, a la vez que ofrece apoyo al personal investigador.



Los Servicios del Área comprenden la **Operación de las Instalaciones Telescópicas del IAC**, los **Servicios Informáticos Específicos**, el **Servicio Multimedia** y el **Servicio de Corrección Lingüística**.

Operación de las Instalaciones Telescópicas. Se lleva a cabo de modo estructurado y en colaboración con el Área de Instrumentación y la propia Administración del Observatorio. Los objetivos de esta unidad son optimizar el uso de los telescopios y la instrumentación específica, posibilitar la máxima explotación científica de las observaciones y apoyar el acceso a las instalaciones de científicos de la comunidad nacional e internacional. Se estructura en un "Jefe de Operaciones de las instalaciones Telescópicas" (JOT), astrónomo experimentado, y a su cargo están los "Operadores" de los telescopios, los "Técnicos de Operaciones Telescópicas" (en formación) y los "Astrónomos de Soporte" (AS), investigadores contratados

con dedicación preferente (70%) a labores concretas relacionadas con las instalaciones telescópicas del IAC en el OT y el ORM y con las noches de servicio CAT para otras instalaciones, en telescopios, instrumentación y el apoyo a los astrónomos necesario para que obtengan el máximo partido. Los avances en este servicio pueden encontrarse en el informe del correspondiente Proyecto de Investigación.

Servicios

- **Servicios Informáticos Específicos (SIE)**. Su misión es la instalación, mantenimiento y asistencia al usuario, en lo que concierne a todo el software de uso astronómico. El Servicio cuenta con un astrónomo responsable y gestor del mismo, y la adscripción de un investigador postdoctoral y un ingeniero que dedican una buena parte de su tiempo a estas labores de soporte.

- **Servicio MultiMedia (SMM)**. Ofrece apoyo a los usuarios en todo lo referente a temas gráficos, tratamiento de imágenes, elaboración de ilustraciones o pósters y trabajos de vídeo o de infografía 3D. El Servicio está compuesto por tres técnicos especializados y es coordinado por un investigador senior del Área.

- **Servicio de Corrección Lingüística (SCL)**. Encargado de la revisión de textos de investigación astrofísica en lengua inglesa, destinados a ser publicados en revistas especializadas del campo. El servicio está formado por un técnico especializado.

Actividad Investigadora

Finalmente, la actividad netamente investigadora en el IAC se estructura en **Proyectos de Investigación** que actualmente se engloban en seis líneas de investigación temática y que abarcan la mayoría de campos de la Astrofísica tanto teórica como observacional o instrumental. Las Líneas de Investigación actuales en el IAC son: Estructura del Universo y Cosmología; El Universo Local; Física de las Estrellas, Sistemas Planetarios y Medio Interstelar; El Sol y el Sistema Solar; Instrumentación y Espacio y Otros.

Cada uno de los 44 Proyectos individuales, actualmente vigentes, está dirigido y gestionado por un "Investigador Principal" (IP) y aglutina la dedicación formal (total o parcial) de investigadores pre y postdoctorales del IAC. Las vinculaciones y colaboraciones con investigadores de otros centros están reconocidas e incentivadas.

El personal adscrito al Área (con relación contractual) se eleva a 164 personas (125 doctores y 39 doctorandos), además de 11 Investigadores Afiliados y 12 doctores con el status de "Colaborador" adscritos al Área, quienes participan en distintos proyectos.

Durante el año 2008 se aprobaron 4 proyectos de investigación dirigidos por investigadores del IAC, dentro de los Programas Nacionales de Astronomía y Astrofísica y del Espacio del Plan Nacional de I+D+i, por un total de 586.946 €. A través de los proyectos del Plan Nacional se incorporaron al IAC 38 nuevos postdocs (incluyendo 3 Ramón y Cajal). También se aprobó la incorporación de 2 nuevos investigadores a través del Programa Ramón y Cajal y 2 a través del Programa Juan de la Cierva 2008, cuyos contratos comenzarán durante el año 2009. Además, se solicitaron 7 nuevos proyectos de investigación a los Planes Nacionales, por valor de 2,9 M€, que deberán ser aprobados, en su caso, a lo largo de 2009.

MEMORIA
IAC 2008

21

Igualmente ha habido una intensa actividad de Seminarios y Coloquios en el Área. A lo largo de 2008, 8 investigadores de otras instituciones han sido invitados a dar un Coloquio en el IAC (una charla con una estancia de algunos días para favorecer la discusión), y otros 75 investigadores han impartido Seminarios y Charlas.

Finalmente, cabe destacar que durante 2008 se ha alcanzado un nuevo máximo en el número de artículos científicos publicados en revistas internacionales contempladas en SCI. La gran mayoría de estos artículos han sido publicados en las revistas más prestigiosas de la especialidad.

ESTRUCTURA DEL UNIVERSO Y COSMOLOGÍA

ANISOTROPÍA DEL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS (310586)

R. Rebolo López.

J.A. Rubiño Martín, R. Génova Santos, I. Flores Cacho, S. Hildebrandt Rafels, C.H. López Caraballo, S. Iglesias Groth y C.M. Gutiérrez de la Cruz.

Colaborador del IAC: R. Hoyland.

M. Hobson, A. Lasenby (Univ. de Cambridge, Reino Unido); L. Piccirillo, B. Watson, R. Davies, R. Davis (Univ. de Manchester, Reino Unido); E. Martínez, P. Vielva, D. Herranz (Inst. Física de Cantabria); J. Dellabrouille, G. Patachon (Univ. de Paris, Francia); C. Burigana (Bologna, Italia); M. de Petris, L. Lamagna, (Univ. de Roma, Italia); R. Sunyaev, J. Chluba (Max-Planck Inst. für Astrophysics, Garching, Alemania); Planck Consortium.

Introducción

El Proyecto persigue determinar las variaciones espaciales en la temperatura del Fondo Cósmico de Microondas en un amplio rango de escalas angulares que van desde pocos minutos de arco hasta varios grados. Las fluctuaciones primordiales en la densidad de materia, que dieron origen a las estructuras en la distribución de materia del Universo actual, debieron dejar una huella impresa en el Fondo de Microondas en forma de irregularidades en la distribución angular de su temperatura. Experimentos como el COBE (galardonados dos de sus investigadores principales con el Premio Nobel de Física 2006) o el de Tenerife han mostrado que el nivel de anisotropía a escalas angulares de varios grados está en torno a 1×10^{-5} . La obtención de mapas del Fondo de Microondas a varias frecuencias y con sensibilidad suficiente para detectar estructuras a estos niveles es fundamental para obtener información sobre el espectro de potencias de las fluctuaciones primordiales en densidad, la existencia de un periodo inflacionario en el Universo muy temprano y la naturaleza de la materia y energía oscura. Recientemente el satélite WMAP ha conseguido mapas del Fondo Cósmico de Microondas que han permitido establecer cotas sobre múltiples parámetros cosmológicos. El Proyecto concentra sus esfuerzos en realizar medidas a más alta resolución espacial y sensibilidad que las obtenidas por este satélite utilizando para

ello el experimento interferométrico Very Small Array, y en tratar de entender los agentes de emisión galáctica que contaminan las medidas cosmológicas a grandes escalas con los datos que proporciona el experimento COSMOSOMAS.

A mediados de 2009 tendrá lugar el lanzamiento del satélite Planck de la Agencia Espacial Europea en cuya carga útil se ha participado aportando entre otras cosas, el sistema de control digital de uno de los dos instrumentos del satélite y la programación del software de abordo para control del instrumento. El equipo participará plenamente en la explotación científica de datos que van a mejorar en sensibilidad y resolución los mejores datos disponibles sobre el Fondo Cósmico de Microondas. Las nuevas medidas permitirán refinar las cotas sobre múltiples parámetros cosmológicos y quizá descubrir nuevos fenómenos en las etapas más tempranas del Universo. El satélite permitirá también realizar medidas de polarización aunque no fue el objetivo con el que fue diseñado. El Proyecto comienza una nueva fase con la que se pretende explorar el potencial de estas medidas para extraer información sobre Inflación y la amplitud de los modos tensoriales asociados con ondas gravitacionales primordiales. Se pretende desarrollar un experimento en el Observatorio del Teide (QUIJOTE CMB) que complemente al satélite Planck en un rango de frecuencias más bajo (entre 10 y 30 GHz) proporcionando medidas de carácter único para conocer la polarización de los procesos de emisión galácticos (principalmente emisión sincrotrón y anómala) y mejorar la corrección que precisa el satélite Planck para dilucidar la señal de origen cosmológico.

Para más información acerca del proyecto, puede visitarse supágina Web: <http://www.iac.es/project/cmb>.

Evolución del Proyecto

Han continuado las observaciones de varios campos con el VSA en su configuración superextendida con el fin de establecer el espectro de potencias angular del Fondo Cósmico de Microondas en multipolos más altos de 1.000. Estas medidas mejorarán las actuales restricciones sobre el índice del espectro de potencias de las fluctuaciones primordiales en densidad y por tanto los límites impuestos a varios modelos inflacionarios. El telescopio finalizó sus observaciones en septiembre de 2008. Se ha comenzado la transformación del subtractor de fuentes de VSA para convertirle en un medidor de la polarización de fuentes extragalácticas.

Con la configuración superextendida del VSA se ha confirmado la existencia de un fuerte decremento en la temperatura del Fondo Cósmico de Microondas, "mancha fría", en el centro del supercúmulo de galaxias de Corona Borealis. Su intensidad es muy poco probable en el contexto de un campo gaussiano. O bien se trata de un efecto del tipo Sunyaev-Zeldovich o es una desviación muy notable de la predicción de campos gaussianos primordiales.

Se continúa el estudio de la población de galaxias en el supercúmulo de galaxias de Corona Borealis utilizando datos de Sloan y de una exploración espectroscópica que se lleva a cabo con el telescopio WHT. Se ha encontrado una densidad elevada de galaxias en la zona intercumular del supercúmulo en dirección a la "mancha fría" detectada por VSA. Estas galaxias predominantemente se encuentran con un desplazamiento al rojo consistente con pertenencia a Corona Borealis ($z=0.07$) o a una superestructura más lejana ($z=0.11$). No se encuentra evidencia para una conexión filamentaria entre ambas estructuras por lo que la hipótesis de un efecto Sunyaev-Zeldovich como causante de la "mancha fría" todavía no ha podido ser confirmada.

Se ha trabajado en la preparación para la explotación científica del satélite Planck cuyo lanzamiento está previsto para primavera del 2009. Concretamente se está involucrado en tres grupos de trabajo:

- Caracterización y estudio de la gaussianidad de los mapas de Fondo Cósmico de Microondas. En este año, se ha trabajado en el estudio de los campos magnéticos primordiales como agentes causantes de fluctuaciones de carácter no gaussiano.

- Anisotropías secundarias. Se ha trabajado en el desarrollo de técnicas estadísticas basadas en correlaciones, para intentar aislar en los mapas de PLANCK la señal producida por gas caliente en el Universo a través del efecto Sunyaev-Zeldovich.

- Ciencia galáctica. Se ha trabajado en el modelado de la señal galáctica que se espera detectar en los mapas de PLANCK, basándose en las observaciones de experimentos COSMOSOMAS.

Durante 2008, y en colaboración con el Prof. R. Sunyaev y con el Dr. J. Chluba, J.A. Rubiño Martín

ha continuado su estudio teórico de cuáles son los rasgos espectrales procedentes de la época de la recombinación del helio en el Universo ($z = 2500$) que esperamos ver impresos en el CMB en forma de distorsiones del espectro de cuerpo negro (Rubiño Martín, Chluba y Sunyaev 2008). Estos resultados complementan a los obtenidos en años anteriores (Rubiño Martín et al. 2006; Chluba et al. 2007), y constituyen el cálculo más completo y detallado existente en la actualidad de las líneas espectrales generadas en recombinación. La medida de estos rasgos constituiría un test fundamental para el modelo cosmológico, así como proporcionaría una determinación independiente de varios parámetros cosmológicos, como la densidad total de materia bariónica.

En colaboración con J. Betancort Rijo y S. Patiri, J.A. Rubiño Martín ha desarrollado una prescripción analítica para calcular la función condicional de masas para halos de materia oscura. Esta prescripción ha sido comparada con resultados de simulaciones numéricas, dando resultados excelentes (Rubiño Martín, Betancort Rijo y Patiri, 2008).

R. Génova Santos ha participado en los desarrollos del Arcminute Microkelvin Imager (AMI) en colaboración con el grupo de CMB del Laboratorio Cavendish de la Univ. de Cambridge y en colaboración con F. Atrio Barandela y J. Mücke ha estudiado el efecto Sunyaev-Zeldovich cinético en estructuras cósmicas.

ASTROFÍSICA RELATIVISTA Y TEÓRICA (310688)

E. Mediavilla.

J. González de Buitrago, M. Serra Ricard, A. Ocoz Abad y E. Guerras Valena.

E. Falco (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); E. Simonneau (IAP, Francia); L. Popovic, (Obs. Astronómico Belgrado, Yugoslavia); R. Gil-Merino (Univ. Cantabria); C.S. Kochanek (Univ. de Ohio, EEUU); V. Motta (Univ. de Valparaiso, Chile); P. Gómez (ESAC); T. Mediavilla, O. Ariza (UCA); C. González-Morcillo (UCLM); J. Jiménez (UGR).

MEMORIA
IAC 2008

23

Introducción

Lentes Gravitatorias

El estudio de las lentes gravitatorias proporciona poderosas herramientas para medir diversos parámetros cosmológicos, tales como la constante de Hubble, la densidad de materia del Universo o la constante cosmológica. La constante de Hubble se puede obtener a partir del retraso entre las curvas de luz de dos imágenes de un sistema múltiple de QSOs y de una estimación de la masa del objeto que actúa como lente. Desde 1995, el grupo de Lentes Gravitatorias está llevando a cabo un seguimiento fotométrico de varios sistemas lente para obtener estimaciones fiables de la constante de Hubble. Por otro lado, para determinar λ_0 y Ω_0 se estudia, en colaboración con el grupo de lentes gravitatorias del CfA, la incidencia estadística de sistemas múltiples de QSOs en una muestra de radiofuentes adecuadamente seleccionada.

Otra de las aplicaciones de las lentes gravitatorias es el estudio de la materia oscura en galaxias a partir de la detección de eventos de *microlensing*. Varios de los programas que se desarrollan en este Proyecto están relacionados con la materia oscura directamente o a partir del estudio de los modelos de lente gravitatoria: detección de eventos de *microlensing* en las curvas de luz de los sistemas bajo seguimiento fotométrico, estudio teórico y observacional de la influencia del *microlensing* en las líneas de emisión de los QSOs en el óptico y en rayos X y observaciones espectroscópicas en 2D de los sistemas lente conocidos. La detección de eventos de *microlensing* y su análisis teórico constituyen, también, una herramienta poderosa para el estudio de las regiones no resueltas en los núcleos activos de galaxias y cuásares.

Cúmulos de galaxias, evolución de estructuras a gran escala y Cosmología

El estudio de la abundancia relativa de los cúmulos de galaxias es muy importante para conocer el contenido de materia del Universo y determinar correctamente los parámetros relacionados con su geometría y evolución. Particularmente interesante es el estudio de sistemas de galaxias de baja masa que no pueden ser identificados a partir de la emisión en rayos X típicas de los grandes cúmulos. Se propone el uso de algoritmos innovadores, como el de Voronoi, para identificar con fiabilidad sistemas de galaxias a partir de imágenes antes de recurrir a su confirmación espectroscópica.

Otro objetivo de este programa es tratar analíticamente la evolución gravitatoria de un campo

de fluctuaciones de densidad, de forma que sea posible, entre otras cosas, obtener la estadística del campo actual dado el inicial. A este fin hay que desarrollar, por un lado, aproximaciones Lagrangianas, válidas hasta la formación de cústicas, y, por otro, aproximaciones que permitan tratar la formación de cústicas.

El estudio del crecimiento de estructuras primordiales en el Universo que pueden dar lugar a las estructuras que hoy observamos, tales como supercúmulos, filamentos y vacíos, es uno de los temas de mayor interés en la Cosmología actual. El trabajo se centra en aspectos teóricos y fenomenológicos de la evolución no lineal de las fluctuaciones de densidad, intentando aplicar en lo posible métodos analíticos que puedan favorecer la comprensión de los procesos que tienen lugar en la formación de estas estructuras.

Altas energías

Varios miembros del Proyecto han tenido la oportunidad de participar en el seguimiento fotométrico de objetos muy energéticos, como supernovas o GRBs. El interés del seguimiento de las supernovas radica en su papel de candelas calibrables. Por otro lado, tras la confirmación de su naturaleza extragaláctica, los GRBs presentan gran interés para la astrofísica relativista.

Algunos resultados relevantes

Se ha detectado cromaticidad en dos eventos de microlensing en el sistema lente Q 2237+0305. Esta detección fue posible gracias a una técnica observacional basada en fotometría multibanda utilizando filtros estrechos en el telescopio NOT. Gracias a las excelentes características de la imagen y a la posibilidad de separar diferentes regiones espectrales con la fonometría de banda estrecha, se han podido detectar variaciones en la magnificación con la longitud de onda (algo fuera de las expectativas observacionales con las técnicas de banda ancha habituales). El análisis de estos eventos y otros aún no publicados será utilizado para imponer restricciones sobre el tamaño y la estructura del disco de acreción de los cuasares y sobre la masa del agujero negro supermasivo que se supone que existe en la zona más interna de estos objetos.

Evolución del Proyecto

Lentes Gravitatorias

Las líneas de investigación del grupo de lentes son: Extinción en galaxias lente y *microlensing*

cromático, espectroscopia 2D, seguimiento fotométrico, *microlensing* en las líneas de emisión anchas, y métodos numéricos y estadísticos para el estudio del efecto lente.

El objetivo al que se ha dedicado mayor esfuerzo este año ha sido al estudio de la distribución de MACHOS en galaxias lente a partir de la estadística de microlentes (se ha enviado un artículo a *Astrophysical Journal*). En particular se ha extendido el cálculo de los mapas de magnificación a todos los sistemas lente de la muestra (un esfuerzo muy costoso en tiempo de cálculo), se han mejorado los procedimientos de optimización (Chi cuadrado y máxima verosimilitud) teniendo en cuenta las asimetrías frente al cambio de signo de las funciones de distribución y se están determinando los mejores modelos para los sistemas de la muestra utilizando los datos de la literatura y los cocientes de la emisión en las líneas estrechas. En la parte observacional se han hecho grandes avances con observaciones en los telescopios VLT, MMT y Magellan. En la actualidad se están analizando los datos ya reducidos de 6 objetos para estimar las magnificaciones debidas a *microlensing*. Se está preparando una publicación con los resultados.

También se ha avanzado substancialmente en el estudio del método del "Inverse Polygon Mapping" para el cálculo de mapas de magnificación. Se ha obtenido una solución exacta para el problema del cálculo de magnificaciones basada en el uso de una partición sin puntos críticos en el interior de las celdas poligonales. El orden cero de esta solución reproduce el método desarrollado por el equipo y el término de primer orden sirve para estimar el error cometido al truncar la serie. También se propone un procedimiento de primer orden para definir una partición no crítica. Se está escribiendo un artículo con estos resultados teóricos. El objetivo, ahora, es introducir todas estas innovaciones en el código elaborado por el grupo para calcular mapas de magnificación.

El estudio de cromaticidad debida a *microlensing* en 2237 es otro de los trabajos llevados a cabo este año. Se basa en observaciones de banda estrecha en varias épocas llevadas a cabo con el telescopio NOT que permiten observar la cromaticidad y separar las regiones espectrales con líneas de emisión. Los resultados han permitido observar inequívocamente *microlensing* cromático en 2237 (la factibilidad experimental de esta detección había sido puesta en duda por otros autores). Una publicación con estos resultados fue aceptada este año en *Astrophysical Journal* pero, debido a retrasos editoriales, aparecerá en febrero de 2009.

La colaboración con la Universidad de Cádiz para el estudio de la función de masas estelar extragaláctica a partir del "caustic clustering" ha recibido un notable impulso este año. Se ha preparado un procedimiento para trazar las curvas críticas y las cáusticas directamente a partir del comportamiento del Jacobiano de la transformación y se ha estudiado la distribución espacial de las cáusticas en función de la pendiente de la función de masas. En la actualidad se está explorando el uso de diferentes variables estadísticas (número de cáusticas en una ventana, separación entre cáusticas, etc.) para extraer información sobre la función de masas a partir de la curva de luz del sistema lente.

Finalmente, este año se han publicado las actas de los Encuentros Relativistas Españoles 2007 organizados por el grupo en el IAC.

Cúmulos de galaxias, evolución de estructuras a gran escala y cosmología

El pasado 2008 estuvo dedicado a la formulación de las teorías gauge en lenguaje spinorial de Weyl clásico. Se obtuvieron ecuaciones spinoriales clásicas que describen el comportamiento de partículas de Fermi no sólo bajo campos electromagnéticos (simetría local $U(1)$ sino también en el caso de campos de Yang-Mills y de Color (Simetrías $SU(2)$ y $SU(3)$ respectivamente). Mediante una derivada covariante, definida a lo largo de la trayectoria clásica de la partícula, se obtuvieron los campos de Yang-Mills y de Color en un nuevo enfoque spinorial de Weyl a las teorías gauge. En el caso $SU(3)$ las ecuaciones obtenidas podrían aplicarse al plasma gluónico existente durante los primeros instantes del Universo.

GOYA: EVOLUCIÓN COSMOLÓGICA DE GALAXIAS (310500)

M. Balcells.

D. Abreu Rodríguez, A. Hempel, M. Prieto Muñoz, C. López San Juan, I. Trujillo Cabrera y M.T. Tapia Peralta.

D. Cristóbal Hornillos (IAA); R. Guzmán, A. González (Univ. Florida, EEUU); J. Gallego; N. Cardiel; M.C. Eliche; A. Gil de Paz; G. Barro (UCM); R. Pelló (LAOMP, Francia); R.F. Peletier, M. den Brok, G. Verdoes Kleijn (Univ. de Groningen, Países Bajos); D. Carter (Univ. John Moores, Liverpool, Reino Unido); E. Salvador Solé (UB); R. Domínguez Tenreiro, A.C. González García (UAM); A. Aragón-Salamanca (Univ. de Nottingham, Reino Unido).

Introducción

Este Proyecto está centrado en estudios de galaxias a alto z , con estudios complementarios de galaxias en el Universo Local.

Los estudios a alto z se enmarcan en el Proyecto GOYA, una colaboración dirigida por astrónomos del IAC, de la Universidad Complutense de Madrid, del Obs. de Midi-Pyrenées (Toulouse, Francia), y de la Univ. de Florida (EEUU), y que incluye a más de 30 colaboradores en once centros españoles, franceses, holandeses e ingleses. El objetivo central del Proyecto es utilizar EMIR en el telescopio GTC para realizar un censo de las galaxias a desplazamientos al rojo entre $z=1.5$ y $z=3$ y estudiar sus propiedades con el mismo conjunto de parámetros y diagnósticos que se emplean en el estudio de galaxias en el Universo Local, es decir, aquellos obtenidos en el rango visible del espectro. Más allá de $z=1.5$, el rango visible del espectro de las galaxias se observa en longitudes de onda superiores a 1.6 micras, lo que impide su detección con cámaras y espectrógrafos no criogénicos. Para permitir la observación eficiente de grandes muestras de galaxias en estas longitudes de onda, el equipo de GOYA propuso e impulsa actualmente la construcción de EMIR, una cámara-espectrógrafo multiobjeto criogénica, actualmente en construcción para el telescopio GTC por un Consorcio liderado por el IAC (ver Proyecto EMIR). Además de las tareas de especificación y seguimiento del desarrollo de EMIR, el Proyecto GOYA se concentra en la preparación para la explotación científica de EMIR. Para ello, está completando y analizando un amplio cartografiado del cielo en bandas que van del ultravioleta hasta el infrarrojo cercano (2.2 micras), a profundidades suficientes para la selección y caracterización de las muestras de galaxias a observar en su momento con EMIR en el telescopio GTC.

El Proyecto prosigue diversas líneas de estudio de galaxias en el Universo cercano, principalmente en bulbos centrales de galaxias de disco de tipos tempranos. Durante 2008, se dedicó tiempo de forma especial al cúmulo de Coma.

Algunos resultados relevantes

Durante 2008 el equipo se ha concentrado en la explotación del muestreo fotométrico GOYA obtenido en años anteriores. Se han desarrollado varias líneas descritas en los siguientes párrafos.

Domínguez y Balcells han completado el estudio de bulbos de galaxias espirales en los campos de Groth y de GOODS-N. El objetivo es obtener

información sobre la edad relativa de los bulbos y sus discos, en épocas cosmológicas próximas a la supuesta edad de formación de bulbos y discos. Para cada campo se generaron muestras de galaxias de disco limitadas en diámetro, y se midieron colores de bulbos, de los discos, y colores integrados de las galaxias. Los datos para la muestra de galaxias en Groth se publicaron (Domínguez Palmero et al. 2008) y se pusieron los datos a disposición pública en el CDS. El análisis, publicado en Domínguez Palmero & Balcells muestra que 60% de los bulbos en $0.3 < 0.8$ tienen colores similares a los de poblaciones viejas, mientras que el 40% restante forma estrellas a algún nivel. Se muestra asimismo que los colores de los bulbos correlacionan con los de sus discos: bulbos rojos viven en discos rojos, y los gradientes de color de las galaxias, típicamente negativos, no dependen de si existe o no un bulbo en el centro de las galaxias. Estos resultados sugieren procesos seculares de crecimiento de bulbos.

López ha proseguido su estudio de la evolución con z de la fracción de fusiones de galaxias de disco. Utilizando técnicas de máxima verosimilitud (López-Sanjuan et al. 2008, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 120, 571) y muestras homogéneas en profundidad y resolución, se han mejorado determinaciones anteriores utilizando diagnósticos de asimetrías. Un artículo con resultados en el campo de Groth ha sido aceptado en *Astrophysical Journal* (López-Sanjuan et al.) y otro artículo con un estudio similar en GOODS-S está listo para enviar. En ambos trabajos se encuentran fracciones de fusiones de disco inferiores a las existentes en la literatura, destacando la importancia de la metodología utilizada. Como complemento a este trabajo se ha estudiado la evolución de la fracción de galaxias de tipo temprano (E/S0/Sa) y tardío (Sb-Irr) en función de z . Se ha encontrado que la fracción de tipos tempranos aumenta con el tiempo cósmico y que se necesita un mecanismo para transformar las galaxias Sb-Irr que están formando estrellas en galaxias de tipo temprano donde se concentra la masa estelar. En este aspecto se ha obtenido que las fusiones de disco dan cuenta de un ~15% de la evolución observada desde $z=1$, siendo necesarios otros mecanismos como fusiones menores o evolución secular para explicar las observaciones. Este comportamiento cambia en épocas anteriores: un ~100% de la evolución sufrida entre $z=1$ y 1.5 puede ser explicada por fusiones mayores de disco.

Trujillo, en colaboración con Pérez-González y Barro, ha usado datos Spitzer/MIPS del Proyecto de legado FIDEL en la tira extendida de Groth para estudiar el ensamblaje estelar de las galaxias

masivas ($M > 10^{11} M_{\odot}$) a $z < 2$ en función de los parámetros estructurales. Han encontrado emisión en 24 micras en más del 85% de las galaxias masivas morfológicamente clasificadas como discos, y en más del 57% de los sistemas masivos clasificados como esferoides a cualquier desplazamiento al rojo. Alrededor de un 8% de las galaxias contiene un AGN brillante en rayos X y/o en el infrarrojo. Es destacable que el 60% de las galaxias masivas compactas a $z = 1-2$ se detectan en 24 micras, incluso cuando en el marco de referencia sus colores ópticos revelan que estas galaxias no forman estrellas y evolucionan de manera pasiva. También se ha encontrado que las galaxias discos masivos presentan ritmos de formaciones estelares específicas que oscilan entre 0.04 y 0.2 $G_{\odot} \text{a}^{-1}$, es decir, ritmos de formación estelar de 1 a 10 $M_{\odot} \text{a}^{-1}$, para $z > 1$, tanto discos como galaxias elípticas tienen tasas de formación estelar muy elevadas (10-200 $M_{\odot} \text{a}^{-1}$). Estiman que las galaxias masivas de tipo esferoidal han doblado como mucho su masa estelar por ritmos de formación estelar desde $z < 2$. En el caso de las galaxias discos, la masa estelar puede haberse triplicado, como mucho, por procesos de formación estelar únicamente.

Trujillo, con Pérez González y Barro, ha medido los tamaños de 82 galaxias masivas en el intervalo 1.7.

Prieto ha seguido su colaboración con Eliche Moral en la aplicación de modelos de formación de galaxias para interpretar cuentas numéricas de galaxias. En Cristóbal et al. (2003) y en Eliche Moral et al. (2006), se pudo ver que las cuentas numéricas de galaxias eran compatibles con un modelo de evolución galáctica donde el ensamblaje de la mayoría de las galaxias elípticas tenía lugar en desplazamientos al rojo alrededor de 1.5 y con un mecanismo de formación dominante tipo fusión de discos. Estos resultados han sido confirmados posteriormente por varios estudios que proclaman la formación de la mayoría de las elípticas en desplazamientos al rojo menores de 2, y la importancia de las fusiones en la formación de las elípticas. Los pasos siguientes en esta investigación sobre las galaxias rojas del Survey Fotométrico GOYA tiene dos aspectos. Uno es el estudio in situ de las galaxias rojas detectadas en este muestreo y cuya información fotométrica se encuentra en los catálogos. Con esta información se está estudiando la naturaleza de estas galaxias a través de sus masas, edades, morfologías y evolución de estos parámetros con el desplazamiento al rojo.

Por otro se está actualizando los modelos de cuentas de galaxias. Para ello, se están usando todas las observaciones recientes para reducir al mínimo los parámetros libres y seguir directamente

la pista a la evolución de las galaxias rojas hacia atrás en el tiempo. Con estos dos frentes se pretende dar un paso adelante en la comprensión de la formación y evolución de las galaxias elípticas actuales. Resultados preliminares de este estudio fueron presentados en la VIII Reunión Científica de la Sociedad Española de Astronomía, en Santander. La implicación de estos resultados sobre la evolución galáctica es que son compatibles con una entrada de galaxias en la secuencia roja a partir de unas galaxias que se pueden considerar de transición, probablemente resultado de procesos de fusión de galaxias discos, en el intervalo de z de este estudio. Este tránsito a la secuencia roja se produciría con aumento de masa de las galaxias individuales. La frecuencia de formación de galaxias tempranas a través de este mecanismo es máxima en el intervalo $1 < z < 2$ y disminuye considerablemente para $z < 0.8$.

Hempel ha usado el catálogo GOYA del campo de Groth para compilar un catálogo de fuentes extremadamente rojas (EROs), definidas por el color $I-K > 4$. Se conoce que los EROs son una población heterogénea de galaxias a desplazamientos al rojo típicamente superiores a $z = 1$. El estudio aborda en primer lugar la clasificación morfológica para la determinación de las proporciones numéricas entre los distintos tipos. Los resultados indican que los EROs tienen predominantemente morfología ultracompacta, correspondiente a una galaxia elíptica, o morfología bulbo-disco normal. La fracción de irregulares o galaxias en fusión es comparativamente menor. En segundo lugar, se han obtenido la masa en estrellas de toda la muestra, con el fin de estudiar posibles diferencias en la masa de los distintos tipos. Se obtuvieron masas estelares usando el código desarrollado por Cristóbal durante su tesis en este grupo, adaptado para usar los nuevos modelos de síntesis de Charlot y Bruzual (2007). Los resultados indican que las masas típicas son del orden de 10¹¹ masas solares, siendo ligeramente superiores en las galaxias de morfología compacta. No se aprecia una variación significativa de las masas de la muestra con el desplazamiento al rojo. Esperamos publicar estos resultados en los primeros meses de 2009.

Abreu y García Dabó han continuado el desarrollo de un código de cálculo de funciones de luminosidad usando técnicas de máxima verosimilitud. El uso de estas técnicas es fundamental para poder paliar los efectos de los errores en la distancia de las fuentes que se derivan de desplazamientos al rojo fotométrico. El código tiene en cuenta las distribuciones de errores debidos a fotometría, distancias y colores, y permite obtener funciones de luminosidad en una banda a partir de muestras seleccionadas en otra banda.

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE PROCESOS ASTROFÍSICOS (3I1303)

F. Moreno-Insertis.

M.T. Tapia Peralta, J.A. Lagerfjård, E. Khomenko, J. Trujillo Bueno, M. Balcells Comas, A. Asensio Ramos, D. Fabbian e I. Martínez Valpuesta.

K Galsgaard, A. Nordlund (Niels Bohr Institute/Univ de Copenhagen, Dinamarca); I. Ugarte-Urra (NRL, Washington, EEUU); A. Hood (Univ St Andrews, Escocia, Reino Unido); J. Martínez Sykora (Institute of Theoretical Astrophysics, Univ. de Oslo, Noruega); J. Meléndez (CAUP, Porto, Portugal).

Introducción

La simulación numérica mediante códigos complejos de ordenador es una herramienta fundamental en la investigación física y en la técnica desde hace décadas. El crecimiento vertiginoso de las capacidades informáticas junto con el avance notable de la matemática numérica ha hecho accesible a los centros de investigación de tamaño medio esta rama de la investigación, a caballo entre la Física teórica y experimental. La Astrofísica no es excepción a lo anterior, habiéndose desarrollado desde finales de los años 70 una especialidad de la misma, la *Astrofísica Computacional*, que ha permitido llegar a comprender gran variedad de fenómenos inaccesibles a la investigación teórica pura y dar cuenta de observaciones hasta entonces inexplicadas. Su mayor campo de aplicación en las décadas pasadas han sido los fenómenos (magneto) hidrodinámicos y de dinámica de gases en multiplicidad de entornos cósmicos, por ejemplo los interiores y atmósferas estelares y planetarios y el Medio Interestelar, incluyendo magnetoconvección y dínamo, discos de acreción, evolución de nebulosas planetarias, explosiones y restos de supernova, etc. De enorme interés reciente es la extensión masiva de las técnicas de simulación numérica a la Cosmología, primero con modelos de N cuerpos y más recientemente con modelos hidrodinámicos. La incorporación a las simulaciones numéricas de las ecuaciones del transporte radiativo, ocurrida ya en décadas pasadas, ha permitido dotar de mayor realismo a los estudios de procesos hidrodinámicos en fotosferas y cromosferas estelares.

El presente Proyecto quiere apoyar el desarrollo en el IAC de la investigación astrofísica basada en el uso de grandes códigos numéricos que requieren el uso de ordenadores masivamente paralelos. Objetivo general de este Proyecto es la realización de cálculos de física de fluidos cósmicos, de transporte

radiativo y de N cuerpos con códigos de ordenador masivamente paralelos. La temática de dichos cálculos se centrará en: fenómenos de dinámica de gases magnetizados en interiores y atmósferas estelares; transporte de radiación y señales de polarización en líneas espectrales en base a modelos atómicos y moleculares realistas y los efectos Hanle y Zeeman y evolución estructural y formación estelar en galaxias.

Este Proyecto es especialmente relevante a la vista de la instalación en 2007 en el IAC de uno de los nodos de la Red Española de Supercomputación, dotado con un superordenador de más de 500 CPUs. El desarrollo extraordinario en los últimos años de las capacidades de cálculo en España y, en particular, en Canarias, permite abordar en el presente Proyecto experimentos numéricos de gran calado, impensables hasta hace tan sólo pocos años.

Algunos resultados relevantes

Se ha descubierto un mecanismo físico de formación de tubos de flujo magnético con líneas retorcidas que resulta de la interacción entre la convección granular y el campo magnético fotosférico. La formación de pasillos intergranulares en una celda granular en desintegración da lugar a tubos de flujo si el campo magnético fotosférico es predominantemente horizontal y tiene un grado mínimo de orden. Estas condiciones se cumplen, de hecho, en los interiores de los gránulos a nivel fotosférico tras episodios de emergencia de flujo. El mecanismo ha sido detectado y documentado en experimentos de emergencia de flujo magnético a través de celdas convectivas granulares realizados por A. Tortosa Andreu y F. Moreno-Insertis.

Evolución del Proyecto

Dinámica de gases magnetizados

Proyecto SOLAIRE

El presente Proyecto de Simulación Numérica de Procesos Astrofísicos es pieza central en la Red de Investigación Marie Curie SOLAIRE, aprobada y financiada por la Comisión Europea para el periodo 1 de junio de 2007 hasta 31 mayo de 2011, y coordinada por el IAC (Coordinador general de la red: F. Moreno-Insertis). En enero 2009 la red contará con 158 investigadores de 13 instituciones europeas. Gracias a esta red, la investigación del presente proyecto interno y de varios otros proyectos del IAC dispone de un marco colaborativo europeo único, no sólo por pertenecer a ella muchas de las grandes instituciones europeas de investigación solar, sino también por ser los coordinadores de la

misma. La coordinación de esta red supone un considerable esfuerzo de gestión y organización por parte del presente Proyecto. Sin embargo, este esfuerzo está justificado si se mira los beneficios que obtiene la investigación solar europea (y la del IAC, en particular) gracias al contacto estrecho entre instituciones de alto nivel y a la formación de doctores en Física Solar que lleva a cabo la red.

Emisión de chorros de rayos X y comparación con datos del satélite Hinode (F. Moreno-Insertis, I. Ugarte Urra y K. Galsgaard). Este aspecto del Proyecto se comenzó en 2007. El satélite Hinode, lanzado en Otoño 2006, está proporcionando resultados espectaculares sobre la emisión de chorros de rayos X en agujeros coronales, tanto por la calidad de los datos como por el hecho de que se están observando muchos más chorros de lo que se pensaba hasta el momento. En el Proyecto, se está llevando a cabo un acercamiento doble al estudio de este tipo de chorros: por un lado, en colaboración con I. Ugarte, se han analizado observaciones de algunos eventos de emisión de dichos chorros mediante Hinode/XRT y EIS (detectores de rayos X y EUV, respectivamente). Se ha realizado un estudio de la geometría y topología del campo magnético en la corona utilizando datos de SOHO/MDI. Por otro, en colaboración con Klaus Galsgaard se han realizado experimentos numéricos con parámetros propios de la corona en un agujero coronal. Estos experimentos estudian la emergencia de un tubo de flujo magnético desde el interior solar hacia la fotosfera y capas altas de la atmósfera mediante la resolución de las ecuaciones de la MHD en 3D; para su realización se necesitan instalaciones de computación masivamente paralela (en este caso: se ha utilizado 512 CPUs en paralelo). Al emerger en la atmósfera y colisionar con sistemas magnéticos coronales preexistentes, se produce reconexión magnética, depósito de energía por disipación óhmica, fuerte calentamiento (hasta 30 millones de grados en los experimentos actuales) y lanzamiento de un chorro de alta velocidad y temperatura observable en rayos X. Los resultados de los experimentos muestran un acuerdo excelente con los datos de observación estudiados más arriba. En 2008 se ha continuado este estudio, incorporando en el modelo varios aspectos físicos no incluidos hasta ahora, como la conducción térmica, que en el Sol pueden ser los responsables de algunos aspectos importantes asociados a la emisión de chorros.

Interacción convección – flujo magnético: experimentos incluyendo transporte radiativo LTE (A. Tortosa y F. Moreno-Insertis). Se ha terminado una batería de experimentos tridimensionales de emergencia de flujo magnético

desde la capa de convección granular por debajo de la fotosfera hacia la atmósfera, incluyendo desde la superficie hasta la cromosfera media (1.500 km). Estos experimentos habían sido iniciados en el verano/otoño 2007. Se han estudiado a fondo varios parámetros estadísticos de la misma, se ha realizado visualización tridimensional de diferentes cantidades y se han extraído conclusiones sobre la complicada interacción entre los flujos convectivos turbulentos, el plasma magnetizado ascendente y el campo de radiación. De especial interés son los resultados obtenidos en los siguientes aspectos: aparición de granulación anómala asociada a la región emergente; formación secundaria de tubos de flujo magnético en pasillos intergranulares; formación de filamentos y puntos brillantes en capas cromosféricas; origen de los puntos brillantes en el impacto de choques procedentes de la fotosfera; colapso convectivo de elementos de plasma que retornan a la fotosfera; ascenso intermitente de los elementos de plasma que alcanzan alturas cromosféricas.

Interacción entre flujo magnético emergente y convección a nivel granular y supergranular (A. Lagerfjärd, Å. Nordlund y F. Moreno-Insertis). En el marco de la tesis doctoral de A. Lagerfjärd, se han iniciado experimentos numéricos de estudio del ascenso de flujo magnético a través de celdas de convección desde escalas pequeñas a intermedias. Objetivo de este apartado del Proyecto es el diagnóstico de regiones emergentes en base a su interacción con los movimientos de plasma subsuperficiales a nivel granular, mesogranular y supergranular. En una rama de estos experimentos, se inyecta una distribución continua y extensa de campo magnético a través del contorno inferior y se espera hasta que los flujos convectivos conducen a la aparición de este flujo magnético en la superficie en diferentes escalas. De esta forma, se ha obtenido leyes de escala para la intensidad magnética resultante en diferentes alturas y se ha analizado el fenómeno de aparición del flujo en la fotosfera. También se están realizando otra serie de experimentos, conducentes a esclarecer el origen subsuperficial de las regiones magnéticas de tamaño pequeño.

Dinámica de tubos de flujo en la zona de convección profunda (F. Moreno-Insertis y J. Martínez Sykora). Se ha finalizado el estudio de la dinámica de tubos de flujo magnético en la zona de convección profunda en tres dimensiones, usando el código Flash y aprovechando sus capacidades de refinamiento adaptativo de red numérica (AMR, del inglés Adaptive Mesh Refinement) que permiten alcanzar un número de Reynolds muy superior al posible hasta hace poco. Los resultados tridimensionales obtenidos por otros autores hace unos años tenían números de Reynolds (Re)

moderados o bajos; el caso solar, sin embargo, es de $Re \gg 1$. En el presente estudio se han obtenido conclusiones sobre el régimen de número de Reynolds muy superior a la unidad gracias a la elevada resolución espacial que se puede alcanzar usando un código AMR. En particular, se comprueba cómo la pérdida de flujo magnético por tubos ascendentes con forma de Omega (Omega loops) se vuelve insensible a la curvatura del tubo tras rebasarse un número de Reynolds umbral. Estos resultados suponen una extensión a tres dimensiones de los obtenidos por Emonet y Moreno-Insertis en 1996/98 y, más recientemente, por Cheung, Moreno-Insertis y Schüssler en 2007.

Transporte radiativo en modelos tridimensionales de atmósferas estelares

Magnetoconvección y síntesis espectral (D. Fabbian, F. Moreno-Insertis, L. Khomenkho y A. Nordlund). Se ha comenzado un Proyecto dirigido a la síntesis del espectro electromagnético emitido por el plasma a partir de experimentos de convección tridimensional. Los experimentos se realizan con el código stagger, desarrollado por Å. Nordlund. En la primera parte del Proyecto, en marcha desde el otoño 2008, se están seleccionando experimentos concretos de convección de utilidad para este subproyecto, y se planea llevar a cabo el avance temporal de los mismos hasta alcanzar el grado de estacionariedad estadística necesario para ser representativo de la situación en el Sol.

Modelización realista de la polarización lineal del continuo estelar (J. Trujillo Bueno y N. Shchukina). Se ha desarrollado un sofisticado código numérico de transporte radiativo que permite una modelización realista de la polarización lineal de la radiación del continuo estelar, la cual es producida por la interacción entre los fotones, los átomos de hidrógeno y los electrones libres del plasma estelar ("scattering" Rayleigh y Thomson). La polarización emergente es muy sensible a la estructura térmica del modelo de atmósfera estelar considerado. La aplicación de dicho código a varios modelos de la atmósfera solar, y la confrontación de los resultados con los datos empíricos, ha permitido demostrar que un conocido modelo tridimensional (3D) de la fotosfera solar, resultante de costosas simulaciones hidrodinámicas, es bastante realista. Las ligeras discrepancias encontradas entre las simulaciones numéricas de transporte radiativo en dicho modelo 3D y los datos observacionales sugieren que uno de los ingredientes físicos claves para lograr más realismo en las simulaciones magneto-hidrodinámicas de las condiciones físicas de la fotosfera solar, es calcular la divergencia del flujo radiativo teniendo en cuenta que la función fuente

del continuo no es exactamente igual a la función de Planck, como consecuencia de la contribución de tales procesos de "scattering". Otra posibilidad adicional es que los campos magnéticos retorcidos que llenan la práctica totalidad de la fotosfera del Sol en calma puedan tener un impacto significativo sobre la estructura térmica y de densidad del plasma.

Métodos computacionales eficientes para inferencia Bayesiana (A. Asensio Ramos). Se ha desarrollado una herramienta de aplicación general para llevar a cabo inferencia Bayesiana en problemas de gran complejidad. El esquema acopla técnicas de "machine learning" como el análisis en componentes principales y las redes neuronales artificiales junto con técnicas Markov Chain Monte Carlo que permiten un eficiente muestreo de distribuciones multidimensionales. La herramienta se modifica iterativamente hasta que es capaz de aprender, hasta la precisión deseada, el comportamiento de una base de datos grande de ejemplo. Esta base de datos, cuyo cálculo es computacionalmente intensivo, sólo necesita obtenerse una vez. Una vez aprendida, la herramienta que se ha desarrollado es capaz de devolver elementos de la base de datos (e interpolar en ella) en tiempos muy cortos. Esto abre la posibilidad de hacer inferencia Bayesiana y obtener, no sólo el modelo que mejor ajusta las observaciones, sino sus límites de confianza. Además, permite también aplicar todas las técnicas Bayesianas de selección de modelos y diseño de experimentos. En la actualidad esta herramienta está siendo aplicada al problema del ajuste de distribuciones espectrales de energía fotométricas infrarrojas mediante modelos de toros de polvo en núcleos activos de galaxias. Se está iniciando la aplicación de esta herramienta para la inversión rápida y correcta de perfiles de Stokes de líneas cromosféricas de He I en protuberancias solares.

Física de galaxias

Evolución estructural y formación estelar en galaxias: análisis de pseudo-bulbos en galaxias barradas (I. Martínez Valpuesta con E. Athanassoula). En los últimos años los pseudo-bulbos han adquirido gran importancia en el estudio de la evolución de las galaxias espirales. Por un lado los pseudo-bulbos del tipo Boxy/Peanut han sido asociados a la evolución secular por medio de barras o por acreción de satélites, mientras que para los pseudo-bulbos de tipo disco todavía no tenemos una explicación clara. El estudio comparativo de los parámetros estructurales de los pseudo-bulbos en simulaciones numéricas nos aportará un mejor entendimiento de la evolución de galaxias espirales a partir de las características de

su bulbo. En colaboración con E. Athanassoula se ha realizado el estudio de los diferentes parámetros de los pseudo-bulbos formados por medio de la evolución secular de galaxias espirales barradas en simulaciones de N-cuerpos.

Estudio observacional del fósforo en nuestra Galaxia (D. Fabbian, J. Meléndez y M. Asplund). Se está realizando el primer estudio observacional extenso de la evolución química del fósforo en nuestra Galaxia. Se han obtenido datos de alta calidad del telescopio Keck de 10 m. El análisis de estos datos se está realizando en el presente.

FÍSICA DE LA MATERIA OSCURA – COSMOPARTÍCULAS (3I2005)

**J. Betancort Rijo.
M. López Corredoira y E. Mediavilla Gradolph.**

**Colaboradores del IAC: I. Trujillo Cabrera y
J.A. Rubiño Martín.**

F. Prada, A.J. Cuesta, M.A. Sánchez (IAA, Granada); S.G. Patiri (Case Western Univ., EEUU); A.E. Romano (Yukawa Center, Kyoto, Japón).

Introducción

Para resolver este problema se estableció el concepto de materia oscura fría (CDM), que crea los pozos de potencial primigenios donde se formaron las galaxias. Los experimentos más recientes indican que viven la radiación cósmica de microondas (fósil de la Gran Explosión – Big-Bang) se observan pequeñísimas fluctuaciones de temperatura (desviaciones de 10-5 en la radiación de cuerpo negro). Se piensa que estas fluctuaciones son precursoras de las estructuras que observamos actualmente. Sin embargo, si el Universo estuviera constituido únicamente por bariones, las fluctuaciones serían demasiado pequeñas y no habría habido tiempo suficiente para que las galaxias se hubieran formado. Así pues, tiene que haber otro tipo de materia no bariónica que no observamos y que interactúa con los bariones gravitatoriamente.

Vivimos en un Universo plano ($\Omega=1$) compuesto en un 70% por la denominada energía oscura y en otro 30% por materia (tanto oscura como bariónica).

Actualmente, el modelo estándar de formación de estructuras se basa en un Universo Friedmann-Robertson-Walker más materia oscura fría. En los últimos años se han realizado simulaciones numéricas cosmológicas de N-cuerpos que han

permitido estudiar con gran precisión las propiedades de las estructuras de materia oscura. Sin embargo, el poder computacional todavía no es suficiente para resolver directamente la componente bariónica de las galaxias (la evolución del gas), lo cual ha forzado a utilizar ciertos "atajos" para abordar este problema. Los métodos utilizados se denominan modelos semi-analíticos, ya que utilizan prescripciones analíticas para el tratamiento del gas (enfriamiento del gas, retroalimentación por supernovas, enriquecimiento químico, etc.) y para "poblar" los halos de materia oscura. De todas formas, estas técnicas se encuentran en pleno desarrollo y sólo en los últimos meses se han publicado predicciones robustas de estos modelos. Por otro lado, se han desarrollado códigos numéricos que tratan directamente la evolución del gas.

A nivel cosmológico, la materia oscura se manifiesta únicamente a través de su efecto gravitatorio. Sin embargo, la cuestión de su naturaleza íntima constituye la otra cara de la moneda en una teoría completa de la estructura del Universo.

En las últimas décadas se ha propuesto un gran número de candidatos para constituir esta materia no bariónica. En particular las teorías Supersimétricas de la Física de Partículas, predicen la existencia de un nuevo tipo de partículas de entre las cuales hay varias que podrían ser candidatos a constituir la mayor parte de la materia oscura. El neutralino es una de ellas y, aunque todavía no se tiene evidencia experimental directa de su existencia, es uno de los candidatos a materia oscura más estudiados en los últimos años. Sin embargo existen muchos otros tales como axiones, neutrinos pesados de cuarta generación, neutrinos, gravitinos, estados Kaluza-Klein, branones y muchos otros que se proponen continuamente.

Como regla general, todos estos candidatos a materia oscura son tipo WIMP (Weak Interacting Massive Particle) a los que corresponden modelos de CDM para la estructura a gran escala. Además, pueden interactuar entre ellos en entornos de alta densidad, como los centros de las galaxias, y aniquilarse produciendo rayos gamma. Estos fotones de alta energía podrían ser observados por la nueva generación de telescopios Cherenkov, como por ejemplo el telescopio MAGIC en el ORM.

En este Proyecto, se hará uso del mencionado telescopio para detectar la señal gamma procedente de la posible aniquilación de los diferentes WIMPs candidatos a materia oscura.

Para ello el grupo desarrollará técnicas de reducción de datos apropiadas a al problema, así como

modelos detallados de la predicción de tales eventos, que involucran el estudio de la interacción entre bariones y materia oscura en los diferentes modelos propuestos en la literatura. De esta manera se pretende delimitar cuáles de estos modelos darían lugar a materia oscura con propiedades compatibles con la observaciones del telescopio MAGIC y además acotar el espacio de parámetros correspondiente.

Para todo ello es necesario dedicar un gran esfuerzo al estudio tanto teórico como observacional de la distribución de la materia oscura en galaxias. Desde el punto de vista teórico, se estudiará en detalle el perfil de densidad obtenido a través de las simulaciones numéricas de alta resolución tanto de N-cuerpos como hidrodinámicas realizadas por colaboradores, incluyendo todos los efectos del gas, formación estelar, etc. Por otro lado, también se puede obtener información de las observaciones de sistemas lente gravitatoria. El campo gravitatorio de la materia (visible u oscura) curva la trayectoria de los rayos de luz.

Este fenómeno proporciona un método para estudiar la distribución de materia a partir de las desviaciones de los rayos de luz. El estudio de los sistemas de imágenes múltiples de cuásares ha aportado ya las primeras medidas directas de la dependencia radial de la densidad de materia en una galaxia. Estos resultados son aun preliminares y no abarcan todo el rango de distancias necesario. El objetivo del grupo será obtener estimaciones robustas de la ley de densidad a partir de modelos de los sistemas lente conocidos intentando extenderla a las zonas más internas de las galaxias. Este estudio es vital para acotar las posibilidades de detección de la materia oscura.

Por otro lado, se trabajará con las propiedades de la estructura a gran escala del Universo y en diferentes entornos para poder entender precisamente como influye la materia oscura en la formación y evolución de las diferentes estructuras. Los entornos extremos son especialmente útiles para discriminar entre los modelos de formación de galaxias, pues tanto la abundancia de estos entornos como sus propiedades internas dependen fuertemente de los parámetros que caracterizan a esos modelos. Históricamente se han utilizado profusamente los cúmulos de galaxias (sobredensidades extremas) con este propósito, pero las bajo-densidades extremas (grandes vacíos) son igualmente útiles y complementarias. El desarrollo de modelos analíticos y su comparación con las simulaciones y grandes surveys permitirán entender algunos aspectos de los procesos físicos que determinan el agrupamiento de la materia bariónica.

Algunos resultados relevantes

- Se ha conseguido determinar mediante consideraciones teóricas la dependencia de las estadísticas de grandes vacíos en el desplazamiento al rojo y ha sido contrastada ampliamente con simulaciones numéricas. Esta dependencia ha resultado ser muy diferente de la dependencia en el factor de crecimiento lineal de fluctuaciones de densidad, contra lo supuesto hasta ahora.
- Se ha mostrado, usando el catalogo SDSS, la existencia de un "outflow" promedio en torno a los grandes vacíos en la distribución de galaxias y se le ha cuantificado con una incertidumbre del 10%.
- Los alabeos de las galaxias en torno a grandes hueco muestran correlación con la orientación de la galaxia.
- Se ha mostrado que la dependencia azimutal del grosor del disco de la Vía Láctea se obtiene de forma natural al tener en cuenta la caída de nubes de gas intergaláctico sobre aquella.

Evolución del Proyecto

Durante este año se ha continuado el desarrollo de un formalismo analítico para la estructura a gran escala del universo (LSS). Se ha obtenido con mayor precisión la dependencia en los parámetros cosmológicos así como la dependencia en el desplazamiento al rojo. Se han estudiado las estadísticas de grandes huecos en la distribución de galaxias en el catalogo SDSS e iniciado la realización de inferencias estadísticas a partir de ellas. También se ha estudiado la cinemática de las galaxias en la vecindad de dichos grandes huecos, mostrando la existencia de un campo de velocidad promedio dirigido hacia fuera de estos, según predice el modelo estándar. La amplitud de este flujo, que podemos medir con una precisión de un 10% puede usarse para hacer una medición precisa de la densidad de la materia.

Se han estudiado los alabeos en galaxias en la vecindad de grandes huecos y encontramos que éste está correlacionado con la orientación del eje de la galaxia con relación al radio vector que une el centro del hueco con la galaxia. Este hecho es al mismo tiempo una evidencia a favor del modelo en el cual los alabeos se forman por la caída de nubes de gas intergaláctico y una detección indirecta adicional del flujo de materia hacia el exterior del hueco. Por otro lado, mostrando como la variación del grosor de la Vía Láctea depende del ángulo azimutal de forma natural dentro del modelo de formación de alabeos mencionado, se ha aportado nueva evidencia en favor de ese modelo.

OTELO: OSIRIS TUNABLE EMISION LINE OBJECT SURVEY (3I0506)

J. Cepa Nogué.

**M. Fernández Lorenzo, J.M. González Pérez,
M.A. Lara López, E. Mediavilla Gradolph, M.
Povic, J.M. Rodríguez Espinosa, J.A. Acosta
Pulido, A.M. Bongiovanni, A. Ederoclite, C.
Esteban López y A.M. Pérez García.**

Colaborador del IAC: J.L. Cervantes Rodríguez.

E. Alfaro (IAA, Granada); B. Altieri, D. Coia, L. Metcalfe, R.M. Pérez, M. Sánchez-Portal, I. Valtchanov (ESAC); N. Benítez (CSIC); J. Bland-Hawthorn (Univ. de Sydney, Australia); S. Charlot (IAP, Francia); J.-G. Cuby (OAMP, Francia); J. Fynbo (Univ. Københavns, Dinamarca); J. Gallego (UCM, Madrid); I. González-Serrano (IFCA-UNICAN, Cantabria); J. González (UNAM, México); R. Guzmán (Univ. de Florida, EEUU); K. Nilsson (Max Planck, Heildelberg, Alemania); I. Parry (Institute of Astronomy, Reino Unido).

Introducción

OSIRIS proporcionará a la comunidad astronómica española un instrumento de uso común multipropósito para el telescopio GTC que incorpora características únicas, como es el uso de filtros sintonizables en telescopios de la clase 8-10m. El objetivo primordial del Proyecto que aquí se presenta es el estudio de la formación y evolución de las galaxias. Sin embargo también se incluye la implementación en OSIRIS de espectroscopía 3D mediante IFUs, la adquisición de nuevos filtros y redes de mayor resolución, mejoras que ampliarán los modos de observación y las prestaciones, tanto para el estudio de galaxias próximas como lejanas.

El cartografiado "Evolución", del cual forma parte OTELO, es un cartografiado único, que no puede ser llevado a cabo con ningún otro instrumento existente o del futuro próximo en telescopios de la clase 8-10 m, puesto que exige el uso de filtros sintonizables. Evolución se compone de varios cartografiados coordinados y complementarios de las mismas áreas del cielo, que serán desarrollados por el mismo equipo. Constituirá el cartografiado en líneas de emisión más profundo y de mayor cobertura, y permanecerá imbatido durante varios años. Evolución proporcionará no solamente flujos de las líneas de emisión y el continuo óptico, sino también flujos NIR, FIR y Rayos-X, de decenas de miles de galaxias desde desplazamientos al rojo de 0.24 hasta 7.0. Los datos FIR se obtendrán a partir del cartografiado extragaláctico que se llevará a

cabo con el tiempo garantizado de HERSCHEL, mientras que los datos NIR y rayos X se obtendrán de propuestas de observación en distintos telescopios. Se complementa con un cartografiado de cúmulos de galaxias utilizando las mismas técnicas, y en los mismos rangos espectrales, a fin de comparar la evolución de galaxias de cúmulo con las de campo.

Entre los objetivos que se espera cubrir con el cartografiado "Evolución" está el estudio de la evolución de:

- Emisores Lyman- α desde $z = 3$ hasta 7
- La densidad comóvil de formación estelar desde $z = 0.24$ hasta 7
- La metalicidad del gas desde $z = 0.24$ hasta 1.5
- Las galaxias elípticas con líneas de emisión desde $z = 0.24$ hasta 0.85
- Las galaxias compactas azules desde $z = 0.24$ hasta $z = 0.85$
- Las galaxias activas desde $z = 0.24$ hasta $z = 1.5$
- Cuásares a alto z ($z > 5$)
- La relación Tully-Fisher hasta $z = 1.5$
- Los cúmulos de galaxias y las galaxias en cúmulos hasta $z = 1.5$

En resumen, "Evolución" permitirá atacar una gran variedad de problemas astrofísicos de la mayor actualidad en el campo de la evolución de galaxias. Este cartografiado, que se desarrollará principalmente durante los tres primeros años de operación del telescopio GTC, y que estará disponible para la comunidad astronómica española, constituirá una poderosa herramienta para abordar una gran variedad de estudios astrofísicos.

Algunos resultados relevantes

Se ha descubierto una evolución en metalicidad de las galaxias de desplazamiento al rojo bajo ($z=0.4$) a partir de los datos del cartografiado Sloan, utilizando los indicadores R23 y N2. Aunque existe literatura abundante acerca de la evolución química de galaxias a alto desplazamiento al rojo ($z > 2$) mediante el estudio, principalmente, de sistemas en absorción en Lyman alpha (DLAs), es la primera vez que se detecta una evolución semejante a un desplazamiento al rojo tan pequeño. Este hecho inesperado arroja nueva luz sobre el panorama de la evolución química de las galaxias.

Otro hito de este Proyecto ha sido establecer la posibilidad, y las condiciones necesarias, para la determinación de campos de velocidad en galaxias espirales de forma coherente a partir de distintas líneas de emisión, lo que permite ampliar el estudio de la relación de Tully-Fisher hasta un

desplazamiento al rojo de $z=1.5$. Los resultados obtenidos hasta la fecha por nuestro grupo señalan que existen fuertes indicios de una evolución que empieza a ser significativa desde $z=1.0$.

Finalmente, se ha demostrado que la correlación que se encontró entre los flujos en rayos X y el índice de concentración en el óptico, descubrimiento que ya se comunicó el año pasado, no se debe a un efecto de desplazamiento al rojo, que afecta a los índices de concentración, ni de oscurecimiento debido al polvo. A la luz de estos nuevos resultados, esta anticorrelación puede efectivamente interpretarse como una relación entre la masa de un agujero negro supermasivo y el ritmo de acrecimiento.

Evolución del Proyecto

El año 2008 puede calificarse como el año en que el Proyecto, que siempre fue concebido y presentado como un Proyecto a largo plazo amparado en un desarrollo instrumental, ha entrado en fase de producción, que se espera que se intensifique su actividad en 2009 como consecuencia de la entrada en operación del telescopio GTC.

Como ya se avanzó en la Memoria 2007, el grupo científico de OTELO, junto con otros investigadores, y utilizando los filtros sintonizables de OSIRIS, va a abordar un conjunto de cartografiados que van a cubrir no solamente el rango rojo del espectro óptico, como se pretende con OTELO, sino también el rango azul en los mismos campos, para la búsqueda de emisores Lyman α . Además, mediante barridos adicionales de todo el espectro óptico en algunos de los campos de OTELO, se pretende determinar con precisión casi espectroscópica el desplazamiento al rojo de todos los objetos detectados hasta magnitud 26. Finalmente, también se pretende llevar a cabo observaciones de cúmulos de galaxias situados a desplazamientos al rojo similares, que permitirán estudiar la evolución de los cúmulos de galaxias y de las galaxias que éstos contienen, para una comparación cúmulo-campo. Este conjunto de cartografiados, denominado "Evolución" ha sido aprobado como proyecto coordinado al Plan Nacional de I+D+i en la convocatoria 2008 y empezó a funcionar en el mes de enero. Aunque las líneas mencionadas cubren objetivos muy ambiciosos, hay que señalar que el grupo científico que las va a abordar es muy numeroso y que *de facto* abarca tres proyectos coordinados con nodos en el IAC, el IFCA (Cantabria) y ESAC (Madrid), con amplia participación internacional (véase la lista de colaboradores). Cada subproyecto lidera una línea de investigación concreta y colabora en las demás. Somos conscientes que algunos de los objetivos no pueden

ser cubiertos en la actualidad de forma satisfactoria por los investigadores que constituyen el Proyecto, pero se espera empezar estos programas científicos en 2009 y completar el elenco de astrónomos a lo largo de estos primeros años de funcionamiento de este Proyecto coordinado.

Durante 2008 se han publicado los resultados procedentes del análisis de los datos de banda ancha obtenidos a partir del cartografiado auxiliar del Proyecto OTELO, principalmente en el estudio de AGN y de las propiedades de agrupamiento (clustering) de las galaxias.

Se ha proseguido con la participación en el cartografiado piloto de cúmulos de galaxias utilizando el filtro sintonizable del telescopio de 2.2 m del Observatorio Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto.

Se han obtenido resultados muy interesantes, que también se han publicado, relativos al análisis de la metalicidad de galaxias del cartografiado Sloan y del campo de velocidades de galaxias del cartografiado DEEP2. Estas dos líneas de investigación, ya consolidadas dentro del cartografiado "Evolución", constituyen el alma de sendas tesis doctorales. Ambas publicaciones ya han sido aceptadas y se publicarán en 2009.

Finalmente, se ha proseguido con el análisis de la muestra de AGN consistente en el estudio de la correlación entre los flujos ópticos y de rayos X de dichos objetos, obteniendo nuevos resultados.

Todos estos puntos han dado lugar a hitos en el Proyecto que se especifican en el apartado de resultados relevantes.

No se puede concluir este apartado sin destacar que a finales de 2008, el instrumento OSIRIS, en el que están involucrados un parte significativa de los investigadores de este Proyecto, ha sido concluido e instalado satisfactoriamente en el telescopio GTC, y que una parte de los esfuerzos han sido empleados en 2008 y serán empleados en 2009 en la fase de pruebas de laboratorio y en el cielo.

FORMACIÓN ESTELAR EN GALAXIAS A $z=1$ (3I2006)

A. Manchado.

N. Rodríguez Eugenio.

K. Noeske (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); D.C. Koo (UCO-Lick, UCSC, EEUU); F. Prada (IAA, Granada).

Introducción

La determinación de la evolución con el desplazamiento al rojo cosmológico (redshift), z , de la Tasa de Formación Estelar (SFR) global, la masa estelar y la metalicidad de las galaxias, permite determinar la evolución de la formación estelar en el Universo, imponiendo importantes restricciones observacionales sobre la fase bariónica en simulaciones numéricas y modelos semi-analíticos de formación y evolución de galaxias.

Debido a las discrepancias existentes entre las estimaciones de la SFR global de una galaxia obtenidas con distintos indicadores, un estudio fiable de la evolución con el tiempo cósmico de la SFR requiere el uso de un mismo indicador de formación estelar en todo el rango de redshifts estudiado, o la obtención de buenas calibraciones entre distintos indicadores. En los últimos años ha habido una convergencia hacia el uso de la luminosidad en la línea de emisión $H\alpha$, corregida de extinción, como uno de los indicadores de formación estelar más adecuados para este tipo de estudios. Otro indicador robusto de la SFR se obtiene al combinar la luminosidad IR total, que traza la formación estelar oscurecida por el polvo en la galaxia, con la luminosidad en $H\alpha$ o en el continuo UV (no corregidas de extinción), que trazan la formación estelar no oscurecida.

Este Proyecto pretende estudiar las propiedades de galaxias con formación estelar a $z \sim 1$, a partir de una muestra representativa de galaxias extraída del sondeo «DEEP2 Galaxy Redshift Survey», que ha obtenido espectros ópticos y un conjunto de datos en distintas longitudes de onda para unas 40000 galaxias en el rango de redshifts $0.7 < z < 1.5$. Los objetivos concretos del Proyecto incluyen dos líneas de investigación: el estudio de la SFR de las galaxias, su relación con la masa estelar, y las calibraciones entre distintos indicadores de formación estelar a redshifts intermedios; y la determinación de la metalicidad de las galaxias, y su relación con la luminosidad y la masa estelar de las mismas. Además, se persigue determinar la evolución con el redshift de estas relaciones, mediante la comparación con muestras similares de galaxias a redshifts menores y mayores. Para la estimación de la SFR, se usa como indicador de referencia la luminosidad en $H\alpha$ de las galaxias, obtenida a partir de espectros multi-rendija tomados con el espectrógrafo infrarojo LIRIS. La comparación de estos resultados observacionales con las predicciones de modelos de formación y evolución jerárquica de galaxias permitirá acotar los parámetros libres de dichas simulaciones.

Algunos resultados relevantes

Se ha confirmado observacionalmente el resultado de simulaciones cosmológicas de formación y evolución de galaxias: a redshifts intermedios-altos las regiones con formación estelar reciente parecen contener más polvo que en el universo local.

Se ha encontrado una relación entre la masa estelar de una galaxia y su luminosidad IR total, que permite hacer una estimación de la tasa de formación estelar oscurecida por polvo en la galaxia conociendo la masa estelar de la misma, aunque no se disponga de una medida en el IR medio o lejano.

Evolución del Proyecto

Durante el primer semestre de 2008 se trabajó en la determinación de las correcciones de apertura y extinción para cada galaxia de la muestra. Usando imágenes en la banda I de las galaxias, se obtuvieron las correcciones de apertura individuales, y se aplicaron a los flujos de las líneas de emisión detectadas en los espectros de LIRIS. Para la corrección de extinción, se disponía de varios indicadores de la extinción interna de la galaxia: decrementos Balmer y pendiente del continuo ultravioleta (UV). Se determinó cuál era el mejor indicador de extinción en cada caso, y se aplicó la correspondiente corrección a las luminosidades de las líneas en los espectros de LIRIS y DEEP2, y a la luminosidad del continuo UV. Se derivaron nuevas SFRs a partir de las luminosidades en $H\alpha$, $[OII]3727$ y en el continuo UV corregidas de extinción, y se obtuvieron calibraciones empíricas entre estos indicadores de formación estelar.

En el segundo semestre de 2008 la estudiante de doctorado del Proyecto, N. Rodríguez Eugenio, realizó una estancia de tres meses en el Departamento de Astronomía de la Universidad de California, EEUU. El objetivo de esta estancia era trabajar directamente con los datos del sondeo DEEP2, y comenzar con la interpretación de los resultados observacionales, con la colaboración del grupo DEEP2 y especialmente del Dr. David Koo.

Se revisaron los espectros ópticos obtenidos por DEEP2 para las galaxias de la muestra, y se encontró que las medidas de los flujos de las líneas realizadas de forma automática por DEEP2, presentaban problemas en los siguientes casos: líneas con mucha rotación o afectadas por residuos de líneas de cielo. Por tanto, se midieron de nuevo los flujos en las líneas de los espectros de DEEP2, siguiendo el mismo procedimiento que para las líneas en los espectros de LIRIS. Con los nuevos flujos, se volvieron a obtener los decrementos

Balmer, las correcciones de extinción y las SFRs correspondientes. Se encontró que la determinación de una corrección de extinción individual para cada galaxia es crucial para obtener buenas correlaciones entre los diferentes indicadores de formación estelar. Sin embargo, incluso después de corregir de extinción, las SFRs obtenidas a partir de $H\alpha$, [OII] o el continuo UV son 2-3 veces menores que las SFRs derivadas a partir de la luminosidad IR de las galaxias. Este resultado indica que a redshifts intermedios-altos existen mayores cantidades de polvo mezclado con el gas y con las estrellas masivas de reciente formación que en el Universo Local.

Se buscaron relaciones entre el cociente de tasas de formación estelar $SFR(IR)/SFR(H\alpha)$ y otros parámetros ópticos o en el IR cercano, que permitan corregir la $SFR(H\alpha)$ de la parte oscurecida por polvo cuando no se disponga de una medida en el IR medio o lejano. Se encontró una correlación clara con la masa estelar de la galaxia, mientras que no se observa correlación con el redshift o la abundancia de oxígeno de la misma.

EXPERIMENTO QUIJOTE CMB (3I2607)

J.A. Rubiño.

R. Rebolo López, S. Hildebrandt Rafels, R. Hoyland, R. Génova Santos, C.M. Gutiérrez de la Cruz y C.H. López Caraballo.

Colaboradores del IAC: J.M. Herreros Linares y M.F. Gómez Reñasco.

L. Piccirillo, R. Watson, R. Davis (Univ. de Manchester, Reino Unido); M. Hobson, R. Saunders, K. Grainge (Cavendish Astrophys. Group, Reino Unido); E. Martínez-González, P. Vielva, J.M. Diego, D. Herranz (IFCA, Santander); E. Artal (DICOM, Santander).

Introducción

Se pretende desarrollar un experimento denominado QUIJOTE-CMB (Q U I JOint TEnerife CMB experiment), con el objetivo de caracterizar la polarización del Fondo Cósmico de Microondas (FCM) y otros procesos de emisión galáctica y extra-galáctica en el rango 10-30 GHz y a grandes escalas (1 grado de resolución).

Las medidas de QUIJOTE complementarán a baja frecuencia y corregirán de contaminación galáctica las que obtenga el satélite Planck. Serán las más sensibles obtenidas para caracterizar la polarización de la emisión sincrotrón y anómala de nuestra Galaxia.

El experimento constará de dos fases. En la primera fase, financiada en su mayor parte y actualmente en construcción, se instalará un primer telescopio y se construirán dos instrumentos intercambiables en su plano focal. El primer instrumento será multifrecuencia, con un total de 8 canales en cada una de las cuatro frecuencias 11, 13, 16 y 18 GHz, más dos canales de detección a 30GHz.

El segundo instrumento de QUIJOTE, que constará de 20 receptores a 30GHz, ha sido diseñado para alcanzar la sensibilidad necesaria para detectar una componente de ondas gravitacionales primordial si ésta tuviera una razón tensorial a escalar de 0.1. Dicha componente de ondas gravitatorias deja su impronta en el espectro de potencias de la polarización del FCM en forma de los denominados "modos-B". La detección de dichos modos-B con esa amplitud abriría un camino extraordinario para esclarecer la física de la época de inflación.

La segunda fase de QUIJOTE contempla la construcción de un segundo telescopio, y posiblemente un tercer instrumento a 40 GHz.

Para alcanzar esos objetivos científicos, los mapas finales del experimento cubrirán un área de unos 10.000 grados cuadrados, y alcanzarán un nivel de sensibilidad de 3-4 micro-K por haz tras un año de operación en el Observatorio del Teide en las bajas frecuencias (11-18GHz), y 1 micro-K por haz tras dos años de observación con el segundo instrumento en la frecuencia de 30GHz.

Además del IAC, en el Proyecto QUIJOTE también participan el IFCA (Santander), el Departamento de Ingeniería de Comunicaciones (DICOM, Santander) y las universidades de Manchester (y Cambridge (Reino Unido). Una información actualizada del Proyecto puede encontrarse en la página Web <http://www.iac.es/project/cmb/quijote>.

Algunos resultados relevantes

- Primer telescopio QUIJOTE construido (septiembre 2008) y entregado en Tenerife (diciembre 2008-enero 2009).
- Plataforma para soportar el edificio finalizada.
- Diseño detallado del primer instrumento finalizado en mayo 2008.
- Fabricación de todos los componentes de la optomecánica (moduladores, ortomodos, bocinas, criostato). Diciembre 2008.
- Entrega en el IAC de los amplificadores de bajo ruido (LNAs), y todos los sub-sistemas electrónicos. Diciembre 2008.
- Realizadas las medidas de los parámetros «S» de los moduladores polares, con resultados satisfactorios.

Evolución del Proyecto

Durante el año 2008 se ha completado una fracción significativa del trabajo relacionado con el primer telescopio, el recinto que albergará los telescopios en el Observatorio del Teide, y el primer instrumento de QUIJOTE. Se detallan a continuación cada uno de estos puntos.

- *Telescopio.* Durante este año se ha realizado la construcción del primer telescopio QUIJOTE, por parte de la empresa IDOM. El telescopio terminó de construirse a finales de verano, y todas las pruebas realizadas por IDOM mostraron que cumplía con las especificaciones de diseño (estabilidad, calidad de los espejos, etc.). El telescopio llegó a Tenerife el último día del año (31 de diciembre de 2008).



Figura 1: Izquierda: Recepción del primer telescopio QUIJOTE en la sala de AIV del IAC. Derecha: El Telescopio montado sobre el pedestal en la sala.

- *Edificio y cubierta móvil.* La obra civil del edificio y cubierta móvil para albergar los dos telescopios de QUIJOTE se adjudicó durante 2008, y se procedió a su realización. A fecha de escritura de este informe, la plataforma y el recinto están finalizados, y sólo queda pendiente la colocación de parte del cerramiento de la cúpula (Figura 2).



Figura 2: Edificio y cubierta móvil.

- *Primer instrumento.* Durante 2008 se finalizó el diseño detallado del primer instrumento QUIJOTE, y se procedió a su construcción.

Todos los componentes de opto-mecánica del instrumento (criostato, bocinas, moduladores polares y OMTs) han sido fabricados (Figuras 3, 4 y 5).

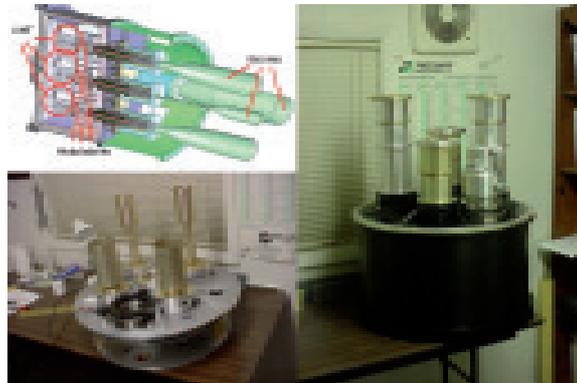


Figura 3: Arriba izquierda: Diseño conceptual del primer instrumento para QUIJOTE. Hay 5 bocinas, dos operando en las frecuencias 11 a 13 GHz, dos operando en las frecuencias de 16 a 18GHz, y una bocina (central) a 30GHz. Abajo izquierda y derecha: Imágenes del criostato en fabricación, tomadas a finales de diciembre de 2008.



Figura 4: Detalles de dos de las bocinas (para las bandas de 11 y 13 GHz) del primer instrumento de QUIJOTE. Imagen tomada en octubre 2008.

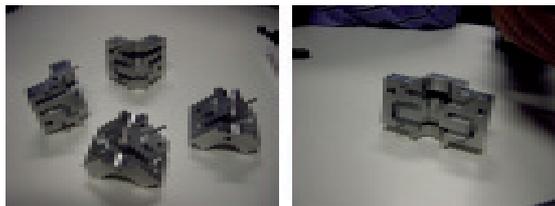


Figura 5: Detalles de uno de los moduladores polares (para las antenas de la banda 10-14GHz). Imagen tomada el 24 de octubre de 2008.

Entre las actividades de ingeniería de microondas, se ha comprobado satisfactoriamente el nuevo diseño de modulador polar mediante simulaciones de elementos finitos realizadas con el software de diseño electromagnético "CST Design Studio" (Figura 6).

También han sido exitosas las medidas de los parámetros "S" realizadas en Universidad de Cantabria sobre los moduladores (Figura 7).

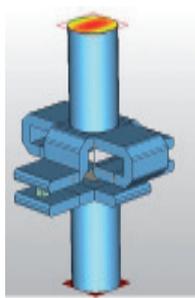
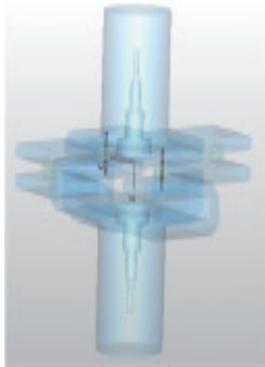


Figura 6: Izquierda: Interior del circuito de microondas del modulador con los micro-elementos dentro del mismo. Derecha: Modelo del circuito de microondas del modulador. En la parte superior se ve el campo electromagnético usado para alimentar el modulador para la simulación.



Figura 7: Medidas de parámetros "S" de microondas del modulador de banda 10-15GHz para el primer instrumento QUIJOTE. En la foto se aprecia el analizador de redes vectorial PNA y dos separadores de polarización ortogonal lineal (OMTs) a cada lado del modulador.

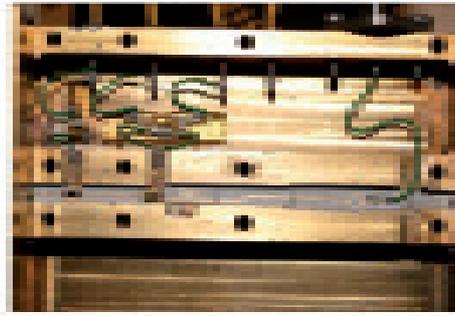


Figura 8: Prototipo del BEM (Back End Module) del receptor de 30GHz del primer instrumento QUIJOTE, fabricado en la Universidad de Cantabria (octubre 2008). Izquierda: Vista externa del BEM. Derecha: Detalle de los circuitos internos de RF.

Los receptores de baja frecuencia (LNAs) para este instrumento se compraron durante 2007, y fueron entregados en el IAC durante 2008.

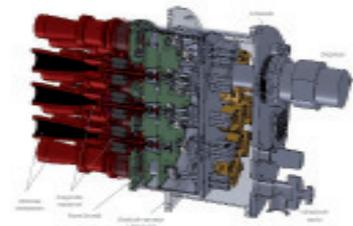
La electrónica y el resto de componentes se han adquirido durante 2008, y se ha iniciado la construcción de los módulos frontales (FEMs) y los módulos traseros (BEMs) del receptor. Se ha realizado un prototipo del BEM de 30GHz en la Universidad de Cantabria (Figura 8), que ha servido para demostrar que el diseño adoptado funciona según las especificaciones.

- Prototipo de QUIJOTE en COSMOSOMAS. Entre finales de 2007 y principios de 2008 se diseñaron y construyeron los componentes (modulador y OMT) para probar el concepto de QUIJOTE en el telescopio COSMOSOMAS. La instalación se llevó a cabo en la primera parte del año, y las pruebas comenzaron en marzo-abril en el Observatorio del Teide. Desafortunadamente, se encontró durante estas pruebas que el amplificador de COSMOSOMAS estaba dañado. Este amplificador tenía 10 años de antigüedad, y durante las pruebas no se comportó con la sensibilidad necesaria como para poder hacer medidas del comportamiento en polarización de la atmósfera a 15 GHz con la precisión requerida.

La fecha prevista de entrega del criostato es marzo de 2009. A continuación se adjuntan algunas figuras de los componentes ya fabricados, y del criostato en su estado actual.

- Segundo instrumento. Durante 2008 se ha finalizado el estudio de viabilidad y el diseño del segundo instrumento QUIJOTE, por parte de IDOM. Este instrumento operará a 30 GHz, y constará de 20 polarímetros (Figura 9).

Figura 9: Propuesta de diseño del segundo instrumento QUIJOTE hecha por IDOM (diciembre 2008).



EL UNIVERSO LOCAL

- *Software de procesado de datos.* Durante 2008 se ha diseñado la pipeline de procesado de datos para el primer instrumento, y se ha comenzado su programación. Dicha pipeline consta de varias etapas: (a) procesado básico de datos; (b) construcción de mapas diarios; (c) construcción de mapas acumulados; y (d) separación de las componentes astrofísicas presentes en los mapas. Durante 2008 se ha instalado en la pipeline el software para completar los apartados (b) y (c), y se han programado algunas de las librerías para el apartado (a).

- *Software de control del telescopio y el instrumento.* Durante 2008 se ha definido un entorno de desarrollo de software. Para ello se han adquirido unos componentes hardware y software con las mismas características funcionales que el sistema de control del telescopio y del instrumento con el objeto de realizar un prototipo software que permitirá desarrollar las especificaciones software detalladas del experimento además servirá para entender y averiguar las limitaciones técnicas de las nuevas tecnologías empleadas en el Proyecto.



Figura 10: Componentes (modulador y bocina) que se construyeron para instalar en el telescopio COSMOSOMAS, como prototipo de funcionalidad de QUIJOTE.

ESTUDIOS CINEMÁTICOS, ESTRUCTURALES Y DE COMPOSICIÓN, DE LOS MEDIOS INTERESTELARES E INTERGALÁCTICOS (310386)

J.E. Beckman.

J. Font Serra, V. Buenrostro Leiter, J.R. Azzollini Felipe y S. Comerón Limbourg.

Colaboradores del IAC: E. Casuso Romate y C. Giammanco.

L. Gutiérrez Albores (UNAM, México); A. Zurita (Univ. de Granada); M. Relaño (Univ. de Cambridge, Reino Unido); A. Cardwell (Open Univ., Reino Unido); P. Erwin (Max Planck Institut für Astrophysik, Alemania); K. Fathi, J. Blasco (Univ. de Estocolmo, Suecia); E. Brinks (Univ. de Hertfordshire, Reino Unido); M. Pohlen (Univ. de Cardiff, Reino Unido); O. Hernández (Univ. de Montreal, Canadá); J.L. Gach, P. Balard (Obs. de Marsella, Francia); I. Shlosman (Univ. de Kentucky, EEUU).

Introducción

El objetivo principal de este Proyecto es estudiar la evolución de las galaxias y de su estructura, con énfasis en el papel desempeñado por el medio interestelar, e intergaláctico, y su interacción con la población estelar de la galaxia. Empezando hace más de 20 años con estudios muy detallados del medio interestelar cerca del Sol, el Proyecto ha ido ampliando su alcance progresivamente hasta llegar ahora a las galaxias distantes. En la actualidad el Proyecto abarca estudios sobre el propio medio interestelar, la física estelar y su contribución a la física de galaxias, la estructura de las galaxias cercanas, el medio intergaláctico, y aspectos cosmológicos relacionados al progreso de la formación estelar durante escalas de tiempo cosmológicas. Las líneas guías del Proyecto se pueden definir como: el uso de fotometría, tanto en líneas espectrales como en el continuo, para dilucidar la estructura interna de las componentes bariónicas de las galaxias, y el estudio dinámico y morfológico de las componentes de gas y de estrellas mediante técnicas cinemáticas.

La primera línea proporciona información sobre el medio interestelar y sobre la distribución del gas,

mas polvo, dentro y fuera de las galaxias. También más recientemente hemos explorado la estructura de las partes más exteriores de las galaxias mediante fotometría de alta precisión, un estudio que sigue dando resultados que van en contra a partes de la sabiduría convencional sobre la estructura de las galaxias, y arroja dudas sobre los conceptos básicos de esa estructura. Estamos llevando esta línea de investigación hacia galaxias en el Universo más lejano, encontrando pistas cuantificables y de bastante interés sobre la historia del ensamblaje de las galaxias con disco.

La segunda línea trata el problema de la construcción progresiva de las galaxias en el marco de los modelos cosmológicos mediante la adquisición de material por un progreso de agregación. Lo habitual es dar peso a las fusiones de las galaxias en este contexto, pero en este Proyecto tomamos muy en serio la posibilidad que la evolución de las galaxias en los últimos 7-10 Gaños se haya impulsado más por el acrecimiento de masa en la forma nubes subgalácticas, con sus correspondientes halos de materia oscura.

Para mejorar las posibilidades de adquirir datos relevantes, durante el año 2008 se ha colaborado con colegas en la Universidad de Montreal, del Observatorio de Marsella y del Observatorio de la Universidad de Estocolmo para construir y usar un nuevo instrumento de espectroscopia bidimensional. El uso de este instrumento (GHaFaS) permite obtener campos cinemáticos del gas ionizado en galaxias completas. Esta posibilidad está ampliando el alcance de la parte cinemática del Proyecto, con aplicaciones como la interacción de las estrellas masivas con su gas placental, el flujo de gas hacia los agujeros negros en los centros de las galaxias, y el desarrollo de estructura (barras, brazos, bulbos) con las pistas dinámicas relevantes.

Algunos resultados relevantes

La inferencia de la "velocidad de patrón" de los sistemas barra-disco de una docena de galaxias. En la modelación de la formación de las galaxias en el modelo estándar Λ CDM una predicción clara es que el sistema del disco-barra sufre fricción dinámica por el halo de materia oscura de tal forma que su velocidad colectiva se frena, llegando a valores por debajo de un límite superior predicho. Nuestro método de medir la velocidad de patrón usando los campos bidimensionales del gas ionizado obtenido con GHaFaS es rápido y preciso, dando resultados más precisos que los métodos convencionales usando espectros estelares obtenidos con espectrógrafos con rendija. Los resultados sugieren

que los sistemas disco-barra giran con velocidades angulares mayores que el límite citado arriba, y en este momento echan ciertas dudas sobre los detalles obtenidos con modelos basados en el modelo estándar de la Cosmología.

El descubrimiento del "valle azul" en los perfiles de color radiales de los discos de las galaxias, y dos observaciones relevantes sobre el: coincide con el cambio de pendiente del perfil de brillo del disco (referido clásicamente como el radio de truncamiento, o más correctamente como el "radio de la quiebra" ("break radius"), y (el fenómeno se porta de forma invariante (cualitativamente) en galaxias locales y en galaxias hasta "redshift" (z) = 1. Las observaciones vienen a confirmar, en líneas generales, las predicciones de una familia de modelos predictivos de Roskar et al., basados en una combinación de la redistribución radial dinámica de las estrellas del disco por elementos no axisimétricos, combinada con la formación continua de nuevas estrellas debida a la caída continua de gas extragaláctico al plano de cada galaxia.

Encontrar una solución, aunque asintótica, a la ecuación de Navier-Stokes es un logro de cierta envergadura. Ha habido una búsqueda general en la literatura de las Matemáticas de soluciones a esta ecuación que tiene una variedad de aplicaciones en varias ramas de la Física. Hay un concurso internacional con un premio elevado para encontrar una solución general a la ecuación. No se ha llegado a esa meta, pero tampoco se ha reportado soluciones, ni siquiera asintóticas, y este trabajo representa un paso adelante útil.

Evolución del Proyecto

Consolidación y desarrollo del espectrómetro bidimensional GHaFaS en el telescopio WHT

Se ha ido modernizando el instrumento pieza por pieza durante 2008, sin dejar de usarlo. Se ha adquirido una nueva fuente de calibración que permite generalizar el uso del instrumento sobre un rango de "redshift" y no solamente con galaxias muy locales. Trabajamos en el diseño de un nuevo etalón, que se fabricará durante 2009, y colaboramos con los colegas de Montreal para sustituir el controlador electrónico CS100 del instrumento, que también se hará durante 2009. GHaFaS se utilizó en tres periodos de observación durante 2008, con resultados útiles durante periodos de buen tiempo. Los observadores han venido desde Italia, la ESO, Chile, Francia, y de la Península, y se les ha ofrecido el apoyo técnico en colaboración con colegas en Estocolmo, Montreal y Marsella.

Resultados de los campos de velocidad en el gas ionizado

El logro principal ha sido la medición de las "velocidades de patrón" de los discos de una decena de galaxias cercanas usando la emisión de su gas ionizado con GHaFaS. Los modelos más recientes por nuestros colaboradores (Shlosman, Athanassoula, Martínez Valpuesta) predicen como se evolucionan los discos de las galaxias si se componen no sólo de gas y de estrellas, sino también de la materia oscura. Un parámetro de importancia que se puede usar para comprobar estos modelos es la velocidad del patrón de ondas de densidad que estimula, y que a su vez está estimulada por la presencia de una barra en la galaxia, fenómeno que se observa en dos tercios de las galaxias espirales. La fricción dinámica entre el halo de materia oscura y la barra puede frenar la barra durante el tiempo de la evolución del disco, y este efecto se puede detectar midiendo la velocidad del patrón. Hay un método elegante para hacerlo, el "método Tremaine-Weinberg" basado en medir la velocidad radial del disco, y la intensidad de su emisión, de forma bidimensional. En la práctica, el método es difícil de implementar, porque la velocidad se mide con poca precisión en las partes exteriores de las galaxias, debido a la debilidad del brillo superficial de la componente estelar. Usando GHaFaS se ha podido medir el campo de velocidad bidimensional necesario con una eficiencia mucho mayor (un campo medido con GHaFaS, en un tiempo de exposición de un par de horas es el equivalente de centenares de rendijas de espectroscopia convencional, cada rendija necesitando un par de horas). Los resultados, obtenidos en 2008 son muy alentadores, y apuntan a que las velocidades de patrón son rápidas, que va parcialmente en contra de los modelos convencionales con materia oscura. Sin embargo, hay teóricos que cuestionan el método hecho usando la emisión del gas, y se necesita calibrar los resultados obtenidos contra los pocos estelares hechos con rendija. La colaboración con el grupo de Padua permitirá hacerlo (si los TACs lo permiten), y así establecer la técnica como una pieza fundamental en el estudio de la dinámica de las galaxias.

Perfiles de brillo de los discos de las galaxias: las cercanas y las a "redshift" intermedio

El inicio de 2008 se marco por la publicación de un artículo definitivo sobre los perfiles de brillo de los discos de las galaxias tempranas (Erwin, Pohlen y Beckman, 2008), donde se demostraron dos hechos básicos: la mayoría de los perfiles no están truncados

(contrariamente a lo aceptado previamente) y los truncamientos no son abruptos (confirmando los estudios anteriores menos precisos por nosotros y otros autores). Estos hechos mostraron la debilidad de la mayoría de los modelos previamente elaborados para explicar el papel del truncamiento en la diagnostica de los procesos evolutivos de los discos. Durante el año 2008, en el contexto de la tesis doctoral de R. Azzollini se llevaron a cabo dos estudios relevantes al problema. En el primero mostramos que en las galaxias con truncamientos muestran perfiles de color cuyo punto más azul coincide con el radio del truncamiento (Azzollini, Trujillo y Beckman, 2008a), y que esta propiedad es igual en las galaxias con z entre 0 y 1, es decir en galaxias hasta hace unos 8 años. Las medidas usaron el campo GOODS-South del HST. En el primero, y sobre el mismo rango de z , mostramos que el radio del truncamiento ha crecido progresivamente entre $z=1$ y $z=0$, es decir que los radios de truncamiento son mayores en las galaxias locales (Azzollini, Trujillo y Beckman, 2008b). Todo esto tiene una explicación bastante completa en los modelos teóricos de Roskar et al. (2007, 2008) que se basan en dos premisas fundamentales: que el efecto de la presencia de asimetrías en el disco interno (barras, y brazos) es impulsar el gas y las estrellas más allá que un radio determinado (que puede ser corrotación, o de la barra o de los brazos) progresivamente hacia fuera, y por otro lado, la formación estelar en el disco se mantiene continuamente vía la adquisición de gas que procede desde fuera de la galaxia (el denominado "infall"). Estas conclusiones, que se enmarcan dentro de la teoría de la evolución secular de los discos, se vinculan con dos otras facetas de la investigación del grupo que se describen a continuación.

Evidencia de "infall" de hidrógeno a los discos de las galaxias

Siguiendo su descubrimiento de las nubes de alta velocidad (HVC) alrededor de media docena de galaxias cercanas, usando la emisión de su HI, Valeria Buenrostro está terminando de analizar las propiedades de la HVC masiva "Complex H" cerca del plano de la Vía Láctea, junto con J. Lockman del National Radioastronomy Observatory (EEUU). Ha concluido que si el Complex H se situara a la distancia de las nubes previamente detectadas cerca de galaxias externas, la fracción de su masa detectable sería del orden de 1% del total. Esta conclusión da credibilidad a la hipótesis que la mayoría de las galaxias grandes con disco se nutren continuamente por el "infall" de nubes de hidrógeno atómico neutro, que no son fáciles de detectar. Es una hipótesis que se ha barajado

dentro del grupo durante varios años, basada en la evidencia de la evolución química de las estrellas (artículos de Casuso y Beckman, desde 1993 hasta la fecha). Resulta que la hipótesis de "infall" se necesita para explicar los perfiles de brillo en los modelos de Roskar et al. que a su vez son los que mejor reproducen los resultados de Erwin, Pohlen y Beckman y de Azzollini, Trujillo y Beckman. Volvemos al tema de la evolución secular en el siguiente párrafo.

Los bulbos y los pseudobulbos

La dinámica interna de las galaxias implica un intercambio radial de momento angular, producido por las asimetrías que haya, sea por barras por brazos, o por la triaxialidad de la estructura central. Se ha visto un efecto de esta redistribución de momento angular: la dispersión gradual de las zonas externas del disco, revelada por la fenomenología asociada con los truncamientos. En el Proyecto se ha estudiado también un efecto inverso y simultáneo, la concentración de gas y estrellas en el centro, causado por su pérdida de momento angular a las partes externas del disco. Esta concentración nutre la barra, pero más llamativamente, nutre la zona central, causando una estructura que se ha nombrado pseudobulbo.

Siguiendo los trabajos realizados en años anteriores sobre galaxias individuales, en 2008 se ha usado el cartografiado SLOAN más imágenes HST para explorar con precisión la distribución de luz en las zonas interiores de las galaxias tempranas, las que en principio deben tener bulbos clásicos esferoidales. Los resultados, obtenidos por L. Gutiérrez en colaboración con A. Tamm, colaborador de Estonia, muestran que una proporción muy baja de los bulbos de la muestra son esferoides puros y la gran mayoría o tienen rasgos internos (brazos, discos, y barras pequeños), o no son esferoidales sino tienen la forma de disco, o ambos. Estos resultados se presentaron en el Simposio 258 de la IAU. Durante la primera parte de 2009 se elaborará una versión definitiva para su publicación.

42 *El impacto del "infall" en los discos*

V. Buenrostro, junto con M. de Avillez, de la Universidad de Evora, está explorando, vía simulaciones, el efecto de la llegada de una nube de alta velocidad en el ritmo global de formación estelar en los discos de las galaxias. Su modelo tiene en cuenta que el resultado de la llegada de una HVC es aumentar la presión en el plano central del disco, y así estimular las nubes densas a superar su límite de Jeans e iniciar la formación de estrellas. V. Buenrostro está cuantificando los efectos en términos

de los parámetros principales: la densidad, tamaño y velocidad de la HVC, y las densidades relevantes de las nubes en el plano.

Anillos ultracompactos y zonas de reducida dispersión de velocidad en las zonas nucleares de las galaxias

Este Proyecto conjuntamente con el Proyecto en el que trabajan J. Knapen, S. Comerón está estudiando en profundidad el fenómeno de los anillos ultracompactos de gas, polvo, y estrellas (notablemente estrellas recién formadas) alrededor de los núcleos de las galaxias. Ha multiplicado por dos el número de esos objetos conocidos, demostrando que no son rasgos tan raros (aunque no sumamente frecuentes) de las galaxias. Ha explorado la relación entre los anillos ultracompactos, y los más grandes "anillos circunnucleares" para ver si hay una diferencia fundamental entre ellos, llegando a la conclusión que probablemente no la hay. También ha estudiado en profundidad las propiedades de los centros de las galaxias cuya velocidad de dispersión muestra un bajón (los s-drops), comparándolas con las que no tienen tal bajón, para deducir las causas del fenómeno. El encontrar que los s-drops ocurren preferentemente en galaxias barradas, apoya la hipótesis que se deben a flujos de gas hacia el núcleo, que forman estrellas cuya dispersión de velocidad sigue la del gas (menor de las demás poblaciones estelares alrededor) por lo menos durante 1 Gaño.

Presupuesto de fotones ionizantes en las regiones HII de M51

L. Gutiérrez, usando datos del HST, ha analizado el equilibrio de los fotones ionizantes en la población de las regiones HII en la galaxia M51 (también en NGC 4414).

La ecuación Navier-Stokes

Como consecuencia de sus trabajos sobre la diferenciación de las nubes interestelares y su eventual condensación para producir la función inicial de masas de las estrellas, E. Casuso ha encontrado una solución asintótica de la ecuación de fluidos de Navier-Stokes, objetivo de mucha búsqueda en la literatura de las matemáticas aplicadas. El trabajo se publicó en la revista *Progress in Physics* durante el año 2008.

FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE GALAXIAS: OBSERVACIONES INFRARROJAS Y EN OTRAS LONGITUDES DE ONDA (311086)

I. Pérez Fournon.

N.D. Castro Rodríguez, A. Cava, A. Afonso Luis y A. Hernán Caballero.

Principales grandes colaboraciones en las que participa el grupo: Spitzer SWIRE, internacional; Spitzer SERVS, internacional; Herschel SPIRE, internacional; Herschel ATLAS, internacional; Herschel/PACS, internacional; SPICA/SAFARI, internacional.

Introducción

El grupo desarrolla varios proyectos extragalácticos en diferentes rangos del espectro electromagnético utilizando satélites espaciales y telescopios en tierra para estudiar la evolución cosmológica de las galaxias y el origen de la actividad nuclear en galaxias activas. Los proyectos principales son: a) "The Spitzer Wide-Area InfraRed Extragalactic Survey (SWIRE)", uno de los mayores proyectos llevados a cabo con el telescopio espacial infrarrojo Spitzer de NASA; b) estudios de gran campo y profundos con el Observatorio Espacial Herschel utilizando tiempo garantizado de los consorcios SPIRE y PACS y un "Key Project" en tiempo abierto, el proyecto Herschel-ATLAS; c) estudios de galaxias cercanas con el Observatorio Espacial Herschel utilizando tiempo garantizado de los consorcios SPIRE y PACS; d) el Proyecto "SERVS: the Spitzer Extragalactic Representative Volume Survey", uno de los nuevos grandes proyectos del tipo "Exploratory Science" de Spitzer; e) Observaciones de seguimiento espectroscópico con el telescopio GTC y otros grandes telescopios de galaxias distantes seleccionadas en el infrarrojo y en ondas mm/Submm; y f) participación en el desarrollo de instrumentación para el Observatorio Espacial Herschel de la ESA y para el telescopio espacial infrarrojo japonés SPICA, recientemente seleccionado como una de las posibles misiones de tamaño medio del programa Cosmic Vision de ESA.

Algunos resultados relevantes

Las contribuciones principales del Proyecto en 2008 han sido las siguientes:

Publicación del catálogo de desplazamientos al rojo fotométricos del Proyecto SWIRE, que incluye más de un millón de galaxias seleccionadas en el infrarrojo.

Preparación de los "Key Projects" del Observatorio Espacial Herschel en tiempo garantizado y abierto. El grupo Herschel del IAC participa en los 4 "Key Projects" extragalácticos del Consorcio SPIRE y en el cartografiado extragaláctico PEP del Consorcio PACS, así como en el Proyecto "Herschel/ATLAS: The Herschel Thousand Degree Survey" (investigador principal: S. Eales, de la Universidad de Cardiff, Reino Unido), que fue seleccionado en 2008 por el Comité de Asignación de Tiempo del Observatorio Herschel y es el mayor (600 horas) de los "Key Projects" en tiempo abierto que se llevarán a cabo con Herschel.

Participación en el consorcio que propuso en 2007 a la ESA la participación europea en el nuevo observatorio espacial japonés SPICA, en el marco del programa Cosmic Vision de ESA, y la construcción de uno de los instrumentos, la cámara y espectrómetro para el infrarrojo lejano SAFARI.

Participación en uno de los nuevos grandes proyectos observacionales que se llevarán a cabo con el telescopio espacial infrarrojo Spitzer de la NASA, el proyecto SERVS: "the Spitzer Extragalactic Representative Volume Survey" (investigador principal: M. Lacy, Caltech, EEUU), 1.400 horas de observación con el instrumento IRAC de Spitzer para obtener mapas profundos de varias zonas de cielo, con un área total de unos 20 grados cuadrados. Estas observaciones permitirán el estudio de galaxias lejanas por su emisión infrarroja a la mayor profundidad posible en campos de varios grados cuadrados.

Evolución del Proyecto

Las actividades principales del Proyecto durante 2008 han sido:

Explotación científica de los cartografiados infrarrojos SWIRE (realizado con el telescopio espacial infrarrojo Spitzer de la NASA y con otros telescopios) y ELAIS (realizado con el observatorio espacial infrarrojo ISO de la ESA y con otros telescopios).

Preparación de los programas científicos de tiempo garantizado de los consorcios SPIRE y PACS del Observatorio Espacial Herschel.

Presentación de propuestas de "Key Projects" en tiempo abierto a realizar con el Observatorio Espacial Herschel de las cuales fue seleccionado el proyecto "Herschel/ATLAS: the Herschel Thousand Degree Survey", que con 600 horas de observación es el mayor de los "Key Projects" de tiempo abierto de Herschel.

Presentación de propuestas para la fase "caliente" del telescopio espacial infrarrojo Spitzer, programas de tipo "Exploratory Science". El Proyecto SERVS: "the Spitzer Extragalactic Representative Volume Survey" fue seleccionado y constituye el segundo mayor programa de este nuevo tipo de proyectos de Spitzer.

Desarrollo detallado del instrumento SAFARI para el telescopio espacial infrarrojo japonés SPICA, dentro del programa Cosmic Vision de ESA. SPICA ha sido una de las misiones seleccionadas por ESA como posible futura misión de tipo medio. Se participa en el consorcio internacional (formado por varios países europeos, Japón, Canadá y EEUU) que está diseñando el instrumento SAFARI de SPICA, que operará en el infrarrojo lejano.

Preparación de proyectos extragalácticos a realizar con el telescopio GTC, principalmente relacionados con cartografiados extragalácticos infrarrojos realizados con telescopios espaciales.

GRUPO DE ESTUDIOS DE FORMACIÓN ESTELAR "GEFE" (310192)

C. Muñoz-Tuñón.

I. Martínez Delgado, R.O. Amorín Barbieri, N. Caon, J.A. López Aguerra, C. Ramos Almeida, P. Lagos Lizana, I. Drozdovsky, J. Sánchez Almeida, A.M. Varela Pérez y J.M. Rodríguez Espinosa.

R. Amorín Barbieri (IAA); A. Monreal (ESO, Alemania); L.M. Cairós (Postdam, Alemania); G. Tenorio Tagle, S. Silich, D. Rosa (INAOE, México); J. Palous (Academia de Ciencias, República Checa); P. Planesas (OAN, Madrid); E. Simmoneau (IAP, Francia); A. Moiseev (SAO, Rusia); M.L. García Vargas (Fractal SLNE, Madrid); equipo ESTALLIDOS.

Introducción

44 El Proyecto interno GEFE se encuentra totalmente enmarcado en el proyecto coordinado, ESTALLIDOS, financiado por el plan nacional desde el año 2001. El equipo en el IAC fue impulsor y coordina la colaboración desde el principio, ahora estallidos está en su tercera edición.

El objetivo central del Proyecto es el estudio observacional y teórico de brotes masivos de formación estelar, o *starbursts* o *estallidos*, y su impacto en galaxias. Se trata de definir el alcance de estos eventos y encontrar los parámetros que

llevan a la realimentación, o "feedback", y así a la formación de futuras generaciones de estrellas. Para ello ha sido seleccionada una muestra de starbursts que cubre un amplio rango, desde los nucleares en galaxias espirales grandes cercanas a los encontrados en galaxias enanas, pasando por las regiones HII Gigantes en espirales y galaxias irregulares y los que suceden en galaxias que además tienen un núcleo activo. Diferenciamos objetos aislados y que por tanto constituyen un ecosistema de aquellos que se encuentran en entornos más densos, galaxias en cúmulos o en grupos, que ciertamente pueden ser determinantes en la formación y evolución de los cúmulos de estrellas masivas (*starbursts*). Cada uno de los apartados que planteamos tiene su muestra de objetos característicos. Hemos definido también una muestra común que comprende ejemplos típicos de cada clase y que será estudiada por todo el equipo con observaciones multifrecuencia. Se harán observaciones en Rayos X, UV, visible, IR medio y lejano y radio usando tanto telescopios en tierra como satélites. Nos proponemos además ampliar la muestra de objetos sustancialmente para realizar, además de los estudios detallados en las muestras propias, un uso masivo de bases de datos que nos permitirán alcanzar resultados muy robustos estadísticamente.

Algunos resultados relevantes

Las galaxias compactas azules (BCDs) son los objetos cercanos con las condiciones físicas más parecidas a las que existieron en el Universo primitivo. En este momento sufren un brote de formación estelar que las hace muy llamativas, pero que no puede durar mucho tiempo. Para entender como funcionan las BCDs es necesario identificarlas durante la mayor parte de su vida, en la que el brote esta apagado. Usando SDSS/DR6, se han identificado por primera vez galaxias que parecen ser BCDs entre brotes de formación estelar.

Este hito representa el punto de partida para el estudio de las BCDs durante toda su vida. (*Astrophysical Journal*, 685, 194-210).

Se ha seguido con la estrategia observacional de utilización de instrumentos de espectroscopia de campo integral, que permiten obtener una información similar de una forma mucho más eficiente. En este momento, se dispone de una muestra de ~20 galaxias observadas con diferentes instrumentos (INTEGRAL, PMAS, VIMOS y VIRUS). Los primeros resultados para una submuestra de las galaxias observadas con INTEGRAL han aparecido en *Astrophysical Journal*, 677, 201. En el artículo se analizan cinco galaxias luminosas azules, Se

obtienen mapas de diagnóstico y se encuentra que en todos los casos tienen líneas de emisión producidas por fotoionización. Las cinco galaxias muestran una distribución no homogénea de la extinción y en tres de ellas se aprecian grandes cantidades de polvo (resultado inesperado para este tipo de objetos).

Evolución del Proyecto

Los resultados del Proyecto se enmarcan en los tres aspectos siguientes

- El impacto de los starbursts nucleares: disparo y confinamiento.
- Los parámetros estructurales de galaxias y la formación estelar.
- Starbursts en galaxias con núcleo activo.

A continuación y desglosados en varios apartados se comentan algunos de los aspectos del desarrollo del Proyecto.

Morfología de la galaxia anfitriona

La prominencia relativa de los bulbos galácticos con respecto a sus discos es importante en la definición de los tipos de galaxias. Además, ~25% de las estrellas presentes en galaxias residen en este tipo de estructuras. Los estudios sobre las propiedades de los bulbos generalmente no han tenido en cuenta la forma intrínseca de los mismos. El estudio que se realizó consistió en medir, mediante una técnica nueva, la forma de una muestra amplia de bulbos de galaxias tempranas 148 galaxias no barradas de tipo temprano (S0-Sb) seleccionadas del *Two Micron All Sky Survey* (2MASS).

Los resultados que se obtuvieron indican que ~80% de los bulbos de las galaxias tempranas y no barradas son elipsoides triaxiales, teniendo como razón axial en el plano ecuatorial: $\langle B/A \rangle = 0.85$. Estos resultados han sido publicados en *Astronomy & Astrophysics*.

Análisis de la componente subyacente de una muestra de BCDs

Como parte del análisis de la componente subyacente en galaxias compactas azules, se desarrolló una nueva metodología que fue aplicada primero a una submuestra de control de 8 galaxias, y luego extendida a las 28 galaxias de la muestra completa del proyecto (28 galaxias).

Los resultados obtenidos confirman los ya presentados para la muestra de control, mostrando

que todas, salvo dos galaxias, muestran perfiles de Sérsic compatibles con objetos tipo disco. El primer artículo fue publicado (Amorín et al. 2007) y el segundo, donde se presentan las propiedades estructurales para toda la muestra así como el estudio del diagrama Tully-Fisher, comparándolos con otras enanas, está en proceso de revisión en *Astronomy & Astrophysics*.

Se ha continuado con la estrategia observacional de utilización de instrumentos de espectroscopia de campo integral, que permiten obtener una información similar de una forma mucho más eficiente. En este momento, se dispone de una muestra de ~20 galaxias observadas con diferentes instrumentos (INTEGRAL, PMAS, VIMOS y VIRUS). Los resultados para una submuestra de las galaxias observadas con INTEGRAL han aparecido en el *Astrophysical Journal*. Los datos correspondientes al resto de la muestra están en proceso de análisis o de reducción.

Estudio de Galaxias Compactas Azules "apagadas"

Este es un programa a largo plazo en el que se aspira a completar la historia de formación estelar de estos sistemas incluyendo, claro está, estudios de su metalicidad, procesos de enriquecimiento químico, retroalimentación de la formación de estrellas y mecanismos de encendido (disparo). Se ha seleccionado una muestra amplia de la base de datos de Sloan. Para la identificación de las galaxias BCDs "apagadas" (quiescentes) se ha hecho uso de los estudios de la galaxia anfitriona en BCDs analizadas con imagen profunda y métodos 2D (resultados de la tesis de R. Amorín). La primera parte, identificación de una muestra y análisis de la fonometría ya está publicada y se continúa con nuevos proyectos que incluyen, por ejemplo, la observación detallada de la submuestra encontrada de galaxias muy poco metálicas.

Detección de CO en galaxias BCDs

Se ha observado una muestra de 10 galaxias BCDs con la antena de Pico de Veleta en las bandas de 3mm y 1.3 mm. El fin primero fue detectar la presencia de gas molecular en las zonas nucleares (donde se localiza la formación estelar) y medir su masa y otros parámetros físicos (ej. dispersión de velocidades o tasa de formación estelar). Se han reducido las observaciones y actualmente estamos en proceso de análisis de los resultados. Además dos de las diez galaxias, las que presentaban mayor señal en los apuntados nucleares, han sido cartografiadas. Los mapas de CO ya han sido construidos y estamos comenzando su análisis. Este apartado dará resultados (publicaciones) a lo largo de 2009.

Super Stellar Clusters (SSCs) como elementos claves en la retroalimentación de la formación estelar

Se han analizado los datos obtenidos con PMAS durante el pasado año para M82 y NGC1569. En el caso de M82, se ha obtenido el mapa de extinción de la región nuclear de M82 más detallado hasta la fecha. Este mapa muestra que la extinción está distribuida en una manera no uniforme, con valores más elevados a lo largo de la línea de polvo ($A_v \sim 4 - 6$) y con valores más moderados a lo largo de la región A ($A_v \sim 3$). La densidad electrónica es elevada en todo el campo ($\sim 700 \text{ cm}^{-3}$) especialmente en la zona de mayor densidad de cúmulos estelares, donde alcanza valores de $\sim 1800 \text{ cm}^{-3}$. En la actualidad se están interpretando el resto de los observables derivados.

La parametrización de las condiciones físicas del gas próximo a los SSCs (de los que conocemos todas sus coordenadas tras el trabajo de Melo et al, 2005) está siendo parte del trabajo de maestría de A. Torres (del INAOE) codirigida por nuestro equipo en el IAC (C. Muñoz-Tuñón y A. Monreal).

En cuanto a NGC1569, se ha estudiado la región centrada en el cúmulo más masivo de la Galaxia. Entre los resultados más relevantes de este trabajo, destaca la detección de una cavidad alrededor de dicho cúmulo y una extinción prácticamente nula a trazada por una baja emisión en H. Además, la cinemática derivada indica que hay material ionizado fluyendo hacia dicha cavidad. El conjunto de los observables analizados parece indicar que la formación estelar actual y la estructura observada no son los responsables del material caliente que presente en el halo y que ha sido detectado por Chandra e identificado como un superviento galáctico. Seguramente este material es el resultado de un starburst anterior. Se complementará el análisis y publicarán los resultados en el año 2009.

Se han hecho avances importantes en el modelizado teórico de la evolución de un supercúmulo estelar. Las condiciones iniciales (masa, densidad, tamaño) definen un parámetro clave, la eficiencia de termalización que define el enfriamiento en la región del supercúmulo. Los resultados a los que lleva las condiciones extremas son muy diferentes. En un caso se evoluciona de un modo adiabático (Chevalier y Clegg, 1985) mientras que, si el factor de enfriamiento es muy alto se fuerza la formación estelar, inhibiéndose la solución viento y pudiéndose llegar a cúmulos de masas de hasta $108 M_{\text{sun}}$ (la llamada retroalimentación positiva).

Formación estelar y actividad en galaxias

Se obtuvo tiempo de observación en el Observatorio del Roque de los Muchachos con LIRIS en el telescopio WHT para la observación de una muestra de AGN detectados en rayos-X duros, con espectroscopía multiobjeto en el infrarrojo cercano. El mal tiempo impidió sacar provecho a estas observaciones, pero se ha vuelto a conceder tiempo para observar una muestra similar durante el mes de marzo de 2008. Además, se concedió una noche compartida en Tiempo de Director para la obtención de un espectro infrarrojo necesario para completar una muestra de galaxias Seyferts observadas con LIRIS. Los resultados se han publicado en *Astrophysical Journal*.

Observaciones con grandes telescopios y complementariadas

Se han realizado observaciones con PMAS, VIMOS y VIRUS de una muestra de BCDs con el propósito de analizar la estructura de cinemática, extinción e ionización así como para caracterizar las diferentes componentes presentes en estos sistemas.

Se ha obtenido tiempo en el telescopio WHT para analizar una submuestra de BCDs de baja metalicidad apagadas.

Se han elaborado propuestas a tiempo de verificación del telescopio GTC. Se han obtenido algunas horas para dos programas diferentes: el estudio de la BCD apagada menos metálica y la exploración del uso de los TF (OSIRIS) para el estudio detallado de la formación estelar (LUS=Local Universe Survey).

También se ha optado a tiempo garantizado OSIRIS.

Se han realizado observaciones en el telescopio VLT con FLAMES para estudiar las condiciones físicas y de ionización de la zona nuclear de NGC5253. Con el mismo propósito, se han realizado observaciones de NGC1569 con OASIS.

Se han elaborado dos propuestas para observar con VIMOS en el telescopio VLT y GMOS en Gemini galaxias del UDF. Las propuestas fueron bien valoradas aunque no obtuvieron tiempo. Se volverá a solicitar tiempo para el mismo caso científico en el telescopio VLT y en Gemini.

Se ha obtenido tiempo en el telescopio VLT (VIMOS) para completar el estudio de la galaxia NGC5253.

Se ha obtenido tiempo en el VLT (VIMOS) para empezar el estudio de candidatas a fuentes Lyman α .

POBLACIONES ESTELARES EN GALAXIAS (310394)

A. Aparicio.

S.L. Hidalgo Rodríguez, M. Monelli, C. Gallart Gallart, I. Drozdovsky, E. Bernard, A. Marín Franch, P.I. Meschin y A. Rosenberg González.

R. Carrera, E. Pancino (Bologna, Italia); S. Cassisi (Teramo, Italia); E. Costa, R. Méndez (Univ. de Chile); P. Demarque, R. Zinn (Univ. de Yale, EEUU); K. Exter (ESO); E. Hardy (NRAO); M. Mateo (Univ. de Michigan, EEUU); G. Piotto, (Padua, Italia); A. Recio Blanco (Niza, Francia); A. Sarajedini (Univ. de Florida, EEUU); I. Saviane (ESO, Chile); E. Skillman (Minnesota, EEUU); P. Stetson (Victoria, Canadá); N. Tikhonov (SAO, Rusia); M. Zoccali (PUC, Chile).

Introducción

El objetivo general del Proyecto es el estudio de la estructura, historia evolutiva y proceso de formación de galaxias a través de las poblaciones estelares, de su luz integrada y de su cinemática. La investigación del grupo se centra en los objetos más próximos, incluyendo a la propia Vía Láctea y a las Nubes de Magallanes. Parece razonable suponer que son una buena representación de por lo menos todas las galaxias de su tipo, y pueden considerarse como una buena referencia para entender cómo éstas se forman y evolucionan.

El Proyecto puede dividirse en cuatro líneas principales:

Galaxias enanas: poblaciones estelares y estructura primordial

Las galaxias enanas surgen de forma natural como los primeros objetos en formarse en las teorías sobre la materia oscura fría. Como consecuencia de la condición para la pérdida de gas y enfriamiento existiría un sesgo en la formación de galaxias: Las enanas se originarían de los picos de densidad de 1σ y trazarían la distribución real de masa del Universo primigenio. El estudio de sus propiedades tanto integradas como a través de sus estrellas resueltas, aportaría una información valiosa no sólo de la forma en la que surgen y evolucionan las galaxias, sino también de las condiciones iniciales del universo en las que se formaron.

El objetivo de esta línea es la caracterización de la estructura espacio-temporal de las galaxias enanas. Un objetivo fundamental es la determinación de historias de la formación estelar (HFE) detalladas

y extendidas a toda la historia evolutiva de la galaxia. En este contexto, se están analizando una serie de diagramas color-magnitud (DCM) muy profundos obtenidos con la cámara ACS en el telescopio HST para seis galaxias enanas aisladas del Grupo Local (Proyecto LCID; P. ID: 10505, IP C. Gallart: 97 órbitas). Otro, es el estudio de los registros fósiles de su formación inicial, tales como estructuras extendidas constituidas por una población estelar vieja, la distribución de velocidades de sus estrellas individuales, o los gradientes de sus poblaciones estelares.

Formación de la Vía Láctea: cúmulos globulares y estructura del halo

El hecho de que los cúmulos globulares (CG) sean los objetos más viejos del Universo hace de ellos verdaderos fósiles que contienen información sobre el proceso de formación de la Vía Láctea y, por extensión, de otras grandes galaxias. En este contexto, se ha establecido un grupo internacional (liderado por A. Sarajedini, Univ. de Florida, EEUU) en el que participan miembros del grupo (Aparicio, Marín Franch y Rosenberg). Se está llevando a cabo un ambicioso programa de investigación que está permitiendo la determinación por primera vez o con un grado de precisión sin precedentes de las propiedades de una muestra de 66 CG. Se ha dispuesto para ello de un total de 134 órbitas con la ACS del telescopio HST. Las propiedades que se pretende determinar se refieren a las edades relativas y absolutas, función de masas estelares, binariedad, dinámica y cinemática interna de los cúmulos y potencial de la Vía Láctea. El grupo en el IAC se centra en la determinación de edades relativas y absolutas, función de masas y binariedad.

La escala de edades absolutas está siempre afectada de un error de cero dependiente de la calibración y la elección de parámetros internos de los modelos de evolución estelar. Esto hace que sea interesante recurrir a las edades relativas, que proporcionan una medida precisa de la dispersión de edades de los CG en función de metalicidad, posición y otros parámetros. La dispersión de edades da información sobre el proceso de formación de la Vía Láctea que, a su vez, está estrechamente relacionado con las condiciones iniciales del Universo que dieron lugar a la formación de estructuras. La determinación de las edades requiere de la correcta localización del "turn-off" en el DCM de cada CG, para lo que resulta imprescindible disponer de una muestra homogénea. Rosenberg et al. dedicaron el mayor esfuerzo en este campo, presentando un catálogo homogéneo de 52 CG cercanos observados desde tierra. Este trabajo dio al grupo del IAC-Padua el liderazgo en este tema, extendido

recientemente con una nueva publicación (De Angelis et al 2005) en la que se aumenta la muestra, especialmente en el rango de alta metalicidad y las medidas (procedentes de observaciones «snapshot» con la WFPC2 del telescopio HST) se extienden a 55 cúmulos. Los trabajos del grupo han mostrado que la Vía Láctea, al menos es su parte central e intermedia se formó mediante un proceso rápido, similar al que se observaría en un colapso monolítico (una sola edad, Eggen et al. 1962), y en contra de lo que resultaría de un proceso de «acreción» generalizada (amplio rango de edades, Searle y Zinn 1978). Sin embargo, queda aún mucho trabajo por hacer, en particular por lo que se refiere a las propiedades de los distintos grupos de metalicidad y de los cúmulos del halo más externo (ej. Zinn 1996; Bellazzini et al. 2003).

Formación y evolución de las Nubes de Magallanes

Entre el sistema de galaxias satélites de la Vía Láctea, hay dos tipos bien diferenciados de objetos representantes de sendos grandes tipos de galaxias en el Universo Local: las galaxias enanas esferoidales, caracterizadas por su bajo o nulo contenido en gas y la falta de formación estelar en el momento presente (a pesar de lo extendida de la historia de la formación estelar en algunas de ellas), y las Nubes de Magallanes, que son galaxias irregulares con un alto contenido en gas y una formación estelar actual activa.

Esta actividad de formación estelar y el alto contenido en gas, unido a su gran proximidad, hace de las Nubes de Magallanes un laboratorio astrofísico especialmente interesante. Además, su rico sistema de cúmulos globulares de todas las edades constituye el sistema de cúmulos extragaláctico más cercano y es además clave para comprobar la teoría de evolución estelar de estrellas de edad intermedia y joven, y relativamente pobres en metales, que no existen en la Vía Láctea. Además, la Vía Láctea, la Gran Nube de Magallanes (LMC) y la Nube Pequeña de Magallanes (SMC) constituyen un sistema de galaxias en interacción que puede aportar información muy detallada sobre los efectos de las interacciones y fusiones en la historia de la formación estelar de las galaxias.

En esta línea se usan las Nubes de Magallanes como laboratorios para el estudio de diferentes aspectos de la formación y evolución de galaxias. En particular, actualmente nos estamos concentrando en la determinación de historias de la formación estelar en función del radio galactocéntrico, a partir de DCM muy profundos, y en la determinación de su historia de enriquecimiento químico a partir de observaciones espectroscópicas usando el triplete del CaII.

Diagrama color-magnitud sintético y síntesis de poblaciones

Una herramienta fundamental en el estudio de las poblaciones estelares en galaxias la constituyen los diferentes algoritmos de cálculo de poblaciones sintéticas. En particular, el DCM sintético es la herramienta más poderosa para el análisis de las galaxias más cercanas, donde las estrellas individuales son resolubles. En este caso, el DCM, constituye un auténtico registro fósil de la historia de la formación estelar de la galaxia. Para galaxias más lejanas, en las que las estrellas no son ya resolubles, sólo se puede obtener información de la luz integrada, que puede analizarse mediante fotometría o espectroscopía.

Se han desarrollado una serie de herramientas de cálculo de poblaciones sintéticas, básicamente constituida por dos elementos: cálculo de diagramas color-magnitud sintéticos para cualquier batería de parámetros de entrada (IAC-star), y resolución de la historia de la formación estelar mediante diagramas color-magnitud, basada en un algoritmo genético (IAC-pop). Un tercer elemento, es una librería de síntesis de poblaciones estelares para fluctuaciones de brillo superficial. Para poblaciones no resueltas, esta última constituye una alternativa muy interesante a la síntesis de poblaciones fotométrica habitual porque rompe parcialmente la degeneración edad-metalicidad.

M33: poblaciones estelares y estructura de una galaxia espirales

Las galaxias espirales son mucho más complejas que las enanas y, según el modelo estándar de Λ -CDM, se habrían formado por la sucesiva incorporación ("merging") de enanas a una protogalaxia inicialmente pequeña. Presentan estructuras cinemáticamente diferenciadas y formadas en diferentes estados evolutivos como disco y halo. La caracterización detallada de las propiedades de ambas es fundamental para la comprensión de la formación y evolución de las galaxias espirales.

En el Grupo Local sólo hay tres galaxias espirales: la Vía Láctea, M31 y M33. Ésta última presenta unas condiciones muy favorables para su estudio en detalle, que el objetivo de esta línea. El ángulo entre su plano de simetría y el del cielo es pequeño, por lo que está prácticamente "de cara". Esto facilita su observación porque el enrojecimiento diferencial, la distancia diferencial y la mezcla de su estructura en una misma imagen son limitados. Por otra parte, está lo suficientemente cerca como para poder observar sus estrellas resueltas con detalle y lo suficientemente lejos como para que la observación de amplias muestras de estrellas sea posible.

El objetivo es el estudio de la distribución espacial de sus poblaciones estelares en el disco y el halo, incluyendo la relación edad-metalicidad y llegando hasta las regiones más externas de la galaxia. Para ello nos basaremos en diagramas color-magnitud para obtener historias de formación estelar; la distribución de variables RR-Lyr para la distribución de la población estelar más vieja, y medidas espectroscópicas del triplete del Calcio de estrellas resueltas para obtener la relación edad-metalicidad.

Algunos resultados relevantes

Se estimó la dispersión de edad de la población vieja de cúmulos globulares de la Vía Láctea en +/- 400 millones de años, lo que representa también una estimación del tiempo de ensamblaje del halo de nuestra Galaxia.

Se ha sugerido que aproximadamente un tercio de los cúmulos globulares de la Vía Láctea tienen un origen extragaláctico. Su formación tuvo lugar en galaxias satélite de la Vía Láctea, posteriormente, fueron engullidas por ésta.

Se ha puesto de manifiesto la existencia de un gradiente de metalicidad de los cúmulos globulares viejos de la Vía Láctea en función de su distancia galactocéntrica. La no detección de este gradiente se había considerado como uno de los indicios en favor del escenario de formación jerarquizada de galaxias en el que la Vía Láctea se habría formado mediante la incorporación sucesiva de galaxias enanas ya formadas, incluyendo sus cúmulos globulares. La presencia de este gradiente implica la revisión de este proceso. Una posible explicación es que las primitivas galaxias enanas presentaran un rango de masas apreciable y una eficiencia en el proceso de enriquecimiento químico vinculada a su masa. De ese modo, las galaxias de mayor masa y, por tanto, mayor metalicidad, habrían acabado en órbitas menos energéticas y, por tanto, más próximas al centro de la Vía Láctea, dando lugar al gradiente de metalicidad ahora observado.

Se publicó el catálogo fotométrico completo del «HST Galactic Globular Cluster Treasury Project», que obtuvo 130 órbitas en el Telescopio Espacial para la observación profunda de 65 cúmulos globulares galácticos.

Se finalizó el estudio de las historias de la formación estelar en las seis galaxias enanas aisladas del proyecto LCID. Las dos galaxias esferoidales de la muestra, Cetus y Tucana, presentan una historia evolutiva muy similar, con la mayor parte de la formación estelar ocurrida hace unos 10 Ga. Esto también es cierto para las dos galaxias de transición,

LGS3 y Phoenix, que se diferencian de las anteriores únicamente por conservar un nivel de formación estelar residual, pero significativo, desde esa época de formación estelar inicial y hasta la actualidad. Finalmente, las dos galaxias irregulares, IC1613 y Leo A presentan historias de formación estelar dispares en su época inicial: Leo A inició el grueso de su formación estelar relativamente tarde, hace ~XX Ga, y tiene un predominio claro de población de edad intermedia, mientras que IC1613 inició su formación estelar en una época tan temprana como todas las demás galaxias de la muestra, hace ~13.5 Ga, y ha mantenido un ritmo de formación estelar aproximadamente constante a lo largo de toda su historia.

Paralelamente a la obtención de las historias de formación estelar, y usando los mismos algoritmos, se han determinado las historias de enriquecimiento químico para las seis galaxias del proyecto LCID.

Se amplió y terminó el estudio de estrellas variables en Cetus, Tucana, y IC1613, en las cuales se descubrieron más de 800 variables. A partir de sus propiedades, se encontraron gradientes de poblaciones en esas galaxias, se observaron gradientes de edad y metalicidad en la población vieja de Tucana, y se calcularon las distancias de cada galaxia.

En base a esos resultados, se publicó un artículo en formato letter, se envió otro al *Astrophysical Journal*, y se escribió un tercero que está listo para ser enviado.

Se han encontrado dos épocas de formación estelar en la Gran Nube de Magallanes, una que va de 7 a 13 Giga-años atrás y otra más reciente, de 1 a 4 Giga-años atrás. En el campo más interno se observa que esa actividad de formación estelar se extiende hasta tiempos actuales. También se ha observado cambio gradual en la composición de la población de disco: medida que se incrementa la distancia galactocéntrica, la edad de la población más joven crece, mientras que la población de edad intermedia a vieja se hace más prominente.

Se desarrolló la aplicación MINNIAC para el análisis de la HFE. La aplicación parametriza y muestrea de forma eficiente los diagramas color-magnitud usados en la obtención de la HFE. MINNIAC crea varios conjuntos de datos de entrada que son usados por IAC-pop para resolver la HFE. Las diferentes soluciones dadas por IAC-pop se promedian para obtener una solución final que no depende del muestreo usado.

Evolución del Proyecto

Se ha trabajado en la cohesión del grupo de investigación y en el desarrollo y coordinación de las diferentes líneas de investigación en las que el equipo está involucrado, prestando especial atención a las relaciones con nuestros colegas de centros de otros países. Se ha realizado un esfuerzo adicional por la divulgación de los resultados que estamos obteniendo entre la comunidad internacional, mediante conferencias en otros centros y por medio de la presentación de conferencias invitadas y otras presentaciones en congresos internacionales.

En el contexto del subproyecto LCID, se finalizó la obtención de las historias de la formación estelar (HFE) de todas las galaxias. Esto se ha realizado en paralelo con las fotometrías obtenidas con dos paquetes distintos: DOLPHOT y DAOPHOT/ALLFRAME. Los resultados en ambos casos son totalmente consistentes. Las notables mejoras que se han introducido durante este proceso en nuestros algoritmos de cálculo de la HFE, junto con la extraordinaria calidad de los datos, ha permitido obtener la HFE para cada una de las galaxias con un nivel de detalle sin precedentes. Todas las galaxias de la muestra, excepto Leo A, presentan formación estelar desde una época muy temprana (similar a la de las poblaciones más viejas presentes en la Vía Láctea). La HFE subsiguiente depende del tipo de galaxia: en las dos galaxias esferoidales (Cetus y Tucana) se observa un cese de la formación estelar hace aproximadamente 7 Ga; en las dos galaxias de transición (Phoenix y LGS3) se observa formación estelar residual hasta prácticamente el momento actual, después de una primera época de formación estelar intensa durante los primeros 4 Ga. Finalmente, las dos galaxias irregulares de la muestra (IC1613 y Leo A) presentan una cantidad de formación estelar importante a edades intermedias y hasta el momento actual. En el caso de IC1613 la tasa de formación estelar es prácticamente constante desde una edad muy temprana hasta la actualidad. En el caso de Leo A, los resultados han sido muy interesantes: más del 90% de la formación estelar en esta galaxia ha ocurrido en los últimos 8 Ga, con una pequeñísima fracción ocurrida en los pocos primeros Ga después del Big Bang. El máximo de la formación estelar ocurrió hace 1.5-4 Gyr, a un nivel 5-10 veces el ritmo de formación estelar actual.

Se ha obtenido una gran cantidad de tiempo de observación, particularmente en telescopios de clase 8 m, con el fin de estudiar las poblaciones estelares y sus gradientes, con especial énfasis en la población más vieja, en un conjunto de galaxias enanas del Grupo Local. Este estudio se realizará a través de

la caracterización de las poblaciones de estrellas variables del tipo RR Lyrae, además de otros tipos de variables de corto periodo como las Cefeidas anómalas y Cefeidas de corto periodo. Estas observaciones se han realizado, o se van a realizar en los siguientes telescopios: Subaru (IC1613 y LGS3, octubre 2008), VLT (Cetus, julio-agosto 2008; NGC6822, semestre 83A), GTC (Leo A, VV124, DDO 210, Science Verification y semestre 09A) y 4 m CTIO (Sculptor, septiembre 2008). Esto supone el inicio de un ambicioso proyecto en el que los telescopios GTC y VLT van a jugar un papel clave.

Se realizó un análisis cuantitativo de la historia de formación estelar (HFE) en 12 campos de la Pequeña Nube de Magallanes, usando el código IAC-pop. El método usado para determinar la HFE está basado en la comparación, a través de DCMs sintéticos, de la distribución esperada de estrellas en el DCM para diferentes escenarios de evolución, con la distribución observada. Los DCM sintéticos se obtuvieron usando el código IAC-star (Aparicio y Gallart 2004). En todos los campos se encontraron dos importantes épocas de incremento en la formación estelar: una a edades intermedias (entre 4 y 6 Giga-años) y otra a edades viejas (10-13 Giga-años). El campo más cercano, localizado al sur, y los campos del este muestran recientes aumentos en la tasa de formación estelar (desde hace ~1-1.5 Giga-años hasta el presente). Estos últimos, se hallan localizados en regiones de alta concentración de HI. En todos los campos, localizados a una distancia $r < 2$ kpc hubo formación estelar activa hasta hace 3-4 Giga-años, independientemente del ángulo de posición, pero solamente los campos del este y el más cercano en el sur continuaron activamente formando estrellas hasta ahora.

Para la Gran Nube de Magallanes se analizaron 4 campos situados a distancias galactocéntricas entre 3 y 8 grados hacia el norte de la barra. Se obtuvieron sus HFE a partir de la comparación de los DCM observados con los DCM sintéticos obtenidos a partir de una librería de modelos de evolución estelar. Para el cálculo de los DCM sintéticos se usó el programa IAC-star desarrollado por nuestro grupo de trabajo (Aparicio y Gallart 2004) y para la comparación de los DCM observados con los sintéticos se utilizaron los paquetes IAC-pop y MINNIAC también desarrollados en el seno del grupo del trabajo del IAC (Aparicio e Hidalgo 2008). Se han observado 2 épocas de formación estelar, una que va de 7 a 13 Giga-años atrás y otra más reciente de 1 a 4 Giga-años atrás, entre los 4 y 7 Giga-años atrás existe una merma en la formación de estrellas. En el campo más interno se observa, además, que la actividad de formación estelar se extiende hasta tiempos actuales. También se ha

observado un cambio gradual en la composición de la población de disco: a medida que se incrementa la distancia galactocéntrica, la edad de la población más joven crece y la población de edad intermedia a vieja se hace más prominente.

Se han determinado las edades relativas de 64 cúmulos globulares galácticos, observados durante un total de 134 órbitas con la ACS del HST en el contexto de un proyecto internacional en el que participan integrantes del grupo. Se ha encontrado, por primera vez, la existencia de dos poblaciones diferenciadas de cúmulos globulares. Una población vieja, sin relación edad-metalicidad, y una población más joven, con una clara relación edad-metalicidad. Este resultado sugiere que los cúmulos del halo galáctico se formaron en dos fases o procesos bien diferenciados. El primero sería compatible con un proceso rápido ($<0.8\text{Ga}$) de ensamblaje del halo de la Vía Láctea. Durante este proceso se formarían los cúmulos globulares más viejos. Para los más jóvenes, se sugiere que su formación tuvo lugar en galaxias satélite de la Vía Láctea que, posteriormente, fueron engullidas por ésta. Estos resultados ya han sido aceptados para su publicación en la revista *Astrophysical Journal*.

Como continuación del trabajo anterior se ha iniciado, en colaboración con S. Cassisi, el análisis necesario para determinar los efectos que el contenido en Helio y CNO de los cúmulos globulares pudieran tener en la determinación de sus edades relativas. Los resultados preliminares parecen indicar que las edades relativas de los cúmulos globulares, obtenidas tal y como han sido determinadas por este grupo, son poco sensibles a variaciones en el contenido en He y CNO.

ESPECTROSCOPIA BIDIMENSIONAL CON FIBRAS ÓPTICAS DE GALAXIAS ACTIVAS (310494)

E. Mediavilla.

B. García Lorenzo, J.A. Acosta y L. López Martín.

Introducción

El primer objetivo de este Proyecto es el estudio de la cinemática y de las condiciones físicas que afectan al gas y a las estrellas en las regiones centrales de galaxias. La muestra de galaxias se ha ido extendiendo progresivamente. En la actualidad incluye objetos muy activos (QSOs, Seyferts), de actividad intermedia y baja (LINERS, starburst), y

objetos no conceptuados habitualmente como activos (galaxias de tipo temprano y bulbos de espirales). También se están estudiando las propiedades de las galaxias infrarrojas ultraluminosas y de las galaxias compactas azules (BCD).

Estos estudios se fundamentan en el uso de una nueva técnica experimental basada en la utilización de fibras ópticas, que permite obtener espectros distribuidos en 2D. Para el desarrollo de esta técnica se han construido varios instrumentos que operan en los telescopios del ORM (HEXAFLEX, 2D-FIS, HEXAFLEX-II e INTEGRAL) y se sigue participando en el diseño de nuevos instrumentos, como HARMONI para el E-ELT o EDIFISE (WHT).

Algunos resultados relevantes

Participación en el diseño (Fase A) de HARMONI. HARMONI es un proyecto europeo para construir un instrumento de primera luz para el mayor telescopio del mundo, el "European Extremely Large Telescope (E-ELT)". La participación en el diseño conceptual de un instrumento del telescopio gigante europeo confirma que el trabajo pionero del IAC en espectroscopia 3D sigue manteniendo una proyección notable en programas instrumentales de primera línea.

Evolución del Proyecto

La colaboración con las universidades de Granada y Complutense en la investigación, basada en espectroscopia 3D, de centros de galaxias cercanas ha estado enfocada al análisis de los datos de NGC4258. Este objeto muestra un chorro a escala galáctica que se ha identificado en la espectroscopia 3D obtenida con INTEGRAL. Este chorro da lugar a movimientos radiales muy fuertes en el gas que se han detectado tanto en la fase neutra como en la ionizada. Dentro de esta colaboración se han observado con INTEGRAL nuevos objetos durante dos noches obtenidas en el telescopio WHT.

También se ha seguido aplicando la espectroscopia integral a otros campos de investigación como las galaxias enanas compactas (2008, *Astrophysical Journal*, 677, 201), los objetos Herbig-Haro (2008, *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, 384, 464; *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, 391, 1107), o los cuasares (*Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, 392, 1295).

Pero este año el resultado más relevante del Proyecto ha sido instrumental. Se ha participado activamente en la Fase 1 de HARMONI, un espectrógrafo 3D previsto como instrumento de Primera Luz para el telescopio gigante Europeo (E-ELT). El IAC es

responsable del diseño conceptual de la pre-óptica y la interfaz electrónica. En febrero se presentará el diseño conceptual de la pre-óptica.

Dentro de la implicación general en programas instrumentales hay que destacar también las observaciones llevadas a cabo con dos nuevos haces ecualizados con filtros variables para llevar a cabo pseudo-coronografía con INTEGRAL y la participación en SIDE.

DISTRIBUCIÓN Y DINÁMICA DE POBLACIONES ESTELARES EN GALAXIAS (310594)

F. Garzón López, P.L. Hammersley, M. López Corredoira, C. González Fernández, T.J. Mahoney y A.L. Cabrera Lavers.

B. Vicente (IAA, España); M. Cohen (Univ. de Berkeley, EEUU); E. Battaner (Univ. de Granada); A Robin (Obs Besançon, Francia); O. Gerhard (Obs. de Basilea, Suiza); Chris Evans (ROE, Reino Unido).

Introducción

El Proyecto de cartografiado IR del plano y bulbo galácticos se enmarca dentro de la investigación en Astrofísica observacional destinada a proveer una base de datos de distribución estelar en las regiones más alejadas y extintas de nuestra Galaxia, con el fin de avanzar en el conocimiento de la estructura estelar a gran escala de la Vía Láctea, mediante el desarrollo de modelos semiempíricos a partir de la información contenida en dichos catálogos. Los catálogos profundos y extensos de cielo son una herramienta fundamental de partida para una amplia variedad de investigaciones posteriores. En particular, el grupo está trabajando sobre poblaciones estelares específicas en el plano ecuatorial de la Vía Láctea. Se cuenta con información detallada de la distribución estelar de las poblaciones dominantes en una amplia zona de cielo, que contiene las líneas de visión de más interés por abarcar diferentes componentes estructurales: bulbo interno, bulbo externo, disco, brazos espirales, etc. Esta base de datos tiene unas características superiores a la de los catálogos 2MASS y DENIS, tanto en resolución espacial como en sensibilidad, lo que resulta muy conveniente para el análisis de las estructuras más profundas de las regiones centrales de la Galaxia. De hecho, se ha utilizado de forma muy conveniente la combinación de datos propios, más profundos,

con los catálogos públicos, que ofrecen una mayor cobertura espacial. Debe mencionarse la incorporación de la base de datos UKIDSS a nuestros estudios.

Actualmente el trabajo observacional se centra en el estudio espectrofotométrico detallado de grupos de objetos seleccionados que permitirá avanzar en el estudio del contenido estelar específico de la Galaxia. Se pretende, además, añadir información cinemática a nuestras bases de datos para introducirnos en el estudio de la dinámica a gran escala de la Galaxia. Este trabajo es de gran importancia, en sí mismo, y en lo que significa en cuanto a la preparación de parte del programa central de observaciones de EMIR (Proyecto GALEP), en el que se participa. Adicionalmente, se está obteniendo información fotométrica más detallada de la que se dispone, con mayor resolución espacial y sensibilidad, en aquellas áreas más densamente pobladas del interior galáctico. Esta parte ha constituido el grueso de la labor del grupo en 2008.

Adicionalmente, se ha empezado una línea de caracterización dinámica de estructuras morfológicas principales en galaxias disco, en general, y en la Vía Láctea en particular. El objetivo principal de esta línea de trabajo es investigar la formación, pervivencia y evolución de grandes estructuras, estelares en principio, que se dan en el Universo local y que están asociadas gravitacionalmente.

Evolución del Proyecto

El Proyecto ha continuado su evolución durante 2007, si bien al ritmo lento que se va convirtiendo en habitual debido a las mismas circunstancias que en el año anterior. La primera, que ya se prolonga desde hace varios años, es la fuerte dedicación a proyectos relacionados con el telescopio GTC de los dos investigadores más veteranos del grupo: P. Hammersley es científico asociado de GTC, y muy involucrado en el comisionado del mismo y de su instrumentación de primera luz, aspecto que ha merecido toda su atención durante 2008 cuando se ha desarrollado el grueso de la tarea. F. Garzón es IP de EMIR, el espectrógrafo infrarrojo multiobjeto de GTC, que ha pasado un año muy intenso durante 2008, entre ensayos de verificación y funcionalidad y el ensamblado y verificación, bien vía contratos o en el IAC, de la mayoría de sus sistemas. C. González comparte su dedicación al Proyecto con un trabajo intenso dentro del grupo instrumental EMIR, donde está encargado de realizar la calibración del detector y pruebas del sistema de lectura, además de ser miembro del grupo de Astronomía y participar en labores de AIV. Además, los tres

citados son miembros del grupo de Astronomía de EMIR (Cogollo) que ha trabajado en muchos frentes en 2008, lo que se va a prolongar hasta la entrega del instrumento a la comunidad de usuarios, definiendo y controlando el correcto funcionamiento de EMIR desde el punto de vista astronómico. Tras la defensa de su tesis, A. Cabrera es miembro del equipo de astrónomos de soporte del telescopio GTC, con lo que su dedicación al Proyecto ha disminuido sustancialmente.

Sin embargo, se ha avanzado en la consecución de los objetivos propuestos, que se describen en el resto del informe. Se ha continuado con la explotación de la base de datos TCS–CAIN, calibrada fotométrica y astrométricamente, completada con UKIDSS. Se ha completado la descripción global del proyecto observacional y sus características principales, y se ha continuado con la explotación científica del mismo lo que ha dado lugar a varias publicaciones durante 2008. El proyecto sigue centrado, desde el punto de vista observacional, en dos aspectos: de un lado, complementar el cartografiado CAIN con imágenes más profundas y con mejor resolución espacial, utilizando la cámara NOTCAM. De otro, la caracterización espectrofotométrica de fuentes en el interior galáctico constituye la base del Proyecto GALEP, que formará parte del programa central de EMIR, y cuyo trabajo preparatorio se lleva a cabo con los medios observacionales disponibles actualmente, fundamentalmente LIRIS y NICS.

En este último apartado, cabe destacar el trabajo en el campo de la variación de metalicidades estelares en la zona interna de la Galaxia, que se ha publicado ya, y espera alcance un mayor desarrollo a lo largo de 2009.

EVOLUCIÓN DE GALAXIAS EN CÚMULOS (3I2404)

J.A. López Aguerri, C. Muñoz-Tuñón, R. Sánchez Janssen, I. Martínez Valpuesta, R. Barrena Delgado, J. Méndez Abreu, R. Sánchez Janssen e I. Martínez Valpuesta.

J.M. Vílchez, M. Moles Villamate, J. Iglesias Páramo, D. Cristobal Hornillos (IAA Granada); B. Ascaso Anglés (Univ. de California, EEUU); M. Membrado (Univ. de Zaragoza); C. González García (Univ. Autónoma de Madrid); M. Arnaboldi, R. Sánchez Janssen (ESO, Alemania); O. Gerhard (MPIA, Alemania); V. Debattista (Reino Unido); E.M. Corsini (Univ. de Padua, Italia); L. Athanassoula (Obs. de Marsella, Francia).

Introducción

Las galaxias pueden encontrarse aisladas, formando la llamada población de campo, o bien pueden formar parte de asociaciones de galaxias que van desde pequeños grupos hasta cúmulos y supercúmulos de galaxias muy masivos. Uno de los retos de la Astrofísica moderna es conseguir una teoría que explique satisfactoriamente la evolución de las galaxias. Dicha teoría debe de explicar la relación entre la evolución galáctica y el entorno. Los cúmulos de galaxias son entornos de alta densidad donde las galaxias interaccionan unas con otras y con el potencial gravitatorio del cúmulo. Estas interacciones hacen que la evolución de dichas galaxias sea muy diferente que la de las galaxias de campo.

Es bien conocido desde las primeras observaciones de cúmulos, que las propiedades de las galaxias que se encuentran en entornos de alta densidad son diferentes de las que se encuentran aisladas. Así, la población de galaxias presentes en cúmulos está dominada por galaxias de tipo temprano, principalmente elípticas y S0. Estas galaxias residen sobre todo en las partes centrales de los cúmulos donde la densidad de galaxias es mayor y forman una familia homogénea que siguen fuertes relaciones observacionales como: plano fundamental o relación color-magnitud. Por el contrario, las galaxias de tipo tardío son menos abundantes en los cúmulos, siendo dominantes en la población de campo. Aún así no están ausentes en los cúmulos, encontrándose en las regiones más externas de los mismos, donde la densidad de galaxias no es muy alta. Además su número presenta una evolución con el redshift. Siendo más abundantes en cúmulos a alto redshift.

Estas diferencias observacionales entre las galaxias de campo y en cúmulos se conocen desde las primeras observaciones que se hicieron en cúmulos hacia mitad del siglo XX. Esto sugirió desde un principio que dichas diferencias entre galaxias de campo y cúmulos eran debidas a diferentes procesos de formación. Sin embargo, desde la aceptación general de las teorías jerárquicas como los modelos preferidos que explican la formación de estructuras, en los cuales las galaxias brillantes se forman por fusiones e interacciones, se ha puesto toda la atención en los mecanismos que pueden transformar galaxias de tipo tardío en tipo temprano.

Durante los últimos años, el desarrollo tanto de ordenadores como de herramientas de computación ha permitido simular la evolución de galaxias en cúmulos. Estas simulaciones obtienen que las galaxias evolucionan rápidamente debido a las interacciones que sufren unas con otras así como

con el potencial global del cúmulo, produciendo drásticas transformaciones morfológicas en las galaxias presentes en cúmulos. Este escenario es el que se conoce como teoría de "harassment".

Estas interacciones hacen que parte del material estelar de las galaxias sea arrancado de las mismas y quede ligado al potencial cumular formando la llamada luz difusa o luz intracumular. El estudio de la distribución de esta componente y su cinemática puede dar información directa sobre cómo se ha ensamblado la masa en los cúmulos de galaxias.

Además las interacciones de las galaxias con el medio intracumular caliente presente en los cúmulos producen que gran cantidad de gas galáctico es arrancado de los discos de las galaxias espirales, produciendo una disminución de su formación estelar. Una evidencia observacional directa de este mecanismo es la deficiencia de HI que presentan los discos de las galaxias localizadas en cúmulos frente a las de campo.

Todos estos mecanismos transforman galaxias tardías en tempranas. El objetivo principal de este Proyecto es saber cuál o cuáles de estos mecanismos de transformación galáctica es el que domina la evolución de las galaxias en cúmulos. Su determinación es difícil debido a que todos ellos actúan a la vez y lo hacen según escalas de tiempo muy diferentes. Pero hay una serie de evidencias observacionales que pueden directamente contrastadas, como son: distribución morfológica de las galaxias del cúmulo; función de luminosidad; luz difusa (cantidad y distribución). Estas son las cantidades que se quieren medir en este Proyecto para una muestra de cúmulos de galaxias cercanos.

Este Proyecto es parte de uno de mayores dimensiones titulado "Estallidos de formación estelar", el cual tiene financiación del Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica durante el trienio 2008-2010. Estallidos es un Proyecto coordinado cuya coordinación está al cargo de C. Muñoz-Tuñón, y que cuenta con la participación de un amplio grupo de investigadores nacionales e internacionales. Dentro de España son cinco las instituciones que cuentan con investigadores dentro del grupo ESTALLIDOS: IAC, IAA, LAEFF, UAM y CIEMAT. El Proyecto se estructura en varios subproyectos, uno de los cuales tiene como fin el estudio de la influencia del entorno en la formación estelar galáctica, siendo aquí donde se encaja el presente Proyecto.

Algunos resultados relevantes

El primer bulbo de tipo BOXY/PEANUT detectado en una galaxia de cara

Un 25% de la luz visible es emitida por estrellas que se encuentran en los bulbos de las galaxias

cercanas. Entender como se forman los bulbos es de vital importancia para el desarrollo de una teoría que explique la formación y evolución de las galaxias. Los procesos de formación de bulbos son aún hoy en día objeto de un intenso debate. Por una parte, las fusión de galaxias enanas se han sugerido como el principal mecanismo para la formación de bulbos. Los bulbos formados mediante estos procesos son llamados clásicos. Alternativamente, los bulbos se pueden también formar mediante procesos seculares internos de las galaxias. Las barras presentes en la mayoría de los discos se han sugerido como causantes de la formación de estos bulbos llamados de tipo BOXY/PEANUT. Hasta ahora este tipo de bulbos se habían encontrado sólo en galaxias vistas de canto. Recientemente, se propuso un método cinemático para identificar este tipo de bulbos en galaxias vistas de cara. Este nuevo método permite estudiar de manera directa la conexión entre los bulbos tipo BOXY y las barras, así como estudiar las propiedades de las barras que los causan. Durante 2008 se presentaron los resultados de la espectroscopia de alta resolución de tres galaxias de cara, NGC98, NGC600 y NGC1073. Estas observaciones se realizaron en el telescopio VLT con el fin de buscar bulbos tipo BOXY/PEANUT. Los resultados presentados confirman, por vez primera, la predicción de que se pueden reconocer este tipo de bulbos en galaxias de cara mediante la observación de un doble mínimo en el perfil del momento h_4 de la distribución de velocidad a lo largo de la línea de visión (LOSVD). Una de las galaxias barradas (NGC98) mostró uno de estos dobles mínimos como predicen los modelos de N-cuerpos. Por el contrario, otra galaxia barrada de la muestra (NGC600) no presentó este mínimo. La galaxia no barrada de control, NGC1703, tampoco presentó indicios de bulbo de tipo BOXY/PEANUT. Estos resultados fueron publicados en el artículo: Méndez-Abreu et al. 2008, *Astrophysical Journal*, 679, L73.

Propiedades de la población de galaxias enanas en cúmulos

Se presentaron las propiedades observacionales de la población de galaxias enanas ($M_r > M_r^* + 1$) correspondiente a uno de las muestras de galaxias en cúmulos más grandes de la literatura. Se observó que las galaxias enanas rojas ($u-r > 2.22$) comparten el mismo entorno en los cúmulos que los miembros más brillantes ($M_r < -21$). Sin embargo, ambos grupos de galaxias no están en equilibrio dinámico. Se calculó la razón enana-brillante (DGR) para esta muestra. Se encontró que la razón DGR varía con la distancia al centro del cúmulo, esencialmente debido a la variación que experimenta la población de galaxias azules ($u-r < 2.22$). El color $u-r$ de las galaxias enanas rojas se encontró que era independiente de su entorno y similar al color de

galaxias del mismo tipo que viven en entornos de galaxias menos densos. Las galaxias enanas azules localizadas fuera del radio virial de los cúmulos muestran también colores u-r similares a las de campo. Esta población de galaxias sufre un enrojecimiento grande cuando se localizan hacia el centro del cúmulo. Además se encontró que la fracción de galaxias rojas es mayor cuando nos acercamos al centro de los cúmulos. Estos resultados indican que la presencia de galaxias enanas rojas en las regiones centrales de los cúmulos podría estar relacionada con la evolución de las galaxias enanas azules observadas en cúmulos a alto desplazamiento al rojo. Estos resultados fueron publicados en el artículo Sánchez-Janssen et al. 2008, *Astrophysical Journal*, 679, L77.

Evolución del Proyecto

Durante el año 2008 se han investigado los siguientes aspectos referentes al estudio de las galaxias en cúmulos:

Galaxias enanas

Las galaxias enanas son objetos que tienen magnitudes más débiles que $M_B = -18.0$. Atendiendo a su color se dividen en dos grandes familias de galaxias: enanas tempranas y tardías. Las galaxias enanas tempranas son galaxias que presentan una población estelar roja y se encuentran principalmente localizadas en los entornos de alta densidad, siendo el tipo de galaxia más numeroso de los mismos. Su estudio es de vital importancia ya que en una cosmología de tipo jerárquico las fusiones de galaxias enanas darían lugar a galaxias más brillantes. Además, su poca masa hace que sufran las interacciones gravitatorias e hidrodinámicas que se producen en los cúmulos de una forma más acentuada que las demás.

El origen de las galaxias enanas es hoy en día un tema de debate abierto. El escenario clásico propone que las galaxias enanas se forman debido al colapso gravitatorio de fluctuaciones de densidad primordiales. Una vez que las primeras estrellas han sido formadas, los mecanismos de retroalimentación son los responsables de la formación de la siguiente generación de estrellas o incluso de cambiar la estructura de las galaxias. Este escenario está avalado por varias relaciones observacionales sobre estructura y color que hacen que las galaxias enanas tempranas y las elípticas brillantes formen una familia continua de objetos. Sin embargo, hay también evidencias observacionales contrarias a este origen primordial de las galaxias enanas. Se pueden mencionar entre otras: la gran dispersión de metalicidades presentes en este tipo de objetos; la diferencia en la pendiente

a bajas luminosidades de las funciones de luminosidad de galaxias en cúmulos y en campo; o la variación del cociente enana/brillante en función de la distancia al centro de los cúmulos. Durante el año 2008 se han estudiado las propiedades globales de las galaxias enanas en cúmulos, así como las propiedades que deberían de tener este tipo de galaxias si fueran producto de galaxias brillantes que han perdido masa debido a interacciones gravitatorias.

Propiedades globales de galaxias enanas en cúmulos

Los grandes cartografiados públicos de galaxias hacen posible el estudio de propiedades globales de galaxias en entornos de muy diferente densidad. Utilizando los datos públicos del cartografiado Sloan Digital Sky Survey (SDSS) se han estudiado las propiedades globales de una de las muestras de galaxias más grandes de la literatura localizadas en entornos de alta densidad galáctica. El catálogo que disponemos consta de datos de 89 cúmulos aislados de galaxias cartografiados todos ellos hasta 2 veces su radio virial, resultando una muestra total de ~ 7.000 galaxias. Durante el año 2007 se estudiaron las propiedades globales de esta muestra de galaxias resultado una publicación (Aguerri et al. 2007). Durante el 2008 nos centramos en las propiedades de las galaxias enanas de esta muestra. Los resultados se han publicado en Sánchez-Janssen et al. 2008, *Astrophysical Journal*, 679, L77. En particular se han estudiado las propiedades de las galaxias enanas ($M_r > M_r^* + 1$) correspondientes a esta muestra de cúmulos seleccionada del catálogo SDSS. Se observó que las galaxias enanas rojas ($u-r > 2.22$) comparten el mismo entorno cumular que las galaxias más brillantes de los cúmulos ($M_r < -21.0$), pero estas dos familias de objetos no están en equilibrio dinámico. Se ha calculado la fracción enana/brillante para esta muestra de galaxias. Dicha fracción varía con la distancia al centro del cúmulo, esencialmente debido a la población de galaxias enanas azules ($u-r < 2.22$). También se investigó la dependencia del color u-r de las galaxias enanas con el entorno. Se encontró que las galaxias enanas azules localizadas fuera del radio virial de los cúmulos, muestran colores similares a los de galaxias del mismo tipo, pero aisladas. Sin embargo, se observó un gran enrojecimiento en los colores de estas galaxias hacia el centro del cúmulo. Además, se mostró que la fracción de galaxias rojas es mayor que la de azules en las regiones centrales de los cúmulos.

Se ha discutido sobre los posibles orígenes de las enanas que pudieran explicar estas propiedades observacionales. Así, pudiera ser que estas enanas fueran galaxias primordiales. Sin embargo, es difícil

explicar cómo han sobrevivido estas galaxias tanto tiempo en las partes centrales de los cúmulos debido a las grandes interacciones que sufren las galaxias en los mismos. Otra posibilidad sería que la gran mayoría de las galaxias enanas de tipo temprano vinieran de galaxias brillantes espirales que han perdido masa y se han transformado en enanas. Si este fuera el mecanismo de formación mayoritario, deberíamos observar la masa perdida en el cúmulo. Sin embargo, los estudios realizados por el grupo en luz difusa en Virgo obtuvieron que la luz difusa es una componente que esta concentrada y relacionada con la formación de los halos extensos de las galaxias más brillantes de los cúmulos. Como alternativa queda que las galaxias enanas rojas que vemos en los centros de los cúmulos cercanos podrían ser consecuencia de un enrojecimiento de galaxias enanas azules presentes en los cúmulos a alto desplazamiento al rojo. Siendo el mecanismo de «ram pressure stripping» el que podría explicar esta transformación.

Propiedades de las galaxias enanas producidas por interacciones de marea en cúmulo

Imágenes profundas de cúmulos cercanos de galaxias muestran la presencia de arcos y colas de marea de muy bajo brillo superficial. Estas estructuras indican que ha habido galaxias que han perdido masa debido a intensas interacciones gravitacionales. Algunas de las galaxias enanas que vemos hay en día en los cúmulos podrían haberse formado a partir de galaxias más brillantes que han perdido masa. ¿Se puede saber qué galaxias enanas son las que se han formado mediante este mecanismo?. Para responder a esta pregunta se han estudiado las propiedades estructurales y dinámicas que deberían presentar estas galaxias enanas producidas mediante este tipo de mecanismo. Para este estudio se realizaron simulaciones numéricas de N-cuerpos de alta resolución. Dichas simulaciones se ejecutaron en el ordenador Beowulf del IAC, y los superordenadores Mare Nostrum y de La Palma pertenecientes estos dos últimos al Centro Nacional de Supercomputación (BSC). Las simulaciones modelan varias interacciones gravitatorias rápidas similares a las que puede sufrir una galaxia disco con diferentes relaciones de masa bulbo-disco en entornos de alta densidad de galaxias.

Los modelos realizados muestran que las interacciones gravitatorias son mecanismos muy eficientes para arrancar masa de las partes externas de las galaxias. Las partículas del disco y del halo de las galaxias son severamente truncadas, mientras que las de los bulbos no. Así, las escalas de los discos (h) resultaron ser un 40-50% más

pequeñas tras las interacciones de marea. Esto confirma resultados que obtuvo el grupo para las galaxias espirales de Coma (Aguerri et al. 2004, 2005). Además, las interacciones de marea directas crearon estructuras tipo barra en los discos de las galaxias que son estables hasta el final de las simulaciones. Estas barras presentan un cociente $r_{bar}/h > 2$, siendo mayores que los que presentan galaxias brillantes aisladas. Además este tipo de galaxias se localizan fuera de la posición de las galaxias disco brillantes en el plano $\log(n)-\log(re/h)$. La formación de galaxias enanas mediante la pérdida de masa de galaxias brillantes puede también explicar la posición que ocupan las galaxias enanas en el plano fundamental visto de cara. Así, galaxias enanas resultantes de interacciones con razones B/D grandes se localizan cerca de la posición que ocupan las galaxias E y los bulbos de galaxias tempranas en el plano fundamental visto de cara. Sin embargo, galaxias con razones B/D iniciales pequeñas se localizan finalmente en la región ocupada por las galaxias enanas.

Se propone que para buscar este tipo de galaxias entre las galaxias enanas presentes en cúmulos están deberían ser: galaxias enanas barradas; presentar cocientes $r_{bar}/h > 2$ y estar en una zona disjunta en el plano $\log(n)-\log(re/h)$ respecto a las galaxias brillantes espirales.

Galaxias enanas barradas

Como se ha visto anteriormente algunas de las galaxias enanas que se producen mediante ruptura de galaxias más masivas por interacciones de marea tienen barras en sus discos. Estas estructuras barradas tienen unas características estructurales muy concretas que se pueden medir y ayudarnos a determinar el origen de estos objetos. El tamaño reducido de las galaxias enanas ($re \sim 1$ kpc) y por consiguiente de sus barras hacen que se necesiten imágenes de muy alta resolución para poder estudiar estas estructuras. Esto es posible mediante observaciones terrestres para las galaxias barradas del cúmulo de Virgo situado a una distancia de 15 Mpc. Como en todos los cúmulos, las galaxias enanas son las que dominan la población de galaxias en este cúmulo, sin embargo el número de galaxias enanas barradas que se conoce hasta ahora no es muy alto (~ 10 galaxias). Durante el 2008 se ha iniciado una campaña de observación en los telescopios NOT del ORM y 3.5 m de Calar Alto para obtener imágenes fotométricas profundas y espectroscopia 3D de las galaxias enanas barradas que se conocen en el cúmulo de Virgo. Este trabajo pretende hacer un estudio sobre las propiedades fotométricas y dinámicas de las barras en este tipo de galaxias. Se pretende ver si las propiedades de

estas galaxias son parecidas a las que resultan de las simulaciones realizadas por nuestro grupo de galaxias enanas cuyos progenitores son galaxias brillantes.

Además, también se quiere determinar el patrón de velocidades de las barras de estas galaxias. El grupo ha realizado durante los últimos años un estudio muy amplio de patrones de velocidad en galaxias barradas brillantes. El patrón de velocidades de las galaxias se determinó mediante el método no paramétrico de Tremaine-Weinberg, derivando la razón entre el radio de corrotación y la longitud de la barra. Esta cantidad es lo que determina de manera unívoca el tipo de barra y su dinámica. Para las galaxias observadas hasta ahora, se ha obtenido que todas ellas presentan barras de tipo rápido, esto ha puesto restricciones importantes a la cantidad de materia oscura que estas galaxias presentan en sus partes centrales, estando éstas dominadas por materia bariónica. En el año 2007 se determinó el patrón de velocidades de una galaxia barrada enana del cúmulo de Virgo (Corsini et al. 2007). Se demostró que el método TW se puede aplicar también a galaxias barradas enanas pero se requiere espectroscopía de alta resolución y S/N. Este tipo de medidas es el que pretendemos seguir haciendo para la muestra de galaxias barradas enanas que tenemos en el cúmulo de Virgo utilizando espectroscopía bidimensional. Los primeros análisis realizados sobre las observaciones obtenidas en Marzo de 2008 con el instrumento PMAS de Calar Alto indican que las barras en las galaxias enanas medidas son también de tipo rápido como las observadas en galaxias brillantes. Esto nos indicaría que las galaxias enanas estarían dominadas por materia bariónica. Si este resultado se confirmara sería un resultado muy importante ya que siempre se ha supuesto que las galaxias enanas eran objetos dominados por materia oscura, lo cual debería ser explicado por los modelos cosmológicos de formación de galaxias.

Galaxias brillantes

Se ha seguido investigando determinados aspectos de la morfología de galaxias localizadas en entornos de alta densidad. En concreto se ha estudiado la influencia del entorno en la formación de barras en los discos de las galaxias brillantes y las propiedades morfológicas de una muestra de cúmulos situados a desplazamientos al rojo intermedios ($0.1 < z < 0.25$). Además, se ha comenzado un Proyecto que ha sido aprobado como ITP en el observatorio del Roque de Los Muchachos para el estudio de grupos fósiles de galaxias.

La población de galaxias barradas en el Universo local

Las barras son estructuras elipsoidales que aparecen en un gran porcentaje de discos de galaxias brillantes. Los cartografiados de galaxias actuales permiten estudiar las propiedades de las barras y correlarlas con las de las galaxias anfitrionas para una muestra estadísticamente significativa de objetos. Usando el cartografiado SDSS se ha seleccionado una muestra de 2.106 galaxias disco para las cuales se estudian tanto la fracción de barras, como su longitud y fuerza como función de la morfología, tamaño, entorno, concentración central de luz y color de las galaxias anfitrionas. Las barras fueron detectadas mediante la búsqueda de máximos locales en los perfiles radiales de elipticidad de las isofotas de las galaxias. Estos métodos fueron calibrados mediante simulaciones de Monte-Carlo de galaxias artificiales similares a las observadas. La fracción de barras resultante fue del 45%, se encontró una barra en el 29% de las galaxias lenticulares, el 55% y 54% de las galaxias espirales de tipo temprano y tardío, respectivamente. Las barras presentes en galaxias espirales de tipo tardío resultaron ser más cortas que las que se encontraron en galaxias de tipo temprano o lenticulares. Además se encontró una correlación entre la longitud de las barras y el tamaño de las galaxias. Las barras de galaxias lenticulares resultaron ser más débiles que las presentes en espirales. Además, la distribución unimodal de la fuerza de las barras apunta contra la transición rápida entre galaxias barradas y no barradas. Se encontró una diferencia significativa entre la concentración central de luz y el color de galaxias barradas y no barradas. Las barras se encontraron en galaxias menos concentradas y más azules. Además, no se encontraron diferencias entre la densidad local de galaxias de galaxias barradas y no barradas. Es decir, el entorno local donde viven las galaxias no es determinante en la formación de las barras. Estos resultados indican que las propiedades de las barras están fuertemente relacionadas con las de las galaxias anfitrionas, pero no dependen del entorno local.

Conexión bulbo-barra

Un 25% de la luz visible es emitida por estrellas que se encuentran en los bulbos de las galaxias cercanas. Entender cómo se forman los bulbos es de vital importancia para el desarrollo de una teoría que explique la formación y evolución de las galaxias. Los procesos de formación de bulbos son aún hoy en día objeto de un intenso debate. Por una parte, las fusión de galaxias enanas se han sugerido como el principal mecanismo para la formación de bulbos.

Los bulbos formados mediante estos procesos son llamados clásicos. Alternativamente, los bulbos se pueden también formar mediante procesos seculares internos de las galaxias. Las barras presentes en la mayoría de los discos se han sugerido como causantes de la formación de estos bulbos llamados de tipo BOXY/PEANUT. Hasta ahora este tipo de bulbos se habían encontrado sólo en galaxias vistas de canto. Esto hace que se tengan pruebas siempre indirectas de la relación entre los bulbos y las barras. Además, no se pueden relacionar las propiedades de las barras con las de los correspondientes bulbos creadas por estas. Entender esta relación entre los bulbos y las barras es importante ya que de alguna forma si esta relación existe se ligan las partes externas de las galaxias con las más internas. Una pregunta hoy día abierta en el estudio de galaxias es saber cómo es esta relación. Recientemente, se propuso un método cinemático para identificar este tipo de bulbos en galaxias vistas de cara. Este nuevo método permite estudiar de manera directa la conexión entre los bulbos tipo BOXY y las barras. Así, como estudiar las propiedades de las barras que los causan. Durante 2008 se presentaron los resultados de la espectroscopia de alta resolución de tres galaxias de cara, NGC98, NGC600 y NGC1073. Estas observaciones se realizaron en el telescopio VLT con el fin de buscar bulbos tipo BOXY/PEANUT. Los resultados presentados confirman, por vez primera, la predicción de que se pueden reconocer este tipo de bulbos en galaxias de cara mediante la observación de un doble mínimo en el perfil del momento h_4 de la distribución de velocidad a lo largo de la línea de visión (LOSVD). Una de las galaxias barradas (NGC98) mostró uno de estos dobles mínimos como predicen los modelos de N-cuerpos. Por el contrario, otra galaxia barrada de la muestra (NGC600) no presentó este mínimo. La galaxia no barrada de control, NGC 1703, tampoco presentó indicios de bulbo de tipo BOXY/PEANUT. Estos resultados fueron publicados en el artículo: Méndez-Abreu et al. 2008, *Astrophysical Journal*, 679, L73.

rango de redshift que no está muy bien estudiado en la literatura, siendo de particular interés para el entendimiento de la formación y evolución de galaxias en cúmulos. Se han estudiado los diagramas color-magnitud, fracción de galaxias azules y morfología visual de las galaxias brillantes de estos cúmulos. Se encontró que no había signos de evolución ni en la pendiente, ni en la fracción de galaxias azules respecto a cúmulos de galaxias situados a bajo z . En lo que se refiere a la morfología, se encontró que 2/5 cúmulos estaban dominados por galaxias de tipo tardío. Estos datos soportan la hipótesis de que tanto la morfología como el contenido estelar de las galaxias situadas en cúmulos a $z \sim 0.2$ son similares a la población de galaxias próximas que residen en entornos de alta densidad. Los resultados de este trabajo se publicaron en el artículo: Ascaso et al., 2008, *Astronomy & Astrophysics*, 487, 453.

Las galaxias más brillantes del Universo: grupos fósiles

Las teorías cosmológicas modernas de formación de galaxias muestran que los halos virializados de materia oscura crecen de manera jerárquica mediante las fusiones de halos virializados menores. Las galaxias que pueblan estos halos también crecen jerárquicamente por las fusiones de galaxias preexistentes. En este contexto, los grupos de galaxias, debido a su baja dispersión de velocidades, son los entornos donde serían habituales las fusiones de galaxias. Si estas fusiones son tan habituales, sería posible encontrar sistemas para los cuales sus galaxias se han fusionado para formar una galaxia elíptica masiva. A estos sistemas se les llama grupos fósiles.

La primera identificación de uno de tales grupos se realizó a mitad de la década de los años 90. Inicialmente se pensó que eran objetos raros en el Universo. Sin embargo, ahora se sabe que estos grupos fósiles son tan comunes como los grupos pobres y los cúmulos de ricos de galaxias juntos. Desde el punto de vista observacional, los grupos fósiles se caracterizan por la presencia de una galaxia central muy luminosa, siendo al menos 2 magnitudes más débil la siguiente galaxia en luminosidad presente en el grupo. Además presentan una emisión extensa y brillante en rayos-X. Este tipo de grupos de galaxias son escenarios únicos para el estudio del ensamblado de masa en galaxias. Así como las relaciones entre los bariones y sus halos oscuros.

Observacionalmente se conoce poco sobre las propiedades de estos grupos. Esto es debido, principalmente, a la falta de candidatos hasta hace relativamente poco tiempo. La situación cambió a finales del 2007 cuando se publicó un catálogo de

Propiedades de galaxias en cúmulos a z intermedio

58 Durante el año 2008 se ha comenzado a expandir la muestra de cúmulos hacia mayores desplazamientos al rojo. Esta ampliación de la muestra permitirá entender en años posteriores cómo evolucionan con el tiempo las propiedades de las galaxias que observamos en cúmulos cercanos. Para ello comenzamos por analizar las propiedades de las galaxias de una muestra de cúmulos situados en el rango $0.15 < z < 0.25$. Así, usando datos de 5 cúmulos en ese rango de desplazamiento al rojo observados en el telescopio NOT bajo muy buenas condiciones de seeing, se ha estudiado su población de galaxias brillantes. Estos cúmulos presentan un

34 grupos fósiles a partir de los datos del cartografiado SDSS. Durante 2008 se presentó una propuesta de tiempo internacional (ITP) para el Observatorio del Roque de los Muchachos con el fin de llevar a cabo un estudio sistemático, multifrecuencia de una muestra grande de grupos fósiles. Los objetivos principales de esta propuesta son: caracterizar las propiedades de sus galaxias más brillantes, estudiar la abundancia de galaxias satélites, analizar la presencia de luz difusa extensa y estudiar la dinámica interna de los grupos. Este Proyecto fue aprobado como ITP y se le concedieron 25 noches de observación durante los semestres 2008B y 2009A. Se han realizado las observaciones correspondientes al primer semestre en las cuales se han obtenido datos completos para 3 de los grupos. Durante 2009 se completarán las observaciones de dicho ITP.

Dinámica de cúmulos a $0.1 < z < 0.3$ con emisión difusa en radio y rayos X

En el escenario de acrecimiento jerárquico de formación de cúmulos a partir de la estructura a gran escala, los choques entre cúmulos son un ingrediente esencial. Uno de los aspectos más recientes en la fenomenología de estos choques es la posible conexión entre ellos y la presencia de emisión difusa en rayos X y radio-halos. De hecho, el estudio de muchos choques entre cúmulos sugiere que estos eventos pudieran producir la energía necesaria para provocar una aceleración de los electrones del gas intergaláctico dentro del campo magnético del cúmulo, los cuales emitirían radiación sincrotrón. Sin embargo, todavía hoy se debate sobre el origen de los radio-halos. Los radio-halos son muy poco comunes y sólo recientemente han podido ser estudiados gracias a que han podido ser detectados unas pocas decenas en cúmulos a $z \sim 0.3$.

Las observaciones en el visible, tanto fotométricas como espectroscópicas, son una potente herramienta para investigar la presencia de subestructuras en colisión. El análisis espacial y cinemático de los miembros del cúmulo permite detectar y medir la mayoría de las subestructuras (en colisión o remanentes post-choque). Esta información es complementaria a la información en rayos X dado que el gas y las galaxias reaccionan a diferentes escalas de tiempo durante el choque. Por un lado, la fotometría de los miembros del cúmulo proporciona información sobre funciones de luminosidad, segregación morfológica, efecto Butcher-Oemler, perfiles de densidad, riqueza, proporción de galaxias azules frente a rojas, etc.; por otro, la espectroscopia multiobjeto da información sobre la cinemática y dinámica del sistema y masas de las componentes involucradas en el choque.

Para estudiar la interconexión entre subestructura en cúmulos y emisión difusa en radio y rayos X, en 2003 se comenzó con un programa observacional cuyos objetivos eran cúmulos Abell a redshift $0.1 < z < 0.3$ con indicios de presencia de tales emisiones. Así, en abril de 2003 observamos espectroscópicamente y fotométricamente el cúmulo A2219 en el telescopio TNG, donde encontramos fuertes evidencias de que el cúmulo se encuentra en estado de choque. En diciembre de 2004, tuvimos la oportunidad de observar A115, A773 y A697. También en estos casos identificamos varias subestructuras responsables de la fuerte emisión X y radio. Y en campañas de observación recientes se han estudiado los cúmulos A610, A725, A796, A520, A959 y A1240. Todos ellos presentan signos inequívocos que demuestran la interconexión entre la emisión en radio y la presencia de choques entre subestructuras internas. En 2008, se publicaron varios artículos al respecto: Girardi et al. 2008, *Astronomy & Astrophysics*, 491, 379; Boschin et al. 2008, *Astronomy & Astrophysics*, 487, 33.

En vista de los resultados obtenidos es preciso aumentar la estadística de cúmulos. Por ello, durante el 2009 observaremos y analizaremos otros cúmulos, entre ellos, A2345, A1995, A1753. Las observaciones espectroscópicas se realizarán en el telescopio TNG, como en campañas anteriores, ya que este telescopio es uno de los pocos que dispone de un espectrógrafo multiobjeto capaz de alcanzar las magnitudes típicas de las galaxias miembro ($R \sim 20$).

CENTROS DE GALAXIAS A ESCALAS DE PARSECS Y TÉCNICAS DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL (3I2106)

A.M. Prieto Escudero.

C.A. Álvarez Iglesias, J.A. Acosta Pulido, M. Orienti, J.A. Fernández Ontiveros, M. Montes Aquiles, F. Müller, A. Marín Franch y C. Martínez Roger.

Colaboradores del IAC: B. Femenía Castella, J.J. Díaz García, F.J. Fuentes Gandía, J.M. Pérez Menor, P. López Ramos, J. Patrón Recio y F. Gago Rodríguez.

G. Bruneti, K.-H. Mack (CNRS, Bolonia, Italia); J. Reunanen (Obs. de Tuorla, Finlandia); I. Agudo, I. Márquez y J. Masegosa (IAA, Granada); O. González Martín (Univ. de Leicester, Reino Unido); G. Weigelt, S. Honig, K. Tristram (Inst. Max Planck, Bonn, Alemania); N. Haering, R. Siebenmorgen (ESO, Alemania); A. Rodríguez-Ardila (LNA, Brasil); G. Portilla (Univ. de Bogotá, Colombia).

Introducción

Este Proyecto esta enfocado al estudio en el IR del núcleo de las galaxias más cercanas con resoluciones espaciales en el rango de 1 a 10 pc. Estas resoluciones espaciales, accesibles con los grandes telescopios en tierra usando técnicas frontera de observación, son por primera vez comparables a las que se obtienen rutinariamente con el telescopio HST en el óptico y VLBA en radio. La ventaja adicional de realizar el estudio propuesto en el IR es que la extinción por polvo en el IR es 10 mag menos que en el óptico.

Los objetivos de este Proyecto son:

- Desarrollar un grupo fuerte en el IAC especializado en técnicas de alta resolución espacial en el IR, tales como Adaptive Optics, Laser-guide Star, Speckle and Optical Interferometry. Para ello, este equipo esta involucrado en el desarrollo del primer instrumento de Óptica Adaptativa para el telescopio GTC, Frida.

- Utilizar estas técnicas para el estudio de centros de galaxias, y sus manifestaciones energéticas, con resoluciones espaciales por debajo de 100mas. Para ello, el equipo dispone de dos grandes programas de observación ya establecidos, cuyos objetivos científicos son los siguientes:

Proyecto PARSEC: Estudio del centro de galaxias: extracción del espectro nuclear de las galaxias más cercanas y brillantes accesibles desde el Hemisferio Sur, utilizando por primera vez datos de resolución espacial comparable: radio con VLBI, IR con Óptica Adaptativa e Interferometría Óptica, y óptico con HST. El estudio se basa en la explotación del programa "PARSEC" (The Central Parsec of Galaxies) establecido por A. Prieto en 2003. Esta basado en la explotación de instrumentos de alta resolución espacial existentes en ESO

Proyecto PAIS: Manifestaciones energéticas en núcleos de galaxias: estudio de jets y hot-spots. El programa explora los procesos físicos que dan lugar a emisión óptica en jets y hot-spots, usando datos con alta resolución espacial procedentes de los telescopios VLA, HST y VLT. Este estudio está basado en el programa "Particle Accelerators in Space (PAIS)", establecido por A. Prieto y K.H. Mack en 2002.

Algunos resultados relevantes

Proyecto "Frida y después: ciencia con alta resolución espacial en la época de los telescopios gigantes". El PDR de Frida fue aprobado por GRANTECAN S.A. en marzo 2008.

Proyecto PARSEC

El núcleo de la galaxia de formación estelar más cercana en el Hemisferio Sur, NGC253, se ha estudiado a escalas de 0.13" utilizando técnicas de Óptica Adaptativa en el telescopio VLT. Las observaciones realizadas en el IR revelan por vez primera un gran número de regiones de formación estelar, hasta ahora desconocidas debido al polvo en el que están sumergidas. El centro de esta galaxia parece además albergar un objeto de características similares al centro de nuestra Galaxia, Sagittarius A*. Los resultados forman parte de la tesis doctoral de J.A. Fernández-Ontiveros.

Dentro de un estudio de varias galaxias con núcleos tipo Seyfert llevado a cabo en el rango infrarrojo cercano se observó Mrk 573. Las observaciones se llevaron a cabo usando el espectrógrafo LIRIS en el rango de 0.88 a 1.35 micras. Gracias a la alta calidad de los espectros se pudo detectar emisión en ciertas líneas permitidas de OI y FeII, así como una componente ancha en la línea Pa β . Este descubrimiento conduzo a la reclasificación del núcleo de Mrk 573 dentro de la categoría Seyfert de tipo 1 oscurecido y con líneas de emisión estrechas. Se trata de un tipo peculiar de objetos dentro del cual sólo se incluyen 4 galaxias. Este trabajo fue publicado en Ramos-Almeida, Pérez-García, Acosta-Pulido, González-Martín, 2008 (*Astrophysical Journal* 680, L17).

Dentro del mismo estudio llevado a cabo con LIRIS se incluyó la galaxia NGC7465 y se reveló por primera vez que tiene características de LINER tipo 1 (con líneas permitidas anchas) según su espectro infrarrojo.

Evolución del Proyecto

Proyecto "Frida y después: ciencia con alta resolución espacial en la época de los telescopios gigantes".

Los miembros del equipo de investigación, A. Prieto, A. Marín, J. Acosta, J. Reunanen y C. Álvarez, C. Martínez, F. Muller participan en aspectos técnicos y planificación científica del instrumento.

El PDR de Frida fue aprobado por GRANTECAN S.A. en marzo 2008.

Los prototipos para la rueda del colimador, rueda de gratings, y criostato de pruebas se han desarrollado por la Univ. de México y la empresa CIDESI. Se finalizaron en el mes de septiembre de 2008, y se encuentran en la actualidad en fase de testado.

Se continúa en la optimización del diseño óptico (S. Cuevas, México).

Se ha preparado el primer borrador sobre el plan de commissioning y calibración de Frida (J. Acosta).

Se ha participado en tres reuniones sobre instrumentación con Óptica Adaptativa en ESO (A. Prieto).

Proyecto PARSEC

Se continúa en el análisis multiwavelength, a escalas espaciales por debajo de medio segundo de arco, de los núcleos de las galaxias más cercanas y conocidas, localizadas en el Hemisferio Sur: Cen A, Circinus, N1097, N1068, N253, M87, N1052, N1386, N7582, N7469, N3783, MCg5-23-16, etc.

Se ha concluido el análisis de los datos radio de alta resolución espacial, obtenidos con VLA y configuración A, de las galaxias bajo estudio en este Proyecto. Se ha elaborado el primer borrador del artículo para *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, el cual describe la morfología nuclear en radio, a escalas inferiores a 0.5", de estos (Oriente y Prieto).

Se ha enviado a *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* el artículo que describe las primeras imágenes de los núcleos de estas galaxias a 10 y 20 μm , a resoluciones por debajo de 0.4" (Reunanen, Prieto & Siebenmorgen).

Se continúa en la revisión final del artículo para *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* en el que se presenta la primera distribución espectral de energía de los núcleos de las galaxias de este Proyecto, a escalas de parsecs (Prieto, Reunanen, Tristram, Oriente et al.).

Se continúa la elaboración del artículo para *Astrophysical Journal* sobre el estudio estadístico de líneas coronales de una muestra de 50 galaxias Seyfert (Portilla, Ardila y Prieto).

Se ha concluido el estudio de la emisión nuclear en el rango infrarrojo cercano correspondiente a 5 galaxias Seyfert. Estas galaxias se observaron usando LIRIS en el telescopio WHT y fueron seleccionadas por presentar indicios de interacción entre el gas ionizado y el plasma radio. En los espectros se han encontrado intensas líneas de emisión de muy alta excitación, también llamadas líneas coronales, junto con otras líneas de baja ionización. Esto es una característica de gas fotoionizado por radiación muy energética. También se han encontrado líneas estelares en absorción

típicas de una población de estrellas de tipo tardío (clases K y M). Se consigue reproducir el continuo nuclear como la combinación de la emisión de un continuo estelar y un cuerpo negro contribuyendo mayoritariamente en la banda K y que se asocia a emisión de polvo caliente. Los resultados serán publicados durante el año 2009 en *Astrophysical Journal* (C. Ramos Almeida, A.M. Pérez García y J.A. Acosta Pulido).

Como una parte de el estudio se detectaron en el núcleo de Mrk573 líneas correspondientes a transiciones permitidas de los iones OI y FeII, que son características de núcleos Seyfert de tipo I con líneas de emisión estrechas, y que por otra parte no se habían detectado en el rango óptico. Esto ha permitido reclasificar la galaxia Mrk573 como un núcleo Seyfert oscurecido de tipo 1 con líneas de emisión estrechas. Solamente se conocen cinco galaxias con estas características lo cual hace muy peculiar esta clase de objetos. Este resultado fue publicado en *Astrophysical Journal* en la sección "Letters" (Ramos Almeida, Pérez-García, Acosta-Pulido y González-Martín, 2008). También se ha descubierto que la morfología de la galaxia Mrk 573 en rayos X blandos presenta una estructura bi-conica similar a los llamados conos de ionización detectados en la emisión óptica del ión [OIII]. Se espera enviar estos resultados para su publicación durante el año 2009 (O. González Martín, J.A. Acosta Pulido, A.M. Pérez García, C. Ramos Almeida).

Se ha continuado el análisis de espectros infrarrojos de una muestra de AGN - LINERs con ESO- NTT-SOFI y también con ISAAC-VLT. Los datos están siendo re-analizados con el fin de mejorar la corrección de absorción atmosférica, que afecta alguna de las líneas de emisión que se quieren medir. Por otra parte se están investigando técnicas para extraer la emisión nuclear y descontaminarla de la emisión del resto de la galaxia, con el fin de poder detectar líneas de emisión débiles que puedan aportar indicios de actividad nuclear no estelar (O. González Martín, I. Márquez y J. Masegosa y J. Acosta-Pulido).

Proyecto PAIS

Se continúa en el análisis multiwavelength de hot spots en radio galaxias.

Se ha publicado en *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* un artículo describiendo los datos multiwavelength de la muestra de hot spots bajo estudio (Mack, Prieto, Brunetti & Oriente).

Se finaliza un artículo para *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* sobre el estudio detallado aquellos hot-spots con la mayor extensión espacial conocida (Oriente, Prieto, Brunetti, Mack, et al.).

CORRIENTES ESTELARES DE MAREA EN LA VÍA LÁCTEA (3I2306)

D. Martínez Delgado.

A. Sollima, J.R. Fliri y J.A. Carballo Bello.

E.J. Alfaro (IAA-CSIC, España), H.-W. Rix (MPIA, Alemania); B. Carney (Univ. Carolina del Norte, EEUU); M. Juric (Princeton, EEUU); S.R. Majewski (Univ. de Virginia, EEUU), M. Mateo (Univ. de Michigan, EEUU); J. Peñarrubia (Univ. de Victoria, Canadá); D. Zucker (IoA, Reino Unido), David Valls-Gabaud (Obs. de Meudon, Francia); A. Aloisi (Space Telescope Science Inst., EEUU); M. Pohlen (Univ. de Cardiff, Reino Unido), N. Martin (MPIA, Alemania); M.A. Gómez-Flechoso (Univ. Autónoma de Madrid); R. Jay Gabany (Black Bird Obs., Nuevo México, EEUU).

Introducción

La teoría cosmológica de la Materia Oscura Fría (*Cold Dark Matter*) predice que los halos de las galaxias más masivas similares a la Vía Láctea se formaron a partir de la destrucción por marea y posterior aglutinamiento de un gran número de fragmentos de baja masa similares a las galaxias enanas. Los restos de estas galaxias satélites pueden observarse en la actualidad en forma de corrientes de marea gigantesca o subestructuras estelares en torno a las galaxias espirales mayores. El descubrimiento de estas corrientes de marea en las galaxias espirales de nuestro entorno ofrece una oportunidad única para estudiar estos procesos de fusión con una resolución sin precedentes, a partir de la lectura de los fósiles de su evolución dinámica escritos en la distribución espacial, cinemática y abundancias químicas de sus estrellas resueltas.

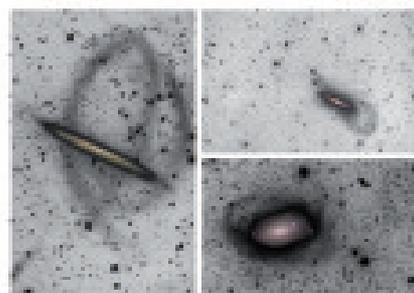
Este Proyecto está dedicado al estudio de los restos de marea asociados a los procesos de fusión de galaxias enanas con la Vía Láctea y otras galaxias espirales cercanas. Sus principales objetivos son la caracterización de las dos corrientes de marea mayores conocidas (Sagitario y Monoceros), la búsqueda de nuevas subestructuras en los halos de las galaxias espirales del Universo Local. El análisis de estas corrientes, apoyado con simulaciones teóricas de N-cuerpos realistas, proporcionará importante información acerca de la historia dinámica de sus galaxias progenitoras, su impacto en la evolución química de nuestra Galaxia, el papel de estos procesos de fusión en la formación de las componentes de las galaxias espirales (halo, disco grueso) y la distribución de materia oscura en estos sistemas. Por último, el censo de corrientes

de marea de la Vía Láctea propuesto en este Proyecto permitirá comparar directamente el grado de subestructura estelar encontrado en el halo externo con las predicciones de las simulaciones cosmológicas de la formación jerarquizada de nuestra Galaxia, estableciendo una conexión directa entre los estudios de la estructura Galáctica y la Cosmología.

Algunos resultados relevantes

Se ha observado por primera vez los distintos tipos morfológicos de corrientes de marea en los halos de galaxias espirales cercanas. La morfología de estas estructuras está en excelente acuerdo con las predicciones de los modelos cosmológicos y sugieren una gran variedad de tiempos de acrecimiento y tipos orbitales de las galaxias enanas progenitoras de las corrientes. Esta información es fundamental para la comprensión del ensamblaje de galaxias como la Vía Láctea y para corroborar la validez de los modelos de formación jerarquizada de galaxias que emergen del paradigma del modelo cosmológico de la materia oscura fría.

Se han descubierto corrientes de marea alrededor de 4 galaxias espirales próximas con telescopios robóticos de pequeña apertura, entre las que destacan la detección por primera vez de gigantescas estructuras en forma de "paraguas". Este resultado demuestra el grado de sub-estructura todavía presente en las galaxias espirales en el presente y nuestra capacidad para detectarlas con medios modestos.



Comparación de las morfologías observada en distintas corrientes de marea detectadas en nuestro survey con las predicciones de los modelos cosmológicos basadas en el paradigma de la materia oscura fría (Johnston et al. 2008).

Evolución del Proyecto

El desarrollo más importante del Proyecto ha sido la consolidación de la nueva línea de investigación puesta en marcha hace dos años: la detección de corrientes de marea en galaxias espirales cercanas. Esto ha sido posible gracias a la publicación en *Astrophysical Journal* de nuestros resultados de las

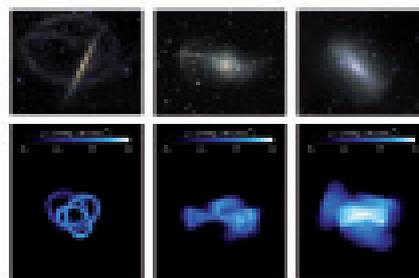
corrientes de NGC5907 y NGC4013. Las imágenes obtenidas con telescopios robóticos de 50 cm muestran con una claridad sin precedentes la estructura compleja de las corrientes de marea y demuestran que estos fósiles galácticos todavía sobreviven en los halos de las galaxias cercanas, tal como predicen los modelos cosmológicos. Estos resultados han tenido gran impacto en los medios de comunicación, apareciendo nuestras imágenes en publicaciones de divulgación científica de alto nivel en Europa y Estados Unidos (ej. *Discovery, Sky & Telescope*) y en Internet (ambas imágenes han sido *NASA Astronomical Image of the Day*). Este resultado fue también seleccionado como hito de la Reunión Científica de la SEA en Santander y dio lugar a dos notas de prensa de gran repercusión en la prensa escrita e Internet. Motivados por estos resultados, se puso en marcha en 2008 un *survey* piloto de estas estructuras en media docena galaxias cercanas descubriendo muchas más corrientes y otras estructuras difusas posiblemente relacionadas con otros procesos de evolución galáctica. Estas últimas han dado lugar a dos publicaciones sobre las galaxias M81 y M94, que se enviará a primeros de 2009.

El resultado más importante de nuestro *survey* piloto ha sido la detección por primera vez de corrientes de marea de diferentes morfologías. Estas morfologías están relacionadas con el tiempo de acrecimiento y tipo de órbita del satélite progenitor de la corriente y ofrecen una información muy valiosa sobre la validez de los escenarios de formación jerarquizada de las galaxias espirales que predicen los modelos cosmológicos. Entre ellas destaca la detección, por primera vez, de gigantescas estructuras en forma de "paraguas" en la periferia de varias galaxias, que muestran sin lugar a dudas el grado de sub-estructura todavía presente en los halos de las galaxias cercanas en la actualidad. Además, el grupo ha descubierto 4 corrientes de marea en galaxias próximas, lo que nos coloca como líderes en el estudio de estos procesos en galaxias externas. Los resultados de este *survey* piloto darán lugar a 3 publicaciones en 2009.

El desarrollo de la otra línea de investigación del Proyecto (el estudio de las corrientes de marea de la Vía Láctea) se ha visto fortalecida por la incorporación al grupo de J. Fliri (postdoc PNAYA) en abril de 2008. Su principal labor ha sido el diseño de varias pipelines para la construcción de mapas de densidad estelar de las corrientes del halo galáctico, a partir del archivo del Sloan Digital Sky Survey (Data Released 6 y 7). La gran calidad de estos nuevos mapas permite obtener la estructura de las corrientes galácticas (Sagitario, Monoceros,

Virgo, etc.) con una definición sin precedentes. Uno de los principales resultados obtenidos ha sido la detección de la corriente de marea de Sagitario a sólo 13 kpc del Sol en la dirección del anticentro galáctico, un valor mucho más bajo que el previsto por los modelos teóricos de N-cuerpos de la destrucción de Sagitario más actuales. Se ha comprobado que ninguno de los modelos dinámicos de Sagitario puede explicar la estructura compleja de esta corriente observada en estos mapas en la dirección del polo Norte Galáctico. Por este motivo, se ha iniciado una colaboración con J. Peñarrubia (IoA) para obtener una nueva generación de modelos que ajusten las nuevas observaciones de Sagitario, con el objetivo último de determinar el "achataamiento" del halo de materia oscura de nuestra Galaxia.

Por otra parte, esta serie de mapas muestran una misteriosa desconexión en la corriente conocida como "huérfana". Esta desconexión se extiende sobre una longitud proyectada de 6 grados y aparece a distancias que exceden los ~25 kiloparsecs. Si se confirma, pondría importantes ligaduras a los modelos teóricos de N-cuerpos desarrollados para esta corriente. Los mapas obtenidos también contienen muchísima información sobre la estructura del halo galáctico. En 2008 se ha iniciado una colaboración con A. Robin (Obs. de Besancon, Francia) para obtener nuevos modelos tridimensionales y semi-empíricos de la Vía Láctea y su halo. Estos modelos serán fundamentales para interpretar correctamente las sobre-densidades estelares observadas en nuestros mapas, como por ejemplo la gigantesca nube estelar de Virgo (Martínez-Delgado et al. 2007). Los resultados preliminares de este proyecto de J. Fliri han sido presentados en un congreso internacional en Alemania.



Corrientes de marea detectadas en las galaxias NGC5907, NGC4013 y Messier 63 en nuestro survey piloto de estas estructuras en galaxias enanas del Universo Local. El rango de aperturas de los telescopios usados en este Proyecto es de 10-50 cm.

Durante 2008 se ha continuado la búsqueda de restos de marea en el entorno de cúmulos globulares, como parte de la tesis de J.A. Carballo. En 2007 detectamos una enorme estructura estelar rodeando a los cúmulos globulares NGC1851 y NGC1904,

posiblemente asociada a una corriente de marea. Para estudiar su naturaleza, A. Sollima ha obtenido espectros de las estrellas asociadas a esta estructura con VIMOS en el telescopio VLT, que se encuentran en proceso de análisis. Se han detectado también nuevos restos (posiblemente asociados a Sgr) en la periferia del cúmulo Pal 13, que sugieren que este globular podría haber estado asociado a esta galaxia enana en el pasado. Estos resultados positivos, obtenidos con los telescopios INT y ESO 2.2 m, han motivado la extensión de nuestro survey a las regiones más periféricas del halo galáctico. Se ha iniciado un survey sistemático de restos de marea alrededor de todos los cúmulos globulares situados a una distancia galactocéntrica mayor que 45 kpc mediante el telescopio CFHT en Hawai, en colaboración con D. Valls-Gabaud (Obs. de Meudon, Francia). Las primeras observaciones se esperan para primeros del 2009.

POBLACIONES ESTELARES EN GALAXIAS DE TIPO TEMPRANO (3I2406)

A. Vazdekis

A. Ferré Mateu, M. Beasley, J. Falcón Barroso, A. de Lorenzo-Cáceres Rodríguez, C.M. Gutiérrez de la Cruz, I. Martínez Valpuesta, P. Sánchez Blázquez, M. López Corredoira, J.L. Cervantes Rodríguez, J. Cenarro Lagunas, M. Koleva, I. García de la Rosa, I. Trujillo Cabrera, J. Bakos y M. Balcells Comas.

N. Arimoto (NAOJ, Japón); S. Cassisi, E. Brocato (Obs. de Teramo, Italia); P. Coelho (IAP, Francia); B. Barbuy (Sao Paulo, Brasil); J. Brodie (UCO-Lick, EEUU); F. Buitrago (Univ. de Nottingham, Reino Unido); C. Chiosi, R. Tantaló (Univ. de Padua, Italia); R. Peletier (Kapteyn Inst., Países Bajos); J. González (UNAM, México); J. Gorgas, N. Cardiel, E. Toloba, E. Mármod Queraltó, A. Gil de Paz, P. Pérez-González (UCM, España); V. Quilis (Univ. de Valencia); B.K. Gibson (Univ. de Preston, Reino Unido); R. Sharples (Univ. de Durham, Reino Unido); D. Kawata (MSSL, Reino Unido); R.R. de Carvalho (INPE/DAS, Brasil); F. La Barbera (Obs. de Capodimonte, Italia); J. V. Narlikar (IUCAA, Pune, India); E. J. Lerner (Lawrenceville Plasma Physics, EEUU); J. Strader (CfA/Harvard, EEUU); L. Spitler (Swinburne Univ., Australia).

Introducción

Entender la formación y evolución de las galaxias es sin duda alguna uno de los grandes retos de la Astronomía actual. La acumulación observacional de datos de gran calidad en los últimos años

permite explorar con gran detalle las propiedades de las galaxias cercanas y con creciente precisión la naturaleza de estos objetos a $z \sim 1$. Sin embargo, a día de hoy no existe un consenso de cómo se produce la evolución desde la población de objetos lejanos hasta las galaxias actuales. La razón principal para este disenso es la intrínseca complejidad del fenómeno de la formación de las galaxias. De hecho, dentro del paradigma actual, la formación y evolución de las galaxias se entiende como resultado de una combinación compleja de agrupamientos jerárquicos, disipación de gas, fusiones y evolución secular. Mientras que la gravedad guía el ensamblaje de las estructuras cósmicas, el gas se enfría en el centro de los halos de materia oscura y forma un disco, que adquiere momento angular a través de los torques de marea producidos por las estructuras cercanas. El gas finalmente se enfría y forma estrellas. Una vez se han formado estas galaxias primigenias, se espera que las fusiones entre ellas de lugar a la población de objetos tanto espirales como elípticos que observamos en la actualidad. En función de que tipo de componente sea dominante (gas o disipativa frente a estrellas o no disipativa) durante la fusión de las galaxias el resultado de los mecanismos de fusión puede ser muy distinta.

Una historia de formación compleja, como la que se espera describa la evolución de las galaxias, necesita de un acercamiento multidisciplinar para ser entendida. Este análisis debe englobar las poblaciones estelares, la dinámica de los diferentes constituyentes de las galaxias y un estudio morfológico cuantitativo de su estructura. Para ello el grupo consta de personal con experiencia en simulaciones cosmológicas, estudios dinámicos, análisis de las poblaciones estelares y propiedades de las galaxias con desplazamiento al rojo hasta $z \sim 3$. La meta es alcanzar en los próximos años una visión consistente de la evolución de las galaxias en la última mitad de la edad del Universo.

A continuación se describen las principales líneas de investigación y objetivos generales que se acometerán en el marco de este Proyecto.

Modelos de síntesis de poblaciones estelares y metodología de análisis

La valía de los modelos de síntesis para los estudios de poblaciones estelares reside en la calidad de sus ingredientes básicos. Entre éstos cabe destacar las trazas evolutivas, con las isocronas resultantes, y las bibliotecas de espectros estelares empleadas. Hasta fechas muy recientes los modelos sólo eran capaces de predecir algunas líneas de absorción intensas a baja resolución espectral ($\text{FWHM} > 8\text{\AA}$).

Este rígido y limitado sistema de índices (conocido como Lick/IDS) no es óptimo para explotar los datos que nos ofrece la nueva generación de telescopios de la clase 8-10 m, ya que, entre otras limitaciones, se requiere degradar la resolución de los espectros observados con la consiguiente pérdida de la información contenida en los mismos.

Dentro de este grupo se desarrolló por primera vez un modelo que predice espectros completos de poblaciones estelares a resolución 1.8\AA (FWHM) en dos rangos espectrales limitados del visible, y en el infrarrojo cercano en la región del triplete del CaII alrededor de 8600\AA . Recientemente otros grupos han comenzado a desarrollar nuevos modelos de este tipo. Para hacer posible estas predicciones ha sido necesario obtener nuevas bibliotecas de espectros estelares empíricas con excelentes cubrimiento de parámetros atmosféricos. Estos espectros de poblaciones estelares sintéticos permiten adaptar los modelos a los datos para obtener toda su información y el análisis se enriquece incluyendo información contenida en algunas líneas débiles. Este es el caso de H γ o H β , con un poder sin precedentes para estimar la edad. Otra ventaja de estos modelos es que el análisis es extensible a galaxias con distinto desplazamientos al rojo (z) por lo que sería posible determinar sus edades con mayor precisión.

Degeneraciones fundamentales

El estudio de la luz integrada sufre varias degeneraciones fundamentales que hacen que la solución obtenida no sea única. Entre éstas cabe destacar la degeneración entre edad y metalicidad, por la que una galaxia parece más roja por ser más vieja o más metálica. Asimismo resulta muy difícil distinguir los efectos de la Función Inicial de Masas (FIM), la cual fija la relación entre estrellas enanas y gigantes. Otra degeneración muy importante es nuestra incapacidad para diferenciar la edad e intensidad de un brote de formación estelar. En la última década se ha desarrollado el análisis de líneas de absorción que permite paliar parcialmente el problema al enfatizarse en ellas los efectos de la metalicidad y la edad. Sin embargo, incluso el indicador de edad más usado, la línea de Balmer H β , muestra cierta dependencia con la metalicidad y es sensible a la emisión nebular.

Es un objetivo prioritario de este Proyecto obtener un sistema de indicadores clave que proporcionen información inequívoca sobre la edad, metalicidad, abundancias relativas, FIM e historia de formación estelar. Con este sistema es posible proponer diagramas diagnóstico para romper las degeneraciones fundamentales que afectan a las

poblaciones estelares. Particularmente relevante es el estudio de nuevos indicadores específicamente desarrollados para explotar los filtros sintonizables de OSIRIS-GTC.

Modelos de formación y evolución de galaxias

Los actuales modelos de síntesis calculan espectros de poblaciones estelares para ser comparados con las observaciones en base a descripciones idealizadas de una galaxia (ej. poblaciones únicas, modelo de caja cerrada, etc.). Para dar un paso más allá es preciso comparar las observaciones con las predicciones a partir de modelos de formación y evolución de galaxias.

Se ha iniciado un ambicioso programa para sustituir las actuales tasas de formación idealizadas del modelo de síntesis de poblaciones estelares por las derivadas a partir de simulaciones hidrodinámicas (código MASCLET: Quilis 2004) que, en un contexto cosmológico y con una descripción física de los fluidos, nos permite describir los cúmulos y sus galaxias. Ligando la formación de las galaxias con la formación de sus poblaciones estelares se obtiene una gran variedad de galaxias, todas ellas con distribuciones tridimensionales de densidad, con su evolución temporal y sus correspondientes espectros sintéticos. Este trabajo se completa con la incorporación de la evolución química resultante de estos procesos. Estas simulaciones constituyen un gigantesco laboratorio virtual con el que poder comparar las observaciones.

Galaxias elípticas y sus relaciones de escala

Si las galaxias elípticas se hubieran formado en un único evento y sus poblaciones hubieran evolucionado de una manera pasiva con el tiempo (modelo monolítico), esperaríamos que sus propiedades estructurales (radio efectivo y dispersión de velocidades) se mantuvieran invariantes con el tiempo. Sin embargo, en un modelo de ensamblaje jerárquico estas propiedades se espera que varíen a medida que la galaxia va adquiriendo su estructura final. Es interesante destacar que un estudio basado únicamente en el análisis de las poblaciones estelares no podría distinguir entre estos dos modelos alternativos si, por ejemplo, las poblaciones estelares se hubieran formado en tiempos muy tempranos y luego se hubieran agregado en una única estructura mediante fusiones secas. En este caso, ambos escenarios producirían el mismo tipo de población estelar final. Por este motivo, pretendemos dentro del Proyecto analizar la evolución de las propiedades de escala (tamaño, dispersión de velocidades, etc.) en función del desplazamiento al rojo. De esta manera se podrá

estudiar a qué velocidad se ha producido el ensamblaje de las galaxias y cuáles son los mecanismos físicos responsables de tal evolución.

Galaxias elípticas y gradientes de metalicidad

El modelo monolítico predice gradientes negativos de metalicidad para las galaxias elípticas, mientras que la formación jerárquica prevé gradientes más planos. Los gradientes informan sobre el monto y eficiencia de los procesos de disipación de energía durante el proceso de formación. Si los gradientes fueran el resultado de una variación de la metalicidad permitirían conectar las propiedades químicas y dinámicas de las galaxias. En cambio si se debieran a una variación de la edad de la población informarían de cómo han procedido los posibles brotes de formación estelar. De hecho el gradiente de metalicidad se ha propuesto como índice del impacto de las fusiones en la configuración de la galaxia.

Cúmulos de galaxias y papel del entorno

Según los modelos jerárquicos las galaxias de cúmulos densos se terminan de ensamblar antes que sus homólogas en los cúmulos de baja densidad. Determinar la influencia del entorno en las poblaciones estelares y en las relaciones de escala nos permitirá probar si las galaxias de cúmulos son efectivamente más viejas que las de campo. Los primeros resultados obtenidos por este grupo con una muestra de galaxias aisladas sugieren una mayor dispersión de edades que la correspondiente a galaxias pertenecientes a cúmulos y grupos.

Sistemas de cúmulos globulares extragalácticos

Los cúmulos globulares (CGs) nos proveen de un gran potencial para estudiar la formación y evolución de las galaxias ya que se piensa que se deben formar en los episodios de formación estelar más importantes. Por tanto, mediante la derivación de las funciones de distribución de metalicidad y edad de los CGs estaremos en disposición de trazar la historia de formación estelar de las galaxias.

Se ha encontrado una distribución bimodal en color de los GCs de la mayoría de las galaxias luminosas. En el caso de las galaxias elípticas, la hipótesis más extendida es que la población más roja de GCs, más metálica, se forme durante la fusión de las dos galaxias espirales que dan lugar a la nueva galaxia, mientras que la población más azul, menos metálica, corresponde a las galaxias progenitoras. Estos estudios han experimentado un gran auge gracias al análisis espectral. Hay indicios que sugieren diferencias entre las abundancias relativas de elementos de estas dos familias de CGs. Este es otro aspecto clave en el que se pondrá un gran esfuerzo al ayudarnos a entender las escalas de tiempo relevantes de la formación de las galaxias elípticas.

Galaxias espirales

El modelo jerárquico predice que las componentes esferoidales de las galaxias espirales (particularmente los bulbos más masivos) son el resultado de procesos de acreción de otras estructuras. Pese a que potencialmente las poblaciones estelares pueden proveernos de información relevante acerca de estos procesos, el análisis de líneas de absorción en espirales es casi inexistente en la literatura. Esto es en parte debido a que estas galaxias muestran historias de formación extendidas, así como por la presencia de gas y manchas de polvo.

Un aspecto totalmente pionero que se propone afrontar en este Proyecto es estudiar las poblaciones estelares en galaxias lenticulares y espirales de primeros tipos con barras y barras secundarias. Como principal objetivo se pretende establecer la secuencia de formación y escalas de tiempo características de estas componentes estructurales mediante la combinación de las edades promedio y abundancias relativas obtenidas.

La periferia de las galaxias contiene información clave para entender los procesos de formación de estos objetos, ya que en estas regiones de densidad más baja, las huellas de estos procesos sobreviven más tiempo. En estas regiones, la densidad de gas es tan baja que los modelos de formación estelar predicen que no deberían formarse estrellas. Sin embargo, las observaciones más recientes encuentran que hay un claro "exceso" de estrellas en estas partes de las galaxias. Para resolver este misterio es fundamental el estudio detallado de sus poblaciones estelares. El reto observacional es sin embargo grande, ya que los brillos superficiales de estas regiones de las galaxias es muy débil (>26 mag/arcsec²). Es por tanto necesario el uso de grandes telescopios e instrumentación novedosa como los filtros sintonizables de OSIRIS (más eficientes que la espectroscopia en regiones de bajo brillo superficial) para atacar este problema. En este sentido, el grupo, está en posición de afrontar este estudio dada su dilatada experiencia en el análisis de las poblaciones estelares y debido a la preparación llevada a cabo para la explotación de los filtros sintonizables.

Algunos resultados relevantes

Sobre el origen de las truncaciones en los discos estelares de las galaxias

Más del 50% de las galaxias espirales muestran un rápido declive en el brillo superficial de sus discos en las partes más externas. Este cambio brusco en el brillo superficial es conocido como truncación y

hasta la fecha su origen es fuente de gran debate. Utilizando los perfiles de color (en banda g y r de SDSS hasta magnitud 27 mag/arcsec²) y los perfiles de densidad superficial de masa de una muestra de 85 galaxias espirales de tipo tardío se ha investigado el origen de estas truncaciones. Se ha descubierto que las truncaciones que son claramente visibles en los perfiles de brillo desaparecen en los perfiles de densidad de masa. Este resultado sugiere que el origen de las truncaciones está relacionado con el cambio en las poblaciones estelares en la periferia de los discos más que con un decrecimiento real en el número de estrellas en las partes más externas de estos objetos. Los resultados obtenidos parecen encajar bien con modelos teóricos donde las estrellas se producen en el interior de los discos y luego migran por procesos seculares hacia las partes más externas.

Sigma-hollows

El análisis cinemático de cuatro galaxias con doble barra mediante datos de espectroscopia de campo integral obtenidos con SAURON derivó en el descubrimiento de los llamados *sigma-hollows*. Los *sigma-hollows* son disminuciones del valor local de la dispersión de velocidades que aparecen justo en los extremos de las barras internas. La combinación de los datos con simulaciones numéricas permitió concluir que los *sigma-hollows* son debidos al contraste entre la alta dispersión de velocidades del bulbo y la baja dispersión de velocidades de la barra interna. Estos resultados fueron publicados en forma de Letter.

Evolución del Proyecto

Formación y Evolución de galaxias discos

En el Universo Local, se han explorado los perfiles de color así como los perfiles de densidad de masa de una muestra de 85 galaxias de tipo tardío usando perfiles de brillo superficial profundos (hasta magnitud aproximadamente 27 mag/arcsec² en las bandas g y r del SDSS). Se ha descubierto que las galaxias que presentan truncaciones (esto es un decrecimiento más acusado tras un primer decrecimiento de tipo exponencial) en sus brillos superficiales tienen un perfil de color (g-r) con una forma en U característica. Usando este perfil de color es posible calcular la densidad de masa superficial y encontramos el sorprendente resultado de que la truncación, claramente visible en los brillos superficiales, desaparece. Este resultado sugiere que el origen de las truncaciones en las galaxias tardías no es debido, como se pensaba, a un decrecimiento abrupto en la distribución de estrellas si no a un cambio en las propiedades de las poblaciones estelares. Los detalles de este trabajo se encuentran publicados en Bakos, Trujillo y Pohlen (2008).

El análisis cinemático de cuatro galaxias con doble barra mediante datos de espectroscopia de campo integral obtenidos con SAURON derivó en el descubrimiento de los llamados *sigma-hollows*. Los *sigma-hollows* son disminuciones del valor local de la dispersión de velocidades que aparecen justo en los extremos de las barras internas. La combinación de los datos con simulaciones numéricas permitió concluir que los *sigma-hollows* son debidos al contraste entre la alta dispersión de velocidades del bulbo y la baja dispersión de velocidades de la barra interna. Estos resultados fueron publicados en forma de Letter. Además se han tomado datos con el espectrógrafo ISIS en el telescopio WHT de las cuatro galaxias con doble barra para las que se tenían datos del espectrógrafo de campo integral SAURON. Con estos datos la información bidimensional de las poblaciones estelares de estas galaxias será ampliada con nuevos índices espectrales que proporciona el rango espectral de ISIS.

En el Universo más lejano, hasta desplazamientos al rojo intermedios ($z \sim 1$), se ha reunido una gran muestra de galaxias discos (~ 500) usando en el cartografiado GOODS South. Esto ha permitido explorar la evolución de sus discos externos con un detalle sin precedentes. Estos son los principales resultados:

- La posición radial de la truncación (que es un estimador directo de la extensión del disco donde la mayor parte de la formación de las estrellas tiene lugar) ha evolucionado con el tiempo. A una masa estelar dada, la posición radial de la truncación ha crecido en un factor 1.3 ± 0.1 desde $z=1$ hasta hoy. Esto está de acuerdo con un crecimiento de dentro hacia afuera moderado de los discos en los últimos 8 Gaños. En el mismo periodo de tiempo, el brillo superficial en la banda B en el cual tiene lugar la truncación ha decrecido 3.3 ± 0.2 mag/arcsec². Este trabajo está publicado en Azzollini, Trujillo y Beckman (2008A).

- Utilizando el mismo cartografiado que en el punto anterior se ha explorado la evolución de los perfiles de colores de las galaxias disco con truncamiento. Se encontró que el mismo perfil característico en U que encontramos en las galaxias cercanas persiste en las galaxias con desplazamiento al rojo hasta $z \sim 1$ (Azzollini, Trujillo & Beckman 2008B). Esta estructura de color acuerda cualitativamente con modelos teóricos donde la truncación de los brillos superficiales es el resultado de la interacción entre un umbral para la formación estelar y la redistribución de la masa estelar por procesos seculares.

En el Universo aún más lejano (hasta $z \sim 3$) se ha investigado la evolución en el tamaño y en la tasa de formación estelar de los objetos más masivos (con

masa $M > 10^{11} M_{\odot}$). Los resultados obtenidos se pueden dividir en: Evolución significativa del tamaño de las galaxias discos en los últimos 11 Gaños. Para realizar este estudio se utilizaron datos de dos cartografiados diferentes. Hasta $z=2$ se utilizó el cartografiado infrarrojo Palomar/DEEP-2 (Trujillo et al. 2007), mientras que para el intervalo $1.7 < z < 1$ (lo cual se traduce en ritmos de formación estelar que varían entre 1 y 10 $M_{\odot}/\text{año}$), y valores 0.1 a 1 Gaños $^{-1}$ a $1 < z < 2$ (10-200 $M_{\odot}/\text{año}$). Usando estos valores calculamos que como mucho las galaxias disco masivas han triplicado su masa estelar desde $z \sim 2$ por fenómenos asociados a la formación de nuevas estrellas (Pérez-González, Trujillo et al. 2008).

Modelos de síntesis de poblaciones estelares y metodologías de análisis

Se ha implementado en el IAC de un nuevo enfoque del estudio de poblaciones estelares, basado en el ajuste de modelos al espectro completo de una galaxia. Dicho método, Starlight (Cid Fernandes, UFSC, Brasil), proporciona valiosa información sobre las líneas de emisión y sobre la historia de formación estelar de la galaxia. Por medio de simulaciones, se ha analizado la fiabilidad de Starlight y también se ha comparando sus resultados con los de otros métodos alternativos. El estudio de poblaciones estelares basado en índices espectrales también ha sido aplicado a varios casos científicos: estudio del Plano Fundamental y galaxias de grupos fósiles.

Se ha desarrollado un código para derivar, utilizando los modelos de poblaciones de Vazdekis, la edad (y su error) de una galaxia elíptica a partir de su luminosidad en reposo corregida de extinción en al menos dos filtros de visible. Este algoritmo fue probado con los datos de visible e infrarrojo cercano (hasta 2.2 micras) de Rudnick et al. (2006, *Astrophysical Journal* 650, 624) obteniendo resultados congruentes. Preferimos esperar a tener datos más recientes, que incluyan observaciones en infrarrojo > 2.2 micras, antes de sacar alguna publicación concluyente.

Se están desarrollando códigos para la extracción automática de perfiles de brillo superficial de las galaxias en los cartografiados de SDSS y UKIDSS. Estos perfiles cubrirán el rango de óptico e infrarrojo cercano y servirán para obtener la distribución espectral de energía de las galaxias a diferentes distancias radiales de su centro.

Se han incorporado las isocronas de Teramo en los modelos de síntesis de poblaciones estelares. Estas isocronas representan una alternativa a las del grupo de Padova que alimentan a nuestros modelos. Con esta incorporación se consigue un cubrimiento más fino de las metalicidades de las

poblaciones estelares. Por otro lado estas predicciones permiten estimar mejor las incertidumbres implícitas en el análisis de las poblaciones estelares debido a la componente de evolución estelar.

Se ha calculado una versión preliminar de espectros integrados de poblaciones estelares a resolución 2.3Å (FWHM), con un gran cubrimiento de edades y metalicidades, para distintas abundancias relativas de elementos α . Para ello se ha empleado como referencia la biblioteca estelar MILES (Sánchez-Blázquez et al. 2006; Cenarro et al. 2007) y se ha computado una biblioteca teórica de espectros estelares con distintas abundancias relativas basada en los códigos del grupo de Barbuy (Brasil). Esta primera versión de espectros integrados representa una alternativa novedosa para los análisis de poblaciones estelares con sobreabundancias de elementos α , como es el caso de las galaxias de masa intermedia y masivas.

Se ha diseñado una metodología y códigos necesarios para el análisis de los gradientes de poblaciones estelares en galaxias del Universo Local con los filtros sintonizables de OSIRIS (telescopio GTC). Para ello se emplean nuevos indicadores específicamente diseñados para estos filtros que muestran un poder superior a los índices espectroscópicos estándar de Lick para distinguir las edades y metalicidades de las poblaciones estelares (Cervantes et al. 2006). Con estas herramientas de análisis se han preparado varias propuestas de observación para el telescopio GTC (tiempo garantizado a OSIRIS, verificación científica, y CAT) que han obtenido tiempo de observación.

Degeneraciones fundamentales

Se ha publicado un nuevo indicador de edad espectroscópico basado en la línea H β . Este indicador es virtualmente insensible a los efectos de la metalicidad en poblaciones estelares, por lo que nos dota de una capacidad sin precedentes para romper la degeneración fundamental edad/metalicidad. Su aplicación no requiere espectros de calidad superior a los empleados habitualmente para medir la definición estándar de esta línea de Balmer.

Sistemas de cúmulos globulares

Se ha estudiado el sistema de cúmulos globulares (CGs) y la población estelar integrada de dos galaxias enanas elípticas (dEs) del Cúmulo de Virgo: VCC1261 y VCC1528. Mientras que el contenido estelar de las dEs presenta una rotación nula o despreciable, encontramos que ambos sistemas de CGs están soportados por rotación, al igual que ocurre para la otra dE de Virgo estudiada

hasta la fecha (VCC1087; Beasley et al. 2006). Sorprendentemente, si se utiliza como velocidad de rotación la de sus sistemas de CGs, las 3 dEs estudiadas obedecen la relación Tully-Fisher en banda r, lo que apoya la hipótesis de que las dEs luminosas sean el resultado de galaxias con disco que, tras perder buena parte del gas y las estrellas en su avance dentro del cúmulo, han sufrido procesos dinámicos internos que las ha convertido en esferoides.

Se ha descubierto que la dispersión existente entre los valores integrados de H β de los cúmulos globulares (CGs) galácticos metálicos está causada por la frecuencia específica de estrellas blue straggler (BSSs) en sus partes centrales, y no está relacionada con posibles diferencias de edad entre los mismos. Esto se ha conseguido mediante el uso de un índice optimizado para H β , combinando espectroscopía integrada de las partes centrales de los CGs con sus correspondientes diagramas color-magnitud del HST/WFPC2 en las mismas regiones. La frecuencia específica de BSSs establece, por lo tanto, un límite fundamental a la precisión con la que se pueden determinar las edades de los CGs extragalácticos a partir de métodos espectroscópicos.

Como parte del Proyecto de investigación de S. Molina, becaria de verano 2008 del IAC, de la cual J. Cenarro fue tutor, se han reducido un conjunto de espectros integrados de 25 cúmulos globulares galácticos en la región del triplete de Ca (CaT). Los resultados preliminares del trabajo confirman la existencia de una clara relación CaT-[Fe/H] que satura a alta metalicidad ([Fe/H] > -0.7 dex), tal y como predicen los modelos de Vazdekis et al. (2003) para estas líneas.

LAS GALAXIAS BARRADAS: EVOLUCIÓN Y CONSECUENCIAS (3I2407)

J.H. Knapen

I. Martínez Valpuesta, S. Comerón Limbourg, J.R. Sánchez Gallego y J. Falcón Barroso.

I. Shlosman (Univ. de Kentucky, EEUU); L. Athanassoula (Marsella); R. Buta (Univ. de Alabama, EEUU); E. Laurikainen, H. Salo (Univ. de Oulu, Finlandia); E. Brinks, M. Sarzi (Univ. de Hertfordshire, Reino Unido); L. Mazzuca (NASA GSFC, EEUU); P. James (Univ. Liverpool John Moores, Reino Unido); E. Schinnerer (MPIA Heidelberg, Alemania); M. Regan (STScI, EEUU); T. Böker (ESTEC, Países Bajos); R. Peletier (Groningen, Países Bajos); B. Elmegreen (IBM, EEUU); D. Elmegreen (Vassar, EEUU); K. Sheth (Caltech, EEUU); T. Eversberg (DLR, Alemania); A. Moffat (Montreal, Canadá); C. Wilson (McMaster, Canadá); R. Beswick (Univ. de Manchester, Reino Unido).

Introducción

La mayoría de las galaxias en el Universo local tienen barra y por las imágenes del telescopio HST, sabemos que la proporción de galaxias barradas no ha variado mucho durante los últimos 8 mil millones de años ($z \sim 1$). Dado que las barras son desviaciones de un potencial gravitatorio axisimétrico, tienen importantes consecuencias para la dinámica y la evolución de las galaxias en las que están. En este Proyecto se estudia la estructura y la evolución de las barras galácticas, y las consecuencias de su existencia. En primer lugar, se investigarán las propiedades fundamentales de las barras en función del desplazamiento al rojo, analizando muestras de galaxias barradas y de galaxias no barradas, procedentes de las imágenes del HST, así como de modelos numéricos de evolución del disco. Usamos imágenes en el infrarrojo cercano, obtenidas con Spitzer y telescopios en tierra, para estudiar las barras cercanas. En segundo lugar, se estudiarán algunas de las consecuencias de las barras, en particular como están relacionadas con la evolución secular de las galaxias. En tercer lugar, se estudiará la dinámica de las barras comparando minuciosamente simulaciones numéricas, imágenes y espectros de grandes barras de galaxias cercanas.

Algunos resultados relevantes

Se ha analizado la morfología y el campo de velocidades de la región central de la galaxia barrada NGC613 a base de espectroscopía a campo integral obtenido con el instrumento SINFONI en el telescopio VLT. De las líneas infrarrojas se ha determinado las edades relativas de las diferentes regiones de formación estelar en el anillo circunuclear. Los resultados apoyan un modelo en el cual la formación estelar en los anillos origina principalmente en dos regiones bien definidas cerca de los puntos donde las calles de polvo de la barra interseccionan la resonancia interna de Lindblad.

A base de imágenes en H α de una muestra de 327 galaxias en el programa HaGS, se ha derivado las propiedades de la formación estelar en estas galaxias. Las estimaciones de la densidad de la tasa de formación estelar son consistentes con valores en la literatura reciente, usando varios indicadores de formación estelar. Aunque hay muchas de ellas, las galaxias enanas contribuyen muy poco a la formación estelar en el Universo local, y la mayoría de la formación estelar ocurre en galaxias como la nuestra.

Se ha demostrado estadísticamente un vínculo entre los sigma-drops y la presencia de anillos nucleares. También se ha demostrado que los

sigma-drops están correlacionados con la presencia de actividad nuclear de tipo Seyfert así como con espirales nucleares de polvo. No se ha encontrado ningún vínculo entre el tipo de barra y la presencia de sigma-drops.

Se han recopilado datos de todos los anillos nucleares conocidos para la elaboración del atlas de anillos nucleares más completo hasta la fecha. Se han añadido anillos que se han descubierto estudiando imágenes de archivo. La importancia de este atlas radica en que más allá de la compilación de los nombres de las galaxias que tienen anillos, se ha medido de manera uniforme algunas de las características de las galaxias con lo que se pueden comparar entre sí y hacer estudios estadísticos. En especial se ha descubierto que el máximo tamaño permitido para un anillo nuclear es inversamente proporcional a la fuerza de la barra de la galaxia.

Evolución del Proyecto

Evolución de galaxias barradas

(I. Martínez-Valpuesta y colaboradores). La evolución de galaxias barradas mediante el uso de simulaciones ha permitido un mejor conocimiento de la evolución de galaxias tipo disco. En la mayoría de los estudios se usan simulaciones numéricas. En los últimos años se ha introducido el gas a estas simulaciones. Existía un problema recurrente en las simulaciones numéricas con gas. Una vez la barra se forma, esta se destruye. Se ha finalizado el estudio de la verdadera causa de la destrucción de las barras cuando se añade el gas. La razón principal es la concentración de masa central. Otras alternativas propuestas eran el intercambio de momento angular entre los diferentes componentes. En nuestro estudio, este intercambio, es muy pequeño y no afecta a la destrucción de la barra.

(J. Knapen, J. Falcón Barroso y colaboradores). Se ha analizado la morfología y el campo de velocidades de la región central de la galaxia barrada NGC613 a base de espectroscopia a campo integral obtenido con el instrumento SINFONI en el telescopio VLT. De las líneas infrarrojas se ha determinado las edades relativas de las diferentes regiones de formación estelar in el anillo circunnuclear. Los resultados apoyan un modelo en el cual la formación estelar en los anillos origina principalmente en dos regiones bien definidas cerca de los puntos donde las calles de polvo de la barra interseccionan la resonancia interna de Lindblad.

(J. Knapen y P. James) A base de imágenes en H α de una muestra de 327 galaxias en el programa HaGS, se ha derivado las propiedades de la formación estelar en estas galaxias. Las estimaciones de la densidad de la tasa de formación estelar son consistentes con valores en la literatura reciente, usando varios indicadores de formación estelar. Aunque hay muchas de ellas, las galaxias enanas contribuyen muy poco a la formación estelar en el Universo Local, y la mayoría de la formación estelar ocurre en galaxias como la nuestra. En trabajos relacionados, también a base de los datos de HaGS, se ha completado un estudio de las características de formación estelar de las galaxias que tienen una compañera cercana en comparación con las que no lo tienen. Esto se publicara en el 2009. Por otro lado se están analizando los perfiles radiales en H α y en continuo, que nos lleva a una nueva manera de buscar barras en galaxias lejanas.

(J. Knapen y colaboradores). El estudio de las galaxias de tipo S0 por medio del survey NIRS0S sigue adelante, y de hecho está casi acabado. Se han preparado nuevos artículos sobre la evolución de las galaxias S0, el primero se publicara en febrero del 2009. Con las observaciones en el infrarrojo cercano de unas 200 galaxias prácticamente completadas, enfocaremos nuestros esfuerzos en el 2009 en sacar resultados estadísticos sobre las propiedades de las barras en este tipo de galaxias.

(J. Knapen y colaboradores). El survey NGLS usa datos de CO y el en continuo sub-milimétrico del telescopio JCMT para estudiar las propiedades del Medio Interestelar frío en una muestra de unas 120 galaxias. Durante el 2008 se han realizado varias campañas de observación, y estamos acabando los primeros dos artículos. El nuevo residente, J.R Sánchez Gallego, trabajará principalmente en este Proyecto, analizando las propiedades de la formación estelar en comparación con las del Medio Interestelar.

(I. Martínez-Valpuesta y colaboradores) Mediante el análisis de las simulaciones de E. Athanassoula se han desarrollado diferentes parámetros que relacionan diferentes características de las barras y los bulbos en las que estas se convierten cuando se ven a diferentes orientaciones. Estos bulbos, también llamados de tipo boxy-peanut-Xshaped, están por un lado relacionados con el número de pandeos (buckling events) que sufre la barra y, por el otro, con la fuerza de ésta. Se han encontrado correlaciones muy interesantes con estos nuevos parámetros que

relacionan bulbos y barras. La principal característica de estos parámetros es que pueden ser aplicados a las observaciones. Estos resultados han sido enviados ya en forma de artículo a la revista *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* en diciembre de 2008.

(J. Knapen, I. Martínez-Valpuesta y colaboradores). La investigación de los llamados «ansae» en barras (handles, o agarraderas) para los cuales se han obtenido los porcentajes en la secuencia de Hubble. Se ha encontrado que en galaxias barradas de tipo S0, un 40% presentan "ansae". Es más la frecuencia de "ansae" decrece con el tipo de Hubble, y parece estar presente en barras fuertes. Esto además se corrobora con los primeros resultados estadísticos aplicados a simulaciones, en los cuales es claro que los "ansae" aparecen en las barras fuertes tras varios giga años de evolución. El estudio de las simulaciones mediante el análisis orbital ha demostrado, que las barras atrapan partículas y que estas nuevas partículas forman parte de los "ansae". Además observacionalmente, se ha analizado un método para identificar los "ansae" de una forma más experimental. El trabajo inicial ha sido presentado como proyecto de fin de carrera de R. Sosa Mendoza.

S. Comerón, J. Knapen, J. Beckman e I. Shlosman han estado trabajando en la búsqueda y caracterización de anillos nucleares ultra-compactos (ultra-compact nuclear rings o UCNRs en inglés), anillos de formación estelar cuyo radio es inferior a los 200 pársecs. Su investigación ha tendido a probar que dichas estructuras tienen el mismo origen que los anillos nucleares cuya escala es de un kilopársec, es decir una manifestación de las resonancias causadas por potenciales no axisimétricos debidos principalmente a barras o a interacciones con galaxias cercanas. Un estudio detallado de tres galaxias que poseen UCNRs se puede leer en S. Comerón et al. 2008.

S. Comerón, J. Knapen y J. Beckman han estado trabajando en los sigma-drops, caídas en la dispersión de velocidades de la componente estelar de las galaxias cerca del núcleo. Este fenómeno tiene una escala de unos pocos centenares de pársecs por lo que se ha acudido a imágenes de alta resolución del HST para intentar encontrar un vínculo entre la morfología de los núcleos de galaxias con sigma-drops y su peculiar cinemática. Se ha analizado detalladamente una muestra de 20 galaxias con sigma-drop, la más grande estudiada de manera consistente hasta la fecha, y se ha comparado con una muestra de galaxias de control

libres de sigma-drops. Con los datos obtenidos en este trabajo se ha elaborado un artículo que está en proceso de revisión. Este trabajo ha sido el "Trabajo de Introducción a la Investigación" de S. Comerón en el marco del Master en Astrofísica que ha cursado en la Universidad de La Laguna (ULL).

S. Comerón, J. Knapen y J. Beckman han estado elaborando un atlas de anillos nucleares. El estudio de dicho atlas, que a fecha actual tiene 99 anillos, permite encontrar interesantes relaciones entre las fuerzas de las barras y las características de los anillos. Se ha descubierto, por ejemplo, que el tamaño máximo que puede alcanzar un anillo nuclear es inversamente proporcional a la fuerza de la barra. También vamos a intentar hacer un estudio pormenorizado de alguno de los anillos con dos noches de observación que nos han sido concedidas en el telescopio WHT.

S. Comerón, J. Knapen e I. Martínez-Valpuesta han comenzado una nueva colaboración para una mejor comprensión de la influencia dinámica de las barras galácticas y sus «marcas» en las galaxias barradas. Esto se ha llevado a cabo con la comparación entre 800 simulaciones galaxias con SPH llevadas a cabo por el grupo en el IAC y la muestra de galaxias reales usada ya en estudios anteriores por S. Comerón.

FÍSICA DE LAS ESTRELLAS, SISTEMAS PLANETARIOS Y MEDIO INTERESTELAR

NEBULOSAS BIPOLARES (311386)

A. Mampaso.

R.L.M. Corradi, K. Viironen, C. Giammanco y M. Santander García.

D.R. Gonçalves (Obs. Valongo, Brasil); E.R. Rodríguez Flores (IGA, Cuba); L. Sabin (Univ. de Manchester, Reino Unido); S. Navarro (Univ. Guadalajara, México); M. Rodríguez, G. Delgado Inglada (INAOE, México); L. Cuesta (CAB, Madrid); V. Lorenzi (Instituto del Telescopio Nacional Galileo, Italia); L. Magrini (Univ. de Florencia, Italia); J. Drew (Univ. de Hertfordshire, Reino Unido) y la Colaboración IPHAS; R. Greimel (Univ. de Graz, Austria); J.M. Vilchez (IAA, Granada); J. Mikolajewska (Copernicus Centre, Polonia).

Introducción

Se persiguen tres objetivos principales:

Determinar las condiciones físico-químicas de las nebulosas planetarias con geometría bipolar y de las nebulosas alrededor de estrellas simbióticas, para entender el origen de la bipolaridad y proponer modelos teóricos que expliquen la morfología y cinemática observadas.

Estudiar las microestructuras de baja excitación en las nebulosas planetarias, su origen (en relación con el proceso de formación de la propia nebulosa) y sus propiedades físico-químicas y de interacción con el gas nebular.

Descubrir y estudiar nuevas nebulosas planetarias galácticas (mediante el cartografiado IPHAS) y extragalácticas (con el proyecto "Local Group Census") analizando sus propiedades físico-químicas e investigando los gradientes de composición química a lo largo de la galaxia.

Algunos resultados relevantes

Se hace pública la base de datos inicial (IDR) del cartografiado IPHAS que contiene 200 millones de objetos y mapas de unos 1.600 grados cuadrados en tres bandas, H-, R e I.

Se publican tres catálogos de objetos con líneas de emisión descubiertos usando los mapas de IPHAS:

uno genérico, conteniendo casi 5.000 estrellas (casi todos nuevos descubrimientos); otro de objetos extremadamente rojos, que incluye sobre todo estrellas evolucionadas de la Rama Asintótica de Gigantes; y, finalmente, otro de candidatos a estrellas simbióticas, con más de 1.000 objetos.

Se ha descubierto y estudiado la estrella progenitora de la nova V458 Vulpeculae y su nebulosa, el segundo caso conocido de nebulosa planetaria alrededor de una nova.

Se ha descubierto la estrella simbiótica más lejana conocida. Está situada a 750 kpc del Sol y pertenece a una pequeña galaxia tipo "starburst" del Grupo Local, IC 10.

Se mide por primera vez con alta precisión la distancia y las condiciones físicas de la nebulosa alrededor de la estrella simbiótica Hen 2-104.

Evolución del Proyecto

Durante 2008 el grupo participó muy activamente en el survey IPHAS (Isaac Newton Telescope Photometric Ha Survey; más información en la página Web del Proyecto: <http://www.iphas.org>). Este Proyecto, en el que participan quince instituciones sobre todo de Gran Bretaña, España y Holanda, está realizando un mapa en los filtros Ha, R e I de una banda de 10 grados alrededor del plano galáctico. Es el primer mapa totalmente fotométrico, el más profundo (típicamente siete magnitudes mejor que los existentes) y el de mejor resolución (1 segundo de arco) de los cartografiados del plano galáctico realizados hasta la fecha. El Proyecto comenzó en 2003 y está prácticamente terminado, con todo el plano ya observado al menos una vez. Las únicas observaciones que se prevé realizar en sucesivos semestres son para cubrir zonas donde sólo hay datos de menor calidad (ej., seeing peor que 2 arcsec) o para completar los campos duplicados que faltan. El objetivo de IPHAS es revelar la estructura y organización de nuestra Galaxia y estudiar sus poblaciones estelares, en particular las fases más tempranas y más tardías de la evolución de las estrellas, desde las más jóvenes estrellas T Tauri hasta las nebulosas planetarias. El grupo del IAC lidera el estudio de las nebulosas ionizadas (compactas y extensas, incluyendo a las regiones HII y a las nebulosas planetarias) y el de las estrellas binarias tipo simbióticas que se descubran en el Proyecto.

En 2008 se hizo pública la base de datos inicial (IDR) que contiene 200 millones de objetos y mapas de unos 1.600 grados cuadrados en las tres bandas Ha, R e I. El acceso a estos datos es a través del Observatorio Virtual (VO. <http://casu.ast.cam.ac.uk/surveys-projects/iphase>) representando la mayor base de datos publicada hasta la fecha a través de interfaces VO, por lo que constituye un ejemplo para el uso de este tipo de bases de datos en el futuro.

Liderado por A. Witham (Univ. de Southampton, Reino Unido), se publicó en 2008 el primer catálogo de estrellas IPHAS que presentan emisión intensa en Ha. Totalizan 4853 estrellas con magnitudes entre 13 y 19.5 en el filtro R, de las cuales sólo el 10% eran conocidas previamente. Datos espectroscópicos complementarios de unas 300 estrellas de este catálogo indican que más del 95% tienen emisión genuina en Ha, lo que da una idea de la fiabilidad del cartografiado y su enorme potencial. La naturaleza de los nuevos objetos es desconocida, aunque se espera que sean muy abundantes las estrellas jóvenes, tanto las de tipos A y B con líneas de emisión como las T Tauri.

El grupo del IAC, liderado por R. Corradi, publicó otro catálogo con estrellas IPHAS, esta vez de candidatos a estrellas simbióticas. Se presenta en ese trabajo un método para seleccionar los candidatos a simbióticas basado en los colores IPHAS y 2MASS, resultando en 1.183 objetos. Se analizan los espectros de las tres primeras simbióticas descubiertas, demostrando las posibilidades de la base de datos de IPHAS y del método de selección.

Un estudio similar, pero liderado por A. Witham y dirigido a descubrir y analizar objetos extremadamente rojos y con emisión en Ha, se publicó también durante 2008. El uso de datos complementarios en infrarrojo (2MASS y MSX) permitió identificar a la mayoría de estos objetos como estrellas de la Rama Asintótica de Gigantes extremadamente enrojecidas.

R. Corradi participó en el estudio, liderado por R. Wesson (University College London), sobre la nebulosa planetaria descubierta alrededor de la estrella nova V458 Vulpeculae. Esta estrella explotó el 8 de agosto de 2007 aumentando su brillo unas 10 magnitudes, pero pudo estudiarse su nebulosa

y su progenitor debido a que, por suerte, se habían tomado imágenes para el cartografiado IPHAS seis semanas antes. Es el segundo caso conocido de nebulosa planetaria asociada con la explosión de una nova; el otro caso, GK Per, ocurrió en 1901. La nebulosa de V458 Vul sufre actualmente una fase extraordinaria de ionización por el flash de la nova y contiene un sistema binario con envoltura común que podría originar una supernova de Tipo 1 en cuanto las dos estrellas se fundan.

Nuestras colaboradoras D. Gonçalves y L. Magrini, junto con R. Corradi, descubrieron a partir de imágenes y espectros con el telescopio Gemini-Norte la estrella simbiótica más lejana que se conoce y publicaron un trabajo donde se analiza su naturaleza y la de su nebulosa ionizada. Está en IC10, una galaxia "starburst" del Grupo Local, situada a unos 750 kpc y es similar a las estrellas Miras de la Vía Láctea, como la bien estudiada Hen 2-147.

Nuestro grupo del IAC, liderado por M. Santander-García, publicó en 2008 un estudio muy detallado de la nebulosa ionizada alrededor de la estrella simbiótica Hen 2-104, basado en observaciones con los telescopios HST, VLT y NTT. Pudo medirse con gran precisión la distancia al sistema, usando la expansión aparente de su nebulosa en el plano del cielo (combinando imágenes del HST tomadas con cuatro años de separación) y un modelo 3D espacio-cinémático. El resultado es que la distancia medida, 3.3 kpc implica una masa de gas ionizado inesperadamente grande (una décima de la masa del Sol) lo que pone en cuestión los modelos vigentes para estos objetos.

REGIONES III EXTRAGALÁCTICAS (311486)

C. Esteban.

L. López Martín, A. Mesa Delgado, M.F. Nuñez Díaz, N.L. Martín Hernández y A. Herrero Davó.

E. Benítez, L. Carigi, J. García Rojas, C. Morisset, A. Peimbert, M. Peimbert (IA-UNAM, México); F. Bresolin (IfA, Hawai, EEUU); H.O. Castañeda (IPN, México); M.V.F. Copetti (Univ. Federal de Santa María, Brasil); K. Exter (STScI, EEUU); C. Kehrig, J.M. Vílchez, V. Luridiana (IAA, Granada); B. Koribalski, A.R. López Sánchez (ATNF, Australia); M. Rodríguez (INAOE, México); S. Sánchez (CAHA); G. Stasinska (Obs. de Meudon, Francia); M. Bautista (Univ. de Virginia, EEUU).

Introducción

El presente Proyecto se encuadra dentro del marco general del estudio de la interacción de las estrellas con el medio interestelar, tanto desde el punto de vista radiativo, como químico y cinemático.

Los objetivos específicos principales son:

Detección y estudio de líneas de recombinación de elementos pesados en regiones HII galácticas y extragalácticas, con especial hincapié en la estimación de las fluctuaciones de temperatura electrónica del gas ionizado y su efecto sobre las abundancias químicas.

Estudio de la estructura e historia de la formación estelar en galaxias HII, principalmente del efecto de los vientos galácticos y el papel de las interacciones entre y con objetos enanos.

Estudio de la cinemática del gas y de eyecciones colimadas en nebulosas de distintos tipos.

Algunos resultados relevantes

A. Mesa Delgado, C. Esteban y L. López Martín, junto con J. García Rojas, M. Peimbert, V. Luridiana, M. Bautista y M. Rodríguez han finalizado el estudio de un espectro echelle profundo del *bowshock* del objeto Herbig-Haro HH202 inmerso en la Nebulosa de Orión. El espectro, obtenido con el espectrógrafo UVES del 8 m VLT de Cerro Paranal (Chile), permite separar la contribución del gas del flujo de gas asociado al objeto H-H de la del gas de fondo, por lo que se pueden conocer las condiciones físicas y las abundancias químicas de ambas componentes. La abundancia de O⁺⁺ obtenida mediante líneas de recombinación respecto al valor obtenido mediante las líneas de excitación colisional del mismo ion son mucho mayores en el gas del objeto H-H que en el de fondo, lo que supone que algún mecanismo relacionado con la presencia del flujo de gas está produciendo esa mayor diferencia. Distintas evidencias observacionales indican que el objeto H-H se encuentra dentro de la nebulosa ionizada y que produce una compresión del gas que llega a atrapar el frente de ionización. Se encuentra, por primera vez en la Nebulosa de Orión, pruebas muy sólidas de la destrucción parcial y localizada de granos de polvo en la zona del *bowshock* de HH202. Del orden del 30 al 50% de los átomos de hierro contenidos en los granos de polvo son destruidas al paso del frente de choque asociado al flujo de gas.

C. Esteban y A. Mesa Delgado junto con F. Bresolin, J. García-Rojas y M. Peimbert han determinado, a partir de espectros de regiones HII obtenidos con el

telescopio Keck I, los gradientes radiales de la abundancia de O y C, así como del cociente C/O, en las galaxias espirales M33, M101 y NGC2403, encontrándose que los gradientes de C tienen siempre una mayor pendiente que los de O, produciendo gradientes negativos del cociente C/O a lo largo del disco de las galaxias. Este resultado es similar al ya obtenido por el grupo para la Vía Láctea y tiene importantes implicaciones para los modelos de evolución química y los procesos de nucleosíntesis del C.

Evolución del Proyecto

A. Mesa Delgado, C. Esteban y L. López Martín han concluido un artículo basado en el análisis de datos de espectroscopia bidimensional del bowshock del objeto Herbig-Haro HH202 (localizado en la nebulosa de Orión) y obtenidos con el espectrógrafo PMAS del telescopio de 3.5 m de Calar Alto. En este trabajo se han obtenido mapas de intensidades de diferentes líneas de emisión, de las condiciones físicas y de abundancias químicas del gas ionizado. En particular, se ha presentado el primer mapa de la temperatura de Balmer y del parámetro de fluctuaciones de temperatura, t_2 , para una región HII. También se ha obtenido el mapa del factor de discrepancia de abundancia para el O⁺⁺, ADF(O⁺⁺), encontrando un valor pico justo en el apex, o zona más brillante de HH202. No se han encontrado correlaciones entre el valor del ADF(O⁺⁺) y otras propiedades nebulares, como la densidad o temperatura electrónicas así como con el grado de ionización o el parámetro t_2 , hecho que sugiere que la discrepancia de abundancias y las fluctuaciones de temperatura son fenómenos independientes. No se han encontrado evidencias de la presencia de grupos de alta metalicidad y baja temperatura, una de las soluciones propuestas al problema de la discrepancia de abundancias. En este trabajo también han colaborado J. García Rojas y V. Luridiana.

En mayo, A. Mesa Delgado y C. Esteban obtuvieron espectros profundos de rendija larga con el espectrógrafo ISIS (telescopio WHT del ORM) de la región HII galáctica brillante M17. Con estos datos se ha podido medir las líneas de recombinación de OII y, por lo tanto, obtener perfiles de la distribución espacial de las condiciones físicas, abundancias químicas y del ADF(O⁺⁺) a lo largo de distintas zonas morfológicas de la nebulosa. Este trabajo permitirá complementar los resultados obtenidos y publicados sobre la Nebulosa de Orión y otros sobre M8 que están siendo analizados. Los datos de M17 ya han sido reducidos y se está avanzando en su análisis.

C. Esteban ha finalizado el análisis de los datos obtenidos en dos periodos de observación en el

telescopio Keck I dedicados a observar líneas de recombinación de elementos pesados en regiones HII gigantes en galaxias espirales e irregulares cercanas y en galaxias HII, utilizando el espectrógrafo echelle HIRES. Del total de 14 objetos incluidos en el trabajo, en 10 de ellos se ha medido la línea de recombinación de CII 4267 Å y en 8 las del multiplete 1 de OII alrededor de 4650 Å. Se ha determinado la temperatura electrónica de las regiones HII utilizando una gran cantidad de indicadores, encontrándose una correlación bastante estrecha entre las temperaturas determinadas a partir de líneas de [NII] y [OIII], de gran interés para el estudio de nebulosas de alta metalicidad. Se ha encontrado que las abundancias de O⁺⁺ calculadas a partir de líneas de recombinación son siempre superiores a las calculadas a partir de líneas de excitación colisional, proporcionando un ADF(O⁺⁺) muy similar en todos los objetos con un valor logarítmico medio de 0.26 dex y una dispersión de 0.09 dex, independientemente de las propiedades de la región HII o de su galaxia anfitriona. En este trabajo también han colaborado A. Mesa Delgado, F. Bresolin, J. García-Rojas y M. Peimbert (IA-UNAM, México). Dentro de este Proyecto también se observaron 10 regiones HII en galaxias HII e irregulares en mayo con el espectrógrafo echelle UVES del telescopio VLT de Cerro Paranal (ESO). Estos nuevos datos ya han sido reducidos.

N.L. Martín Hernández, en colaboración con E. Peeters (Univ. de Londres, Canadá) y A.G.G.M. Tielens (NASA Ames, California EEUU), ha llevado a cabo el análisis de datos obtenidos con el espectrógrafo infrarrojo TIMM12 del telescopio de 3.6 m de ESO sobre varias regiones HII de las Nubes de Magallanes, en particular, de N88A y N160A. La combinación de estas observaciones con observaciones de Spitzer ha sido determinante a la hora de estudiar estos objetos. Los resultados de este trabajo han sido publicados en *Astronomy & Astrophysics*.

Durante 2008, N.L. Martín Hernández, C. Esteban y A. Mesa-Delgado, junto a E. Puga (Univ. de Lovaina, Bélgica) y A. Bik (ESO, Alemania) han publicado en *Astronomy & Astrophysics* un estudio espectroscópico en el óptico e infrarrojo cercano de la región HII compacta M1-78. Los datos se obtuvieron en el telescopio WHT con los espectrógrafos ISIS y LIRIS. La conclusión más relevante es que M1-78 es un objeto insólito, combinación de una región HII compacta con una eyección enriquecida en nitrógeno producida por una estrella Wolf-Rayet.

N.L. Martín Hernández, junto con E. Puga, A. Bik, D. Nürberger (ESO, Chile) y L. Bronfman (Univ. de

Chile) han publicado un artículo en *Astronomy & Astrophysics* sobre datos LIRIS de IRAS 19410+2336, un objeto estelar joven masivo que presenta emisión débil en radio, posiblemente asociada a la presencia de una estrella masiva recién formada que está empezando a ionizar el medio que la rodea. Este objeto está además asociado a un gran número de chorros bipolares y su espectro en el infrarrojo cercano está caracterizado por líneas muy intensas de H₂. La combinación de estas observaciones en el infrarrojo cercano con observaciones previas en el infrarrojo mediano (Spitzer) y en el submilimétrico nos ha permitido caracterizar las propiedades principales de este objeto.

N.L. Martín Hernández, en colaboración con E. Peeters A.G.G.M. Tielens y C. Boersma (Univ. de Groningen, Países Bajos), han finalizado un estudio del espectro en el infrarrojo medio de cuatro estrellas Herbig Ae/Be, que está caracterizado por bandas en emisión de las denominadas Unidentified Infrared Bands (UIRs) a 8.6, 11.2 y 12.7 micras. Estas bandas están asociadas a moléculas PAHs (es decir, hidrocarburos aromáticos policíclicos). La detección de estas bandas haciendo uso de observaciones espacialmente resueltas permite estudiar la geometría de los discos que rodean a estas estrellas y, lo más importante, acotar los modelos de evolución de estos discos. Un artículo centrado en estos cuatro objetos está prácticamente terminado y será enviado a *Astronomy & Astrophysics*.

En colaboración con D. Schaerer (Obs. de Ginebra, Suiza), B. Brandl y P. van der Werf (Univ. de Leiden, Países Bajos), N.L. Martín Hernández está analizando imágenes de filtro estrecho y espectros de baja resolución en el infrarrojo medio obtenidos con VISIR (VLT) de la galaxia starburst NGC7552. Comparaciones con imágenes obtenidas en el óptico, infrarrojo cercano y radio están siendo de gran utilidad para acotar las propiedades físicas de la zona central de esta galaxia, donde se ha encontrado un gran número de supercúmulos estelares. Se están analizando las propiedades de estos cúmulos en términos de masa, luminosidad, edad, etc. con la idea de entender mejor los mecanismos de formación estelar y procesos de feedback de este tipo de galaxias. Se espera publicar los primeros resultados de este estudio a principios de 2009.

L. López-Martín, en colaboración con E. Benítez Lizaola (UNAM, México) ha realizado un análisis de galaxias Seyfert de tipo intermedio a través de la fotometría en la banda R. El objetivo de este análisis es obtener la masa del agujero negro y tratar de

establecer una relación empírica de la masa del agujero negro con el índice de Sersic del bulbo de la galaxia.

L. López-Martín, en colaboración con S. Arribas (DAMIR, Madrid) redujo y analizó espectros bidimensionales obtenidos en septiembre del 2008 en el telescopio WHT con Integral. Este análisis trata de demostrar que desde Tierra con espectroscopía bidimensional de campo se pueden detectar tránsitos de planetas extrasolares.

L. López-Martín, A.R. López Sánchez y A. Mesa Delgado están analizando espectros bidimensionales de la galaxia IC 10 obtenidos durante este año en el CAHA (Almería) con PMAS. Se pretende obtener mapas bidimensionales de la densidad y otros parámetros físicos y cinemáticos de esta galaxia.

A.R. López Sánchez (ATNF, Australia) en colaboración con C. Esteban y B. Koribalski (ATNF) han realizado observaciones con el radio-interferómetro ATCA (Narrabri, Australia), en frecuencias del hidrógeno neutro (21 cm) y radio-continuo a 20 y 13 cm de un grupo de galaxias *starburst* enanas cercanas. Durante 2008 se han obtenido más de 100 horas de observación para el Proyecto, por lo que se puede decir que se dispone del mejor conjunto de datos sobre gas neutro para una muestra de objetos de este tipo. Un análisis preliminar de algunos de ellos demuestra la presencia de interesantes rasgos de interacción en muchos de los objetos cosa que, en algunos de ellos, ya se intuía por algunos indicios de la morfología óptica o en los espectros ópticos.

Durante 2008 A.R. López Sánchez y C. Esteban publicaron en *Astronomy & Astrophysics* un extenso trabajo que recopila los resultados de la tesis de López Sánchez referentes a la fotometría en filtros anchos (óptica e infrarroja) así como en filtros estrechos (Ha y continuo adyacente) de 20 galaxias Wolf-Rayet. En este trabajo se analiza la morfología y el entorno de cada sistema y se cuantifican sus propiedades fotométricas. En 2009 se espera publicar, en sendos artículos, los resultados concernientes a la espectroscopia de rendija de los objetos y sobre la tasa de formación estelar a partir de observaciones multifrecuencia.

S. Simón Díaz en colaboración con C. Esteban, J. García Rojas y A.R. López Sánchez, están finalizando el estudio espectroscópico detallado y la modelización de la estructura de ionización de la

región HII M43. La finalidad de estas observaciones es entender mejor la estructura física de esta nebulosa y obtener restricciones nebulares a los flujos ionizantes que predicen los modelos de atmósfera estelar. Este trabajo cuenta además con la colaboración de C. Morisset y G. Stasinska (Obs. de París, Francia).

En octubre de 2008 se incorporó al Proyecto como becario FPIM. Núñez Díaz. Está finalizando la fase docente del Master en Astrofísica y comenzará el trabajo de introducción a la investigación con el grupo. El tema de su tesis es la obtención y análisis de un mapa espectroscópico profundo de la Nebulosa de Orión a partir de un mosaico de datos de espectroscopia bidimensional. Para conseguir dichos datos, se disponen de dos noches de observación con el espectrógrafo bidimensional PMAS en modo PPAK del telescopio de 3.5 m de Calar Alto para febrero de 2009. La tesis doctoral será dirigida por C. Esteban y por S. Sánchez (CAHA).

Durante 2008, el grupo ha realizado observaciones en los siguientes telescopios: 2 campañas en el WHT en el ORM, 1 campaña en el 3.5 m CAHA, 1 campaña en el 8 m VLT de Cerro Paranal, Chile y 2 campañas en el radiointerferómetro de 6 antenas de 22 m de ATCA en Narrabri, Australia. Para 2009 se ha conseguido tiempo para propuestas en los telescopios de 3.5 m de CAHA, 8 m VLT y ATCA.

Durante 2008 se participó en los siguientes congresos o escuelas: "The NEON 3D Spectra School" (Potsdam, Alemania); "The Cosmic Odyssey of the Elements" (Egina, Grecia); "Star-forming dwarf galaxies: following Ariadne's thread to the cosmic labyrinth" (Creta, Grecia) y "VIII reunión científica de la Sociedad Española de Astronomía" (Santander).

En octubre-noviembre A. Mesa Delgado realizó una visita de trabajo de 3 semanas al Instituto de Astronomía de la UNAM (México) con el fin de trabajar con J. García Rojas en la reducción de datos echelle y avanzar en algunos proyectos en común, también visitó el INAOE (Tonantzintla) y el Centro de Radioastronomía y Astrofísica de Morelia para discutir con algunos investigadores.

En noviembre-diciembre C. Esteban realizó una visita de trabajo de 2 semanas al Australian Telescope National Facility en Sydney (Australia) para trabajar con A.R. López Sánchez y observar con el radiointerferómetro ATCA en Narrabri.

ESTUDIO FÍSICO DE NEBULOSAS PLANETARIAS (311586)

A. Manchado.

A. García Hernández y S. Iglesias Groth.

L. Stanghellini (NOAO, EEUU); E. Villaver (UAM, Madrid); P. García Lario, (ESAC, Madrid); M. Guerrero (IAA, Granada); G. García-Segura (UNAM, México); L. Bianchi (YHU, EEUU).

Introducción

En este Proyecto se estudian las últimas fases de la evolución de las estrellas de masa intermedia $M < 10 M_{\odot}$. En particular las fases entre las estrellas AGB (Asymptotic Giant Branch) y Nebulosas Planetarias (NPs). Se persigue el estudio de los mecanismos de pérdida de masa y como éstos afectan a la morfología y cinemática de las NPs. En concreto como afectan los campos magnéticos, rotación estelar y sistemas binarios a la pérdida de masa, y por tanto en la morfología de las NPs. Asimismo, se pretende estudiar la evolución química de las envolturas tanto del material molecular como del gas ionizado y su relación con los procesos de pérdida de masa.

En particular el estudio de las NPs con capas múltiples permite investigar con mayor detalle la pérdida de masa en las últimas fases de la etapa AGB. Mediante simulaciones numéricas se puede estudiar la evolución dinámica de la pérdida de masa.

Por otro lado el estudio de la química en las estrellas AGB nos permitirá segregar los rangos de masas que dan lugar a diferentes morfologías. El estudio de las absorciones de tipo DIBs en estrellas post-AGB nos permitirá inferir la presencia de moléculas orgánicas complejas. Para ello se estudiará dichas moléculas orgánicas complejas (PAHs y fulleneros) en condiciones de laboratorio similares a las del medio interestelar.

Dado que las estrellas centrales de las NPs son muy luminosas nos permiten estudiar la población "intercluster" en los cúmulos de galaxias.

Algunos resultados relevantes

Se ha logrado identificar una de las moléculas de mayor complejidad encontradas hasta ahora en el medio interestelar, el naftaleno. Su detección sugiere que buena parte de los componentes clave en la química prebiótica terrestre podrían haber estado

presentes en el material interestelar a partir del cual se formó el Sistema Solar.

El naftaleno se ha descubierto en una región de formación estelar de la constelación de Perseo, en dirección a la estrella Cernis 52. Las bandas espectrales halladas en esta constelación coinciden con las medidas en laboratorio para el catión de naftaleno.

Sometido a radiación ultravioleta y combinado con agua y amoníaco, muy comunes en el medio interestelar, el naftaleno reacciona y es capaz de producir una gran variedad de aminoácidos y también naftoquinonas, las moléculas precursoras de las vitaminas.

Todas estas moléculas desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la vida tal y como la conocemos en la Tierra. De hecho, el naftaleno se ha encontrado en los meteoritos que caen a la Tierra y que la bombardearon mucho más intensamente en las épocas previas a la aparición de la vida.

Evolución del Proyecto

Se ha trabajado en el análisis de abundancias isotópicas de C, N, y O en estrellas de carbono deficientes en hidrógeno. Como resultado de este trabajo se ha aceptado un artículo en *Astrophysical Journal*.

Se han analizado espectros Spitzer de una muestra de 40 Nebulosas Planetarias del bulbo de nuestra Galaxia y como resultado de este análisis se ha aceptado un artículo en *Astronomy & Astrophysics Letters*.

Se ha finalizado la reducción de los espectros Spitzer de una muestra de 88 estrellas post-AGB sin contrapartida óptica. Los datos están siendo analizados y se prevén varias publicaciones durante 2009.

Se obtuvieron 10 horas de observación (en modo servicio) en el telescopio 9.2 m Hobby-Eberly Telescope (HET, McDonald Observatory, EEUU) con el instrumento HRS para la propuesta UT08-3-016, "A search for naphthalene in regions of the interstellar medium with anomalous microwave emission". Los datos obtenidos con el telescopio HET ya han sido reducidos y están siendo analizados.

Durante 2008 fueron aceptadas y llevadas a cabo tres propuestas científicas para el último ciclo del satélite espacial infrarrojo Spitzer. Los datos

disponibles hasta el momento han sido reducidos. Los primeros resultados de uno de estos proyectos (#50212) fueron presentados en el congreso "Cosmic Dust Near & Far".

Se han empezado a analizar las observaciones científicas tomadas en el Observatorio ESO-Paranal (Chile) con el telescopio VLT y el espectrógrafo UVES durante las noches del 27 al 29 de octubre de 2007. Los datos están reducidos y se han creados espectros sintéticos para derivar las abundancias químicas.

Durante este año he investigado las bandas difusas del complejo molecular de Perseo. He trabajado con los datos obtenidos en las observaciones del telescopio WHT (ISIS), McDonald 2.7 m y del HET del Observatorio de McDonald, Texas. EEUU.

También he colaborado con el profesor F. Cataldo, dentro del proyecto del Ministerio AYA 2007 para la caracterización de los fullerenos hidrogenados y obtención de sus espectros a bajas temperaturas.

He participado impartiendo una charla en la IAU 251 en Hong Kong, el pasado mes de febrero y he presentado también dos pósters en el meeting de Heidelberg y uno en la JENAM 2008 dando a conocer los últimos resultados de la detección del catión del naftaleno y sobre la investigación de los Polynes Fullerenes carbon dust.

Se ha realizado durante el mes de diciembre las observaciones en el ORM en el telescopio TNG para continuar la investigación de las bandas difusas en el complejo molecular de Perseo.

ESTRELLAS BINARIAS (P7/88)

C. Lázaro.

M.J. Arévalo Morales, I. González Martínez-País, P. Rodríguez Gil, T. Shahbaz, H. Hernández Peralta, J. Casares Velázquez y J.M. González Peréz.

B.T Gänsicke, T.R. Marsch, A. Aungwerowit, M. Dillon, A. Rabassa Mansergas (Univ de Warwick, Reino Unido); M. Pérez Torres, D. Steeghs (Harvard Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); M. López Morales (Carnegie Institution of Washington EEUU); R. Iglesias Marzoa, V. Tamazian (Obs. de Santiago de Compostela); V.S. Dillon (Univ. de Sheffiel, Reino Unido); A. Schwoppe, A. Nebot (Astrophysikalischs Institut Potsdam, Alemania); L. Schmidtobreick, K.O. Brien, E. Mason (ESO, Chile); C. Tappert (Univ. Católica, Chile); M. Schreiber (Univ. Valparaiso, Chile); P. Hakala, A. Somero (Univ. de Helsinki, Finlandia); C. Allende (Univ. de Austin Texas, EEUU).

Introducción

El estudio de las estrellas binarias es una parte esencial de la Astrofísica Estelar. Se cree que la mayoría de las estrellas de la Galaxia se han formado en sistemas binarios o múltiples, por lo que entender la estructura y la evolución de estos sistemas es importante desde el punto de vista estelar y galáctico. En muchos casos, cuando los periodos orbitales son cortos y la separación entre componentes comparable al radio de las estrellas, la evolución es influida por su interacción mutua, dando lugar a procesos físicos y recorridos evolutivos muy distintos que los observables en estrellas aisladas. Especialmente relevante es el efecto de transferencia de masa entre las estrellas, como se produce en las binarias de tipo Algol, en las variables cataclísmicas, en las binarias de rayos X, algunos tipos de sistemas estudiados en este Proyecto.

Un aspecto donde las binarias juegan un papel fundamental es en la determinación de parámetros estelares absolutos, siendo la única fuente de valores precisos para los radios y las masas estelares.

En este Proyecto se siguen varias líneas de trabajo:

El estudio fotométrico, espectrocópico y polarimétrico de sistemas con periodo orbital corto, clasificados como Variables Cataclísmicas, dirigido a entender las estructuras de acreción que se forman a consecuencia de la transferencia de masa, así como su evolución.

La determinación de parámetros absolutos en binarias eclipsantes de tipo Algol, en base a curvas de luz en el sistema fotométrico Stromgren y en el rango infrarrojo, complementadas con observaciones espectroscópicas. Este tipo de binarias son también de gran interés para el estudio de los efectos de radiación externa sobre las atmósferas estelares.

Obtención de curvas de luz en el visible e infrarrojo de binarias separadas, formadas por estrellas de muy poca masa, complementadas con observaciones espectroscópicas para la obtención de sus curvas de velocidad radial. La finalidad es determinar con mayor precisión los parámetros absolutos estelares en el rango de "secuencia principal" poco masiva.

Una de las principales líneas de investigación del proyecto "Estrellas binarias" es el estudio de la estructura y evolución de las variables cataclísmicas. Entre los objetivos primordiales se pretende corroborar o desmentir ciertas predicciones que hace la teoría estándar de evolución de estos sistemas binarios llevando a cabo estudios

poblacionales tanto en la región cercana al mínimo periodo orbital observado (~ 80 min), como en la frontera superior del period gap, en el intervalo de periodos orbitales comprendido entre 3 y 4.5 horas. Cerca del periodo mínimo (~ 65 min según la teoría) se predice una concentración de más del 90% de la población total de cataclísmicas, que nunca ha sido encontrada observacionalmente. Para probar o descartar esta afirmación, se están midiendo los periodos orbitales de toda la muestra de nuevas cataclísmicas del Sloan Digital Sky Survey (~ 200 sistemas) a través de un ingente esfuerzo observacional. Hasta este momento esta muestra es la más completa y exenta de efectos de selección disponible.

Por otra parte, el grupo de investigación ha demostrado que existe una gran densidad de sistemas intrínsecamente muy luminosos (ej. con tasas de transferencia de materia muy altas) en el rango de periodos orbitales comprendido entre 3 y 4,5 horas, que se conocen como sistemas SW Sextantis. Es precisamente en un periodo orbital de 3 horas donde la teoría predice el cese del transporte de masa (y la entrada al periodo gap, donde el sistema se separa antes de llegar de nuevo al contacto en un periodo de 2 horas) debido a que la estrella donante se vuelve completamente convectiva, lo cual se contradice con la existencia de las cataclísmicas con mayores ritmos de transferencia de masa justo en la frontera superior de 3 horas. En este sentido, se están realizando por vez primera medidas dinámicas de las masas de las estrellas que forman los sistemas SW Sextantis durante estados de cese temporal de la acreción, cuando la desaparición del brillante disco permite la observación de ambas componentes estelares. Los valores de las masas serán confrontados con los teóricos. Es de destacar que este último proyecto es liderado por el grupo de Estrellas Binarias del IAC (IP: P. Rodríguez-Gil) y cuenta con una amplia colaboración internacional.

Respecto a este mismo grupo de cataclísmicas, las SW Sextantis, se ha continuado con el trabajo de investigación sobre su estructura de acreción, que debería explicar el complicado comportamiento espectroscópico y fotométrico que muestran estos sistemas.

Algunos resultados relevantes

Durante este año se han observado, durante más de 40 noches, binarias separadas de componentes poco masivas. Las observaciones se han hecho con los telescopios del Observatorio del Teide IAC-80 y TCS. Durante estas campañas de observación se han completado en visible (filtros V,R e I) e infrarrojo (filtros J y K) cuatro nuevos sistemas (descubiertos

en las bases de datos NSVS, OGLE y SWASP). R. Iglesias Marzoa está actualmente llevando a cabo la reducción y análisis de los datos como parte de su tesis doctoral. Las publicaciones de los resultados de este programa no son fáciles porque exigen la obtención de curvas de luz completas tanto en el rango visible como infrarrojo, así como sus curvas de velocidad radial, para poder determinar las masas estelares. Las observaciones espectroscópicas las están realizando nuestros colaboradores (M. López-Morales, en el Obs. Hopkins, EEUU, con el telescopio de 1.5 m). Actualmente ya se han completado y analizado dos nuevas binarias, cuyos resultados esperamos publicar en los próximos meses. Un resumen del trabajo realizado hasta la fecha fue presentado en julio, durante la reunión del "Cool Stars 15", en St. Andrews (Reino Unido).

Recientemente se ha llevado a cabo el análisis de nuestras curvas de luz infrarrojas (J, H y K) de la binaria Z Vul, junto con curvas de luz en U,B y V disponibles en la literatura, así como observaciones espectroscópicas obtenidas en junio en el telescopio INT del ORM. Para el análisis se ha utilizado el código BinaRoche desarrollado por C. Lázaro. Esto ha permitido determinar los parámetros absolutos y tipos espectrales de las componentes de esta binaria tipo Algol. Este trabajo acaba de ser aceptado para su publicación en *New Astronomy*.

En relación a las variables de tipo SW Sex, los datos de J1643.7+3402 ya han sido analizados y se ha enviado una publicación a *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, el árbitro ha contestado con un informe en el que se sugieren cambios menores, por lo que el artículo puede considerarse prácticamente aceptado. En este trabajo se ha encontrado polarización circular variable a niveles del 0.5%, siendo la periodicidad de dicha variación de 19 minutos. Claramente relacionadas con ésta, se ha encontrado variabilidad en la anchura equivalente de la línea H α 4686, con un periodo doble del de la polarización, y en su velocidad radial, con un periodo cuya frecuencia corresponde a la de batido entre la frecuencia de polarización y la orbital $\omega = \omega_{\text{pol}} - \Omega_{\text{orb}}$. Esta fenomenología nos dice que el sistema es, sin lugar a dudas magnético, pero la interpretación detallada de las periodicidades encontradas aún está por hacer.

Se han reducido y analizado los datos de otro sistema muy parecido al anterior, BO Cet, habiéndose encontrado resultados cualitativamente muy parecidos a los encontrados en J1643.7+3402. Los resultados se publicarán próximamente.

En julio se han realizado más observaciones en el marco de este Proyecto, esta vez con un cambio en la dirección de búsqueda de polarización. Una vez

que ya se ha encontrado polarización con propiedades similares en tres de los tres sistemas SW Sex estudiados (LS Peg, J1643.7+3402 y BO Cet), y dado que los tres son de baja inclinación, se da por demostrado que la polarización es una propiedad observacional que parece ser común, al menos en los sistemas no eclipsantes (al menos no es una propiedad anómala). El siguiente paso, pues, es la búsqueda de polarización en sistemas SW Sex no eclipsantes, y esto es lo que se ha comenzado con la observación del sistema V1315 Aql. Aún es pronto para adelantar ningún resultado ya que apenas se ha comenzado a reducir los datos.

Como parte de la tesis de J. Corral se está compilando una muestra de espectros de distintas poblaciones de objetos con emisión en $H\alpha$ (y que contaminan los diagramas color-color de IPHAS), como son las Variables Cataclísmicas. El objetivo es caracterizar sus propiedades en los diagramas color-color a fin de eliminarlos y poder obtener una muestra de candidatos a binarias de rayos X en quietud, libre de contaminantes. Un resultado «lateral» de este estudio ha sido la medición de la curva de velocidad radial del sistema SY Cnc y del cociente de masas (vía el ensanchamiento rotacional de las líneas fotosféricas de la estrella compañera) Se obtiene un cociente de masas $q=M1/M2=1.3$ que sugiere que en esta binaria se produce un fenómeno de transferencia de masa inestable.

ESTRELLAS DE BAJA MASA, ENANAS MARRONES Y PLANETAS GIGANTES (P6/95)

R. Rebolo.

M.R. Zapatero Osorio, V.J. Sánchez Béjar, B. Femenía Castella, K.Y. Peña Ramírez y G. Bihain.

Colaboradores del IAC: E.L. Martín Guerrero, N. Lodieu, M.L. Valdivielso Casas y S. Hildebrandt Rafels.

80 A. Pérez Garrido, I. Villó, A. Díaz Sánchez (Univ. Politécnica de Cartagena); J.A. Caballero (Univ. Complutense de Madrid); T. Henning, R. Mundt, B. Goldman (MPIA, Alemania); Y. Pavlenko (Main Obs. Academy of Science, Ucrania).

Introducción

Se pretende investigar los procesos que conducen a la formación de estrellas de baja masa, enanas marrones y los planetas gigantes y caracterizar las propiedades físicas de estos astros en varias etapas

evolutivas. Esta clase de objetos es probablemente la más numerosa de nuestra Galaxia, pero no por numerosa es mejor conocida. Los objetos subestelares constituyen uno de los grupos más difíciles de estudiar desde el punto de vista observacional dada su baja luminosidad intrínseca. Se pretende establecer la frecuencia, multiplicidad y distribución espacial de estos objetos en la vecindad del Sol y en regiones de formación estelar cercanas con el fin de proporcionar información sobre los mecanismos que los originan. Se hace especial énfasis en empujar la frontera de detección hacia los objetos de menor masa, bien sea como objetos ligados por atracción gravitatoria a otros, o flotando libremente en el espacio interestelar. Los objetos menos masivos también suelen ser los de menor luminosidad intrínseca y temperaturas superficiales más frías por lo que entrañan notable dificultad de detección por medio de imagen directa. Sin embargo, la detección directa permite una caracterización fotométrica y espectroscópica mucho más completa y una mejor determinación de sus propiedades físicas y químicas.

Algunos resultados relevantes

Se han detectado varios candidatos a enanas de tipo T en el cúmulo de sigma Orionis. Estos superJúpiteres en proceso de formación estarían flotando libremente en el espacio interestelar de esta región de formación estelar y suponen un desafío a los mecanismos de formación de planetas gigantes masivos.

Evolución del Proyecto

Utilizando datos del VLT (ISAAC), del NTT (SOFI), 3.5 m de Calar Alto (Omega 2000) y 2.5 INT (WFC) se han encontrado varios candidatos a enanas de tipo T en el cúmulo de sigma Orionis. De acuerdo con recientes modelos del grupo de Lyon sobre evolución de planetas gigantes masivos, estos objetos tendrían una masa aproximada de unas 4 veces la masa de Júpiter y serían los de menor masa descubiertos hasta la fecha flotando libremente en regiones de formación estelar. Su origen es incierto, podrían haber sido producidos directamente como resultado del colapso y fragmentación de las nubes que dan lugar a estrellas y enanas marrones o podrían haberse originado en discos protoplanetarios mediante inestabilidades gravitacionales y haber sido eyectados en una fase muy temprana de su evolución, ya que el cúmulo tiene una edad estimada entre 3 y 5 millones de años.

Mediante el estudio espectroscópico en el óptico de 9 estrellas del cúmulo de Sigma Orionis y en comparación con espectros sintéticos, se ha podido

determinar las abundancias químicas de elementos como Al, Ca, Si, Fe, Ni y Li. Como resultado, podemos decir que la metalicidad del cúmulo es prácticamente Solar ($Fe/H = -0.02$) y que la abundancia de Li es consistente con la estimada para el medio interestelar. No hay evidencia de destrucción de litio en los objetos investigados.

Se ha investigado la posible variabilidad de cinco enanas L6-T6 debida a la presencia de nubes de polvo en espectros infrarrojos cercanos. Como resultado, ninguno de los objetos presenta en grandes rangos de longitud de onda variaciones mayores del 2-3%, indicando que no existen inhomogeneidades en la cobertura de nubes de tamaño mayor al 5-8% de la superficie total.

Se ha llevado a cabo observaciones con FastCam en los telescopios TCS y NOT y con Astralux en el 2.2 m de Calar Alto en varios cientos de estrellas M de la vecindad solar (distancias menor que 20 pc) para estudiar su multiplicidad. Estas imágenes tomadas principalmente en banda I tienen una resolución espacial de 0.1 arcsec y permiten detectar la presencia de compañeros típicamente 4-5 magnitudes más débiles que la primaria. Se persigue determinar la frecuencia de las binarias con distintas razones de masa. Con FastCam en el telescopio NOT se ha llevado a cabo un programa de observación de estrellas jóvenes con compañeros subestelares previamente conocidos por observaciones con Óptica Adaptativa en el telescopio Keck. Se ha logrado detecciones de objetos compañeros a 1 arcsec de la estrella primaria con una diferencia de más de 10 magnitudes en banda I. También se han realizado varias campañas de observación en el cúmulo globular M15 con FastCam (banda I) en el telescopio NOT con el fin de investigar la población estelar de baja masa en su núcleo. Se ha logrado detectar cientos de estrellas en un radio de 5 arcsec del centro del cúmulo hasta I mag de 20. Se está investigando el movimiento propio de estas estrellas en comparación con imágenes tomadas por el HST hace más de una década.

NATURALEZA Y EVOLUCIÓN DE BINARIAS DE RAYOS X (P10/97)

J. Casares.

A. Herrero Davó, T. Shahbaz, R. Cornelisse, M. Durant, I. González Martínez-País, P. Rodríguez Gil, G. Israelian, J.M. Corral Santana, C. Zurita Espinosa, T. Muñon Darías y H. Hernández Peralta.

Colaborador del IAC: T. Muñon Darías.

M. Pérez Torres (MIT, EEUU); P.A. Charles (SAAO, Sudáfrica); T. Marsh, D. Steeghs, B. Gaensicke (Univ. de Warwick, Reino Unido); V. Dhillon (Univ. de Sheffield, Reino Unido); R.I. Hynes (Univ. de Louisiana, EEUU); F. Mirabel (ESO, Chile); J.M. Paredes, M. Ribó (Univ. de Barcelona); J. Martí (Univ. de Jaén); P. Molaro (Obs. de Trieste, Italia); P. Bonifacio,; J. González (Obs. de París, Francia); S. Campana, P. D'Avanzo (Obs. Merate, Italia); M. Wagner (Flagstaff Obs., EEUU); P. Hakala (Univ. de Helsinki, Finlandia); C. Haswell (The Open Univ., Reino Unido); I. Negueruela (Univ. de Alicante).

Introducción

Las Binarias de Rayos X son binarias compactas dominadas por procesos de acreción sobre estrellas de neutrones (NS) o agujeros negros (BH). Un subgrupo de estos sistemas (binarias transitorias de rayos X, SXTs) se caracteriza por la presencia de erupciones recurrentes (varias décadas) durante las cuales la luminosidad aumenta típicamente un factor 10³-10⁶ en los rangos óptico y rayos X, respectivamente. Estos sistemas ofrecen un interés especial ya que contienen los candidatos a BH más firmes conocidos vía la determinación de la función de masa de la estrella compañera. El análisis de estos residuos estelares compactos es esencial, entre otras cosas, para el conocimiento de las últimas etapas en la evolución de estrellas masivas y la estructura de la materia nuclear. Desgraciadamente, el número de BH detectado es todavía demasiado pequeño para abordar análisis estadísticos comparativos con la población de binarias con NS.

Los objetivos científicos que se persiguen son:

Expandir la muestra de BH midiendo funciones de masa en nuevas binarias transitorias. Asimismo, determinar los cocientes de masas y ángulos de inclinación para estimar las masas de las dos componentes y, por tanto, la naturaleza de los objetos compactos. Para ello se utilizan diversas técnicas espectrofotométricas en los rangos óptico e IR.

Abordar estudios estadísticos de la muestra de BH respecto a binarias con NS (ej. distribución de masas, cocientes de masa, distribución galáctica) para caracterizar las dos poblaciones de objetos compactos. Se espera obtener información que permita imponer restricciones a la ecuación de estado de la materia nuclear, por un lado, y a la edad y evolución de estos sistemas, por otro (ej. M_{max} para NS, M_{min} para BH, pérdida de masa de las estrellas progenitoras).

Analizar la estructura y variabilidad de los discos de acreción alrededor de los objetos compactos en diferentes bandas espectrales (óptico-rayos X). La

distribución espectral durante la erupción (especialmente a altas energías) y su variación temporal es esencial para restringir los modelos de erupción y la estructura física del disco (ej. radio del disco advectivo o ADAF). Asimismo, pueden proporcionar información para desvelar la naturaleza del objeto compacto mediante el estudio del perfil de líneas de emisión (ej. 6.4 keV). En el óptico se estudiará la variación orbital de los perfiles de emisión utilizando técnicas de tomografía doppler. Esto permitirá analizar la distribución radial de emisividad de los discos y obtener restricciones al tamaño del disco, ritmo de transferencia de masa y estado evolutivo. Además, se ha abierto una nueva ventana con el descubrimiento de variabilidad óptica rápida (mins-segs) en los discos de acreción en quietud en varios BHs y NS. Es importante ampliar la muestra de sistemas y extraer el espectro de la variabilidad para restringir posibles mecanismos de producción. Por ejemplo, el estudio de las oscilaciones quasi-periódicas (QPOs) y de las propiedades del ruido temporal permite distinguir entre diferentes modelos de discos alabeados por irradiación y extraer información privilegiada sobre las inestabilidades que se forman en los discos alrededor de objetos compactos. Por su parte, el estudio de variaciones fotométricas durante las erupciones y la quietud permite determinar parámetros fundamentales de estos sistemas binarios, esenciales para determinar las masas de las componentes: ej. P_{orb} e inclinación mediante eclipses y efectos de irradiación, y cociente de masas a partir del período de "superhump" (batido entre el período de precesión del disco y P_{orb}).

Asimismo, se pretende estudiar la composición química de las estrellas compañeras y, concretamente, establecer el origen de las altas abundancias de litio y elementos-a descubiertas por el grupo. Para ello se proyecta:

- Realizar análisis de metalicidad para encontrar evidencias de la explosión de Supernova que dio origen al BH/NS. Anomalías en las abundancias nos permitirán reconstruir la historia evolutiva de las estrellas progenitoras.
- Investigar la formación de líneas de litio en los discos de acreción y en las atmósferas de las estrellas secundarias. La razón isotópica $Li7/Li6$ es un indicador del mecanismo de aceleración de partículas que produce estos elementos en el entorno del BH o NS.

Algunos resultados relevantes

Descubrimiento de un período de 3.2 horas en SWIFT J1753.5-0127: este resultado implica el

período orbital más corto conocido para una binaria con agujero negro (Zurita et al. 2007 *Astrophysical Journal* 681 1458)

Detección de la estrella compañera en SAX J18708.4-3658: el estudio de las líneas de Bowen durante la erupción de 2008 proporciona las primeras restricciones dinámicas en una binaria de rayos X transitoria con pulsar milisegundo. Este tipo de sistemas son demasiado débiles en quietud y, por tanto, sólo la técnica de Bowen permite restringir las masas de las componentes (Cornelisse et al. arXiv:0812.3032).

Descubrimiento de correlaciones rápidas óptico/rayos X en GX 339-4: las propiedades de las funciones de correlación descartan reprocesamiento y apoyan emisión sincrotrón en un escenario de interacción entre la corona del disco y un jet (Gandhi et al. 2008 *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* 390 L29).

4.- Detección de flares ópticos en el soft gamma-ray repeater SWIFT J195509+261406: las observaciones sugieren actividad de tipo magnetar y se propone que este sistema es miembro de una población intermedia entre soft-gamma-ray repeaters y estrellas de neutrones aisladas (Castro-Tirado et al. 2008 *Nature* 455 506).

5.- Detección de polarización lineal en el IR cercano en Sco X-1 y Cyg X-2: se interpreta como emisión sincrotrón producida por jets (Shahbaz et al. 2008 *Astrophysical Journal* 672 510).

Evolución del Proyecto

Continúa el desarrollo de los programas de búsqueda de agujeros negros en estos sistemas, determinación de masas, tomografía Doppler, abundancia química de las estrellas compañeras y detección de Li. Este año se ha concluido el análisis de los datos espectroscópicos de BW Cir con VLT+FORS2 que rompen el "aliasing" que afecta al período orbital y, por tanto, a los parámetros fundamentales de esta binaria. Se ha elaborado y aceptado un artículo con los resultados. Por otro lado, se ha completado el estudio fotométrico del candidato a BH clásico KY TrA con el telescopio 3.5 m de La Silla para determinar el período orbital y estudiar su modulación elipsoidal. Las condiciones no fueron muy buenas y no se observa evidencia de variabilidad. Se continúa con la observación rutinaria del candidato a BH SWIFT J1753.5-0127, cuyo período orbital es el más corto, y que se encuentra aún en estado activo desde su descubrimiento en 2005. Se ha detectado una ligera subida de brillo. Por su parte, la curva de luz obtenida de XTE

J1855+226 con el telescopio NOT no ha sido suficiente para resolver la incertidumbre en el periodo orbital debido a la elevada calima, que afectó la precisión fotométrica. En todo caso, los datos favorecen un periodo en torno a las 6 horas. Se ha concedido una noche con el telescopio GTC+OSIRIS el próximo verano, que debería ser suficiente para resolver el periodo orbital y medir la función de masa.

Actualmente, el censo de BH con evidencia dinámica es de 20; hace falta un mínimo de unos 30 sistemas para abordar estudios estadísticos de sus propiedades fundamentales. Se prevé que en unos pocos años se pueda alcanzar esa cifra, gracias al descubrimiento de nuevos candidatos con los actuales satélites de rayos X, más los candidatos clásicos, accesibles a telescopios de 8-10 m. J. Casares impartió una charla invitada plenaria sobre este tema en la Reunión de la SEA en Santander.

Además, la ventana abierta por el estudio de la mezcla de Bowen en Sco X-1 permite obtener información dinámica de binarias de rayos X persistentes y las primeras estimaciones de las masas de sus estrellas de neutrones. Se ha completado el análisis de datos VLT del sistema X0748-676 donde se presentan las primeras restricciones dinámicas en este sistema. El espacio de parámetros favorece la presencia de una estrella de neutrones masiva., para el caso en que la estrella compañera sea una estrella secuencia principal. Sin embargo, no se pueden descartar otros escenarios en los que la estrella de neutrones tenga una masa canónica. Estos resultados se presentan en un artículo que ha sido aceptado. Por su parte, no se pudieron realizar las observaciones VLT+FORS de los sistemas 4U 1556-605 y Ser X-1 por mal tiempo, se intentara en sucesivos semestres. Asimismo, continúa el análisis espectroscópico UVES de X1822-371 con el que se espera confirmar la presencia de una estrella de neutrones masiva en este sistema, estimada en 1.6-2.3 M_{\odot} . Este resultado tiene importantes implicaciones para el conocimiento de las ecuaciones de estado de la materia nuclear. Paralelamente, se obtuvieron datos espectroscópicos de la fuente SXTs con púlsar de milisegundo SAX J1808.4-3658: obtenidos en tiempo DDT durante la erupción de 2008. El análisis de los datos proporciona las primeras restricciones dinámicas a las masas de las estrellas en este sistema, se ha preparado un artículo que ya ha sido aceptado. El grupo tiene una propuesta de ToO (Tiempo de Oportunidad) aprobada en el telescopio WHT y se planea enviar un ToO al VLT para el estudio de estos sistemas durante la fase de

erupción, usando las líneas de Bowen. También está pendiente terminar el análisis y publicar los datos del millisecond pulsar XTE J1814-338, obtenidos durante la erupción de 2002.

Por otro lado, continúa el estudio de curvas de luz simultáneas de Bowen (con ULTRACAM y ULTRASPEC) y rayos X, (con RXTE) de varios sistemas (Técnica de Eco-tomografía). La variación orbital de los retrasos entre las curvas de luz ópticas y en rayos X depende fuertemente de los parámetros de la binaria (separación, inclinación cociente de masas) y puede utilizarse para restringir estos. Continúa el análisis de datos VLT+ULTRACAM/XTE del sistema V801 Ara y NTT+ULTRASPECT/XTE de X0748-676. Tenemos dos noches concedidas con telescopio WHT y cinco con el telescopio NTT para obtener más datos de Sco X-1, V801 Ara y X1822-371, con 150ks de XTE para observaciones simultáneas. En este último caso se pretende, además, resolver el spin de 0.42s de la estrella de neutrones en diferentes líneas de emisión y estudiar la variación orbital de la fase del pulso.

Con relación al estudio de variabilidad rápida en binarias de rayos X se completó el análisis de las curvas de luz de Cen X-4 y N.Mus 91 que muestran actividad tipo "flares" en diferentes bandas y con una amplitud del 40%. En este último sistema, el espectro de potencias muestra muchos QPOs, algunos altamente coherentes, como por ejemplo a 7.6 min. N.Mus 91 y Cen X-4 son las primeras transitorias de rayos X en la que más de una QPO ha sido detectada en tres bandas, lo que permitirá limitar la temperatura y el radio de la región de variabilidad rápida o "flaring". Se ha redactado un artículo listo para enviar. También se está preparando un artículo con el resultado de observaciones OPTIMA de HerX-1 en las que se detecta una QPO de 30s. Por su parte, se detecta una variabilidad de largo término con una periodicidad de ~1500 días en datos de archivo de XTE de GX 9+9, que no está acoplada con la variabilidad óptica observada en 6 noches de datos SAAO. Se ha enviado un artículo presentando este resultado.

En el apartado de abundancias químicas de las estrellas compañeras se ha iniciado el estudio de la base de datos espectroscópica de Cyg X-2, con la que se espera, además, caracterizar los parámetros estelares de la estrella compañera. Asimismo se ha conseguido tiempo con el telescopio Keck para estudiar la estrella compañera de V404 Cyg y está pendiente el análisis espectral de los datos de LS 5039.

ESTRELLAS MASIVAS AZULES (310898)

A. Herrero.

M. García García, A. Marín Franch, N. Castro Rodríguez, K. Uytterhoeven, S.A. Ramírez Alegría, S. Simon Díaz, G. Gómez Velarde y A. Rosenberg González.

R.P. Kudritzki, M.A. Urbaneja (IfA, Hawai, EEUU); J. Puls (Obs. de la Univ. de Munich, Alemania); D.J. Lennon (STScI, EEUU); C. Evans (Royal Obs. Edinburgh, Reino Unido); D. Figer (Rochester Inst. of Technology, EEUU); B. Davies (Univ. de Leeds, Reino Unido); N. Przybilla (Univ. de Bamberg, Alemania); F. Najarro, E. Puga (Centro de Astrobiología, Madrid); I. Negueruela, A. Marco, P. Pastor (Univ. de Alicante); I. Ribas (Univ. de Barcelona); L.J. Corral Escobedo (Univ. de Guadalajara, México); B. Vicente (IAA, Granada).

Introducción

Las estrellas masivas son auténticos motores de la evolución de las galaxias y el Universo. Nacen con al menos ocho masas solares, lo que las condena irremisiblemente a estallar como supernovas al cabo de unos pocos millones de años, tras sintetizar en su interior gran cantidad de elementos pesados que expulsarán al exterior en su mayor parte, alterándolo y modificando su composición química. Nuestro estudio se realizará preferentemente entre las que tienen más de veinte masas solares, cuyos fuertes vientos y campos de radiación inyectan a lo largo de su evolución enormes cantidades de energía mecánica y radiativa en el medio que les rodea, ionizándolo, calentándolo y acelerándolo. Su vida es tan breve que su mera presencia nos indica que han nacido recientemente. Son así excelentes trazadores de las propiedades del medio circundante y de la formación estelar, desde los brazos espirales de galaxias como la Vía Láctea hasta los estallidos de formación estelar intensa conocidos como *starbursts*.

Los espectros de estas estrellas contienen gran cantidad de información. Presentan un gran número de líneas de diferentes elementos químicos, como por ejemplo H, He, C, N, O, Si, Mg o Fe, y muestran fuertes signos de la pérdida de masa que constituye el viento estelar. Estos vientos posibilitan estudios espectroscópicos en galaxias lejanas permitiéndonos así obtener información esencial sobre las galaxias que las hospedan. Si hay presentes lentes gravitatorias, las líneas de los vientos estelares pueden ser usadas para obtener la composición química (metalicidad) de galaxias del Universo temprano con formación estelar activa. Por su alta

luminosidad, se pueden estudiar sus espectros individuales en galaxias cercanas más allá del Grupo Local, muy especialmente con los nuevos telescopios de la clase 8 - 10 m, y por ello han sido sugeridas repetidamente como posibles patrones de distancias. Además constituyen una de las pocas fuentes de las que obtener información directa de las zonas de alta extinción como el centro de nuestra Galaxia. Recientemente han despertado el interés por la población III y se las ha propuesto como fuentes de la reionización del Universo en épocas tempranas. Su final está relacionado con algunos de los más exóticos objetos y eventos conocidos, como las estrellas de neutrones y los agujeros negros, las binarias masivas de rayos X, los rayos cósmicos o los estallidos de rayos gamma.

La determinación de sus parámetros estelares y abundancias químicas permite una comparación detallada con las predicciones de la teoría de evolución estelar, pero como contrapartida exige un detallado cálculo del espectro emergente. Este cálculo detallado se complica debido a las fuertes condiciones de NETL, esfericidad y pérdida de masa, cuyo efecto es acoplar las ecuaciones del transporte de radiación, del equilibrio estadístico y de continuidad en una geometría esférica. Además, el problema debe resolverse utilizando una descripción realista del modelo atómico. Sin embargo, si disponemos de dichos parámetros estelares y abundancias, se pueden además comparar con las determinaciones de abundancias en el medio interestelar de nuestra galaxia y galaxias vecinas, y con las predicciones de las teorías de evolución química de las galaxias.

Los análisis de estrellas masivas en la Vía Láctea y en galaxias cercanas, tanto dentro como fuera del Grupo Local, pueden proporcionar una gran cantidad de información acerca de la estructura y evolución de estrellas y galaxias, bajo diferentes condiciones, extrapolables a regiones más alejadas del Universo. No obstante, ello requiere en identificar las estrellas masivas como tales, lo que obliga al uso de diagramas de color-magnitud y a la obtención de espectros de baja resolución. Además, es necesario recurrir a las observaciones en distintas longitudes de onda, para lograr los datos precisos. Aunque muchos parámetros pueden obtenerse de diferentes rangos espectrales, el UV es necesario para determinar velocidades terminales del viento, el visible para temperaturas efectivas, gravedades y pérdidas de masa; en ocasiones, el IR permite esas mismas determinaciones, y además proporciona información sobre gradientes de velocidad en la base del viento. La detección en radio permite determinar pérdidas de masa e identificar procesos no térmicos. La comparación de la pérdida de masa obtenida a

diferentes longitudes de onda puede indicar la presencia de condensaciones o grumos en el viento.

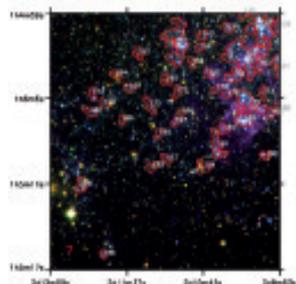
Las estrellas masivas nacen en regiones galácticas a menudo inaccesibles a nuestra vista, ocultas por el polvo presente en el plano de la Galaxia. En los últimos tiempos, gracias a observaciones IR (y otras longitudes de onda), se están descubriendo cúmulos de estrellas masivas que hasta hace poco nos eran completamente desconocidos. La búsqueda y estudio de estos cúmulos revelará importantes detalles de la formación estelar en nuestra galaxia, en particular la forma de la Función Inicial de Masas y su posible dependencia del entorno y la metalicidad, y la existencia de una masa de corte, a partir de la cual la naturaleza no formaría estrellas. Actualmente, esta masa parece situarse alrededor de las 150 masas solares, pero este dato está sin confirmar. Igualmente, los estudios IR pueden permitir acceder a las primeras fases de la vida de las estrellas masivas, cuando la evolución estelar tiene lugar todavía oculta por nube original. Particularmente interesante aquí es detectar el posible inicio del viento estelar y la naturaleza de las estrellas O Vz, un subtipo espectral con anchas líneas de H α 4686.

Los objetivos del Proyecto son los siguientes:

- Estudiar estrellas en asociaciones OB, regiones HII y sistemas binarios.
- Estudiar los vientos de las estrellas, en particular la existencia de condensaciones y la relación entre el Momento del Viento y la Luminosidad (WLR).
- Mejorar los modelos de atmósfera utilizados.
- Estudiar las estrellas en otras galaxias cercanas.
- Estudiar la formación de estrellas masivas en regiones oscurecidas de la Galaxia.

Algunos resultados relevantes

Se ha encontrado una estrella en IC 1613 con un espectro peculiar, que podría ser una candidata a Variable Luminosa Azul (LBV, Luminous Blue Variable). De confirmarse, se trataría de la mejor candidata a LBV conocida en un entorno de muy baja metalicidad.



Se completó nuestro catálogo de asociaciones OB en IC 1613, que ha sido enviado para su publicación.

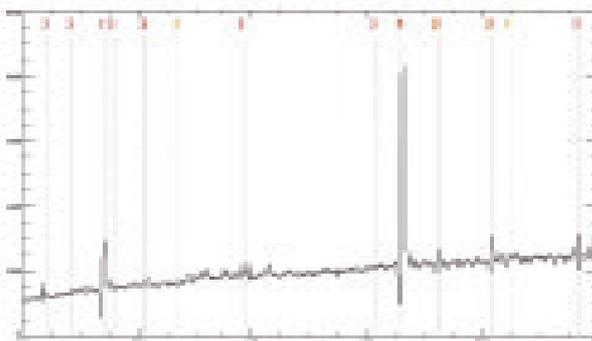
Se ha obtenido tiempo de observación para un Programa Largo de la ESO titulado "The VLT-FLAMES Tarantula Survey" (IP C. Evans) a fin de estudiar la población de estrellas masivas de esta región.

Evolución del Proyecto

Durante 2008 se han completado las observaciones de estrellas masivas en IC 1613 (VLT-VIMOS). Se destaca además la posible presencia de una estrella candidata a Variable Azul Luminosa (LBVc, Luminous Blue Variable candidate). De confirmarse, se trataría de un objeto muy interesante, ya que se trataría de una LBVc en un entorno de muy baja metalicidad. No obstante, la reducción de los datos de VIMOS está resultando muy exigente. También se ha obtenido tiempo de observación en el telescopio GTC, en llamada abierta, pero al ser en régimen de riesgo compartido no es seguro que se llegue a observar. Sin embargo, también se ha obtenido Tiempo Garantizado. Al ser en este caso para el modo de espectroscopía multiobjeto, no se podrá observar antes del semestre 2009B.

Este año se ha concluido el catálogo de estrellas y asociaciones OB en IC 1613, basado en observaciones con la WFC del telescopio INT. Gracias a una astrometría y fotometría superiores a las existentes hasta ahora en la literatura se han identificado un gran número de nuevas asociaciones OB, que además están mejor definidas. Está prácticamente concluido también el estudio de estas asociaciones, mediante diagramas color-magnitud, uso de trazas evolutivas y determinación de parámetros físicos (como masa, edad, y otros).

La tesis de N. Castro ha avanzado con la finalización de la clasificación de estrellas en la galaxia NGC55 (publicado en *Astronomy & Astrophysics*) y la mejora del modelo atómico de Silicio empleado en nuestros códigos. Actualmente este nuevo modelo atómico se está aplicando al análisis de estrellas en nuestra Galaxia y en NGC55, en la fase final de la tesis.



Se ha reducido y clasificado las estrellas observadas con el telescopio WHT-WYFFOS en noviembre de 2007. No obstante, se ha preferido dejar posibles análisis de estrellas en esta galaxia hasta que se puedan observar con el telescopio GTC, ya que esperamos que la SNR sea claramente mejor.

Se han realizado nuevas observaciones de estrellas OB utilizando series temporales con muy alta resolución ($R=45000$) a fin de estudiar variaciones temporales en los espectros que puedan asociarse a pulsaciones u otros mecanismos que pudieran explicar la presencia de ensanchamientos extraordinarios de las líneas espectrales, ensanchamientos que corresponden a velocidades supersónicas. Los primeros análisis muestran que aquéllas estrellas para las que fue necesario adoptar tales ensanchamientos supersónicos son las que parecen presentar mayores variaciones temporales en sus espectros.

Durante este año se ha implementado nuestro algoritmo genético para la determinación automática de parámetros estelares en el nodo de Supercomputación de LaPalma. No obstante, los cambios llevados a cabo en el nodo poco después de nuestra primera implementación han obligado a una revisión de nuestras macros de comandos y otros detalles que han retrasado la aplicación sistemática del algoritmo genético. El apoyo obtenido del Portal del Usuario del nodo ha sido muy importante para solucionar estos problemas.

Dentro de nuestro Proyecto de estudio de cúmulos masivos oscurecidos (MASGOMAS) se ha finalizado el estudio del cúmulo G61.48+0.09, que ha resultado ser un cúmulo con unas 1000-3000 masas solares. También se han obtenido espectros para otros dos cúmulos oscurecidos y se ha concedido tiempo de observación para obtener espectros en otro cúmulo más. Este conjunto de espectros infrarrojos en cúmulos esperamos que constituya el núcleo de la tesis de S. Ramírez, becario de la Agencia Española de Cooperación Iberoamericana, que se ha incorporado a nuestro proyecto a lo largo de este año.

PRUEBAS OBSERVACIONALES DE LOS PROCESOS DE NUCLEOSÍNTESIS EN EL UNIVERSO (3I2304)

G. Israelian.

E. Delgado Mena, J. Casares Velázquez, R.J. García López y R. Rebolo López.

Colaboradores del IAC: A. Herrero Davó y J. Trujillo Bueno.

M. Mayor, S. Udry, F. Pepe, G. Meynet, A. Maeder (Obs. de Ginebra, Suiza), N. Santos (Portugal); P. Bonifacio, J. González-Hernández (Obs. de Meudon, Francia), P. Molaro (Obs. de Trieste, Italia); D. Lambert (Univ. de Texas, EEUU); N. Shchukina (Obs. de Kiev, Ucrania); C. Melo, (ESO, Chile), S. Randich (Obs. de Arcetri, Italia), F. Musaeu (SAO, Rusia), A. Livshits (Univ. de Moscú, Rusia), B. May, M. Rowan Robinson (Imperial College, Univ. de Londres, Reino Unido), S. Dermott (Univ. de Florida, EEUU).

Introducción

Recientemente se han llevado a cabo varios análisis espectroscópicos de estrellas con planetas. Uno de los resultados más relevantes ha sido descubrir que las estrellas con planetas son en promedio más metálicas que las estrellas del mismo tipo espectral sin planetas conocidos (N. Santos, G. Israelian y M. Mayor 2001, *Astronomy & Astrophysics*, 373, 1019; 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 415, 1153). Existen dos hipótesis posibles para relacionar el exceso de metalicidad con la presencia de planetas. La primera es la del «autoenriquecimiento» que atribuye el origen de la sobreabundancia de metales observada en estrellas con planetas a la acreción sobre la estrella madre de grandes cantidades de material planetario rocoso, rico en metales y pobre en elementos como H y He. La hipótesis contraria es la principal y considera que el exceso de metales sea debido al alto contenido en metales de la nube protoplanetaria a partir de la cual se formó el sistema estrella-planeta.

Recientemente se han llevado a cabo varios análisis espectroscópicos de estrellas con planetas. Uno de los resultados más relevantes ha sido descubrir que las estrellas con planetas son en promedio más metálicas que las estrellas del mismo tipo espectral sin planetas conocidos (Santos, Israelian & Mayor 2001, *Astronomy & Astrophysics*, 373, 1019; 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 415, 1153). Existen dos hipótesis posibles para relacionar el exceso de metalicidad con la presencia de planetas. La primera es la del "autoenriquecimiento" que atribuye el origen de la sobreabundancia de metales observada

En el marco de las colaboraciones internacionales, se ha contribuido a una propuesta de Programa Largo de la ESO, titulada "The VLT-FLAMES Tarantula Survey", que busca estudiar la población masiva de esta región de la Gran Nube de Magallanes, la zona de mayor densidad de estrellas jóvenes y masivas dentro del grupo Local. Se nos han concedido 142 horas en el semestre 82, que ya han sido parcialmente observadas. Queda pendiente una pequeña fracción de horas para el semestre 84, que nos permitirá, mediante observación varias épocas, poder identificar sistemas binarios.

en estrellas con planetas a la acreción sobre la estrella madre de grandes cantidades de material planetario rocoso, rico en metales y pobre en elementos como H y He. La hipótesis contraria es la principal y considera que el exceso de metales sea debido al alto contenido en metales de la nube protoplanetaria a partir de la cual se formó el sistema estrella-planeta.

Los elementos ligeros pueden proporcionar información valiosa sobre la mezcla, la difusión y la evolución del momento angular en estrellas con planetas, así como sobre la actividad estelar causada por la interacción con exoplanetas (Santos, Israelian, García López et al. 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 427, 1085; Israelian et al. 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 414, 601). Estudios sobre el berilio, el litio y la razón isotópica $6\text{Li}/7\text{Li}$ podrían aportar pruebas para distinguir entre las diferentes teorías de formación planetaria (Sandquist et al. 2002, *Astrophysical Journal*, 572, 1012). Israelian et al. encontraron evidencias de la caída de un planeta o de material protoplanetario sobre la estrella HD82943 (2001, *Nature*, 411, 163; 2003, *Astronomy & Astrophysics*, 405, 753).

Si el "autoenriquecimiento" fuera el principal responsable del exceso de metalicidad de las estrellas con planetas, eso implicaría una sobreabundancia relativa de elementos refractarios (Si, Mg, Ca, Ti, etc.) respecto a los volátiles (CNO, S y Zn). Se han llevado a cabo varios estudios espectroscópicos del hierro (Santos et al. 2001, *Astronomy & Astrophysics*, 373, 1019; 2003, *Astronomy & Astrophysics*, 398, 363; 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 415, 1153) y de otros elementos (Bodaghee et al. 2003, *Astronomy & Astrophysics*, 404, 715; Ecuivillon, Israelian, Santos et al. 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 418, 703; 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 426, 619; 2006, *Astronomy & Astrophysics*, 445, 633; 2006, *Astronomy & Astrophysics*, 449, 809; Gilli, Israelian, Ecuivillon, et al. 2006, *Astronomy & Astrophysics*, 449, 723).

El análisis espectroscópico de estrellas ricas en metales también proporciona información valiosa sobre las tasas de eyección al medio interestelar de elementos químicos producidos por explosiones de supernova en los últimos 10 mil millones de años. Otro método alternativo para investigar los productos de las explosiones de supernova es el estudio de las estrellas compañeras de los sistemas binarios de rayos X.

Las estrellas compañeras en sistemas binarios de rayos X de baja masa han sobrevivido a estas explosiones de supernova y quizás han podido capturar parte del material eyectado en la explosión. Este material se mezclará en la zona de convección con el material de la estrella, de forma que las

abundancias de los elementos presentes en el material eyectado se modificarían. Así pues el estudio de anomalías químicas en las atmósferas de las estrellas secundarias en estos sistemas puede darnos información sobre la nucleosíntesis y evolución estelar en estrellas masivas y sobre la complejidad de las explosiones de supernova. Este nuevo enfoque fue aplicado por vez primera por Israelian et al. (1999, *Nature* 401, 142) en el espectro de GRO J1655-40 (*Nova Scorpii* 1994), un sistema binario de rayos X que contiene el agujero negro cuya determinación de masa es la más precisa. El análisis mostraba abundancias de O, Mg, S, Si desde 6 hasta 10 veces mayores que las encontradas en el Sol. Estos autores lo interpretaron como evidencia de que había habido una explosión de supernova que dio lugar al agujero negro, y que la estrella compañera de baja masa no podía haber sintetizado estos elementos.

Las explosiones de supernova son responsables del progresivo enriquecimiento del medio interestelar por elementos pesados. Las tendencias marcadas por las abundancias relativas de diferentes elementos químicos en función de la metalicidad aportan información sobre sus ritmos de formación y nucleosíntesis en diferentes tipos de supernova. La nueva generación de telescopios de clase 4-10 metros ha mejorado drásticamente la calidad de las observaciones espectroscópicas. Mientras tanto, las herramientas computacionales permiten estudiar la formación de líneas espectrales en NLTE en átomos tan complejos como el Fe. Gracias a esos progresos se han descubierto nuevas e interesantes tendencias de las abundancias de O, S y N (Israelian et al. 1998, *Astrophysical Journal*, 507, 805; 2001, *Astrophysical Journal*, 551, 833; 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 421, 649). Además se ha demostrado, por vez primera, que los modelos de atmósfera 1D estándares de estrellas gigantes muy pobres en metales son incapaces de resolver los conflictos entre abundancias obtenidas a partir de diferentes líneas espectrales de oxígeno y magnesio (Israelian et al. 2004, *Astronomy & Astrophysics*, 419, 1095). Se proyecta continuar estudios consistentes de abundancias en una selección de estrellas pobres en metales, con el objetivo de comprender por qué y cuándo los modelos 1D fallan como herramientas de síntesis espectral.

Algunos resultados relevantes

Catálogo de parámetros estelares precisos y calibración de temperatura efectiva para 451 estrellas que representan una muestra de alta precisión del tiempo garantizado de observaciones (GTO) de HARPS. La razón entre las planetas tipo Júpiter a los de tipo neptuno es una función que aumenta con la metalicidad estelar.

Análisis detallado de las abundancias incluyendo Si y Ti en la binaria de rayos X con agujero negro XTE J1118+480 concluyendo que este sistema se formó en una explosión de supernova cuyos productos nucleosintéticos podrían contaminar la atmósfera de la segunda estrella.

Nuevo análisis espectroscópico basado en los datos de VLT/UVES de la estrella secundaria de Nova Sco 1994. Las abundancias de Al, Ca, Fe y Ni parecen ser consistentes con los valores solares, mientras que las de Na y especialmente O, Mg, Si y S son significativamente mayores en comparación con las tendencias de abundancias galácticas.

Estudio preliminar de las abundancias de Th y Eu en la estrella con planetas HD82943 y estimación de su edad.

Estudio amplio de las abundancias de Li en estrellas que no han evolucionado de la secuencia principal. Se confirma que las estrellas con planetas en el rango de temperatura efectiva 5600-5900 K (Israelian et al. 2004) muestran una destrucción mayor de Li que las estrellas sin planetas. Además encontramos una bimodalidad en la distribución de las estrellas en el rango 5900-6200 K.

Evolución del Proyecto

Se ha presentado un catálogo de parámetros estelares precisos para 451 estrellas que representan una muestra de alta precisión del tiempo garantizado de observaciones (GTO) de HARPS. Se ha presentado una calibración de la temperatura efectiva como una función del índice de color B-V y [Fe/H]. Nuestros resultados sugieren que los planetas tipo neptuno no se forman preferentemente alrededor de estrellas ricas en metales al contrario de lo que sucede con los planetas tipo Júpiter. La razón entre las planetas tipo Júpiter a los de tipo neptuno es una función que aumenta con la metalicidad estelar.

Se realizó un análisis detallado de las abundancias incluyendo Si y Ti en la binaria de rayos X con agujero negro XTE J1118+480 usando los espectros de Keck. Esas abundancias supersolares nos indican que el agujero negro de este sistema se formó en una explosión de supernova cuyos productos nucleosintéticos podrían contaminar la atmósfera de la segunda estrella proporcionando claves a la posible región de formación del sistema. Después de estudiar varios escenarios se ha concluido que el mejor modelo es para los progenitores ricos en metales. Además, las abundancias observadas se pueden explicar con modelos asimétricos.

Después de descubrir las sobreabundancias de los elementos a en el espectro de la estrella secundaria Nova Sco 1994 tomado en el Keck/HIRES (Israelian et al, *Nature*, 401, 142 1999), se ha realizado un nuevo análisis espectroscópico basado en los datos de VLT/UVES de la estrella secundaria de Nova Sco 1994. Usando un análisis espectral más sofisticado se ha confirmado que las abundancias de Al, Ca, Fe y Ni parecen ser consistentes con los valores solares, mientras que las de Na y especialmente O, Mg, Si y S son significativamente mayores en comparación con las tendencias de abundancias Galácticas. Probablemente el agujero negro de este sistema se formó en la explosión de una hipernova de 30-35 masas solares dejando un agujero negro con una masas de 2-3.5 masas solares. Sin embargo, esos modelos producen abundancias de Al y Na casi 10 veces mayores que los valores observados.

Se realizó un estudio preliminar de las abundancias de Th y Eu en las estrellas con planetas para poder calcular la edad. Se han calculado las abundancias de esos elementos en la estrella con planetas HD82943 realizando síntesis espectral con espectros de alta resolución de Harps. Para calcular la edad a partir de estas abundancias se han utilizado modelos para estrellas pobres en metales, por lo que los resultados han tenido altos errores.

Se ha concluido un trabajo previo muy extenso con el cálculo de las abundancias de Li en estrellas con y sin planetas. Para ello se han usado datos de diferentes telescopios además de complementarlo con datos de la literatura. Se ha restringido el análisis a estrellas que no han evolucionado todavía desde la secuencia principal para asegurar que el escenario evolutivo es coherente. Confirmamos que las estrellas con planetas en el rango de temperatura efectiva 5600-5900 K (Israelian et al. 2004) muestran una destrucción mayor de Li que las estrellas sin planetas. Además encontramos una bimodalidad en la distribución de las estrellas en el rango 5900-6200 K. En este rango, todas las estrellas con planetas tienen altas abundancias de Li mientras que las estrellas sin planetas están divididas en dos grupos, uno con altas abundancias y el otro con bajas abundancias de Li. Este trabajo ha sido extendido con la muestra de Harps formada por 451 estrellas con y sin planetas.

El grupo participa en una colaboración internacional para el diseño y desarrollo de dos nuevos espectrógrafos de alta resolución para VLT (ESPRESSO) y E-ELT (CODEX). Se han mantenido varias reuniones con el grupo de trabajo en Ginebra, Londres, IAC, etc.

PROCESOS DE TRANSPORTE EN ASTROFÍSICA (3I2205)

L. Crivellari.

Colaborador del IAC: A. Alonso Sánchez.

Simonneau E. (CNRS - IAP, Francia); Cardona O. (INAOE, México).

Introducción

Nuestra investigación se basa en una consideración fundamental: la determinación fiable de las distancias galácticas o de las abundancias cósmicas requiere un riguroso diagnóstico de las propiedades físicas de las estrellas; en particular de una calibración más precisa del diagrama de Hertzsprung - Russell que incluya:

- la calibración de la temperatura asociada a los diversos tipos espectrales
- la determinación de estos tipos según las diferentes composiciones químicas
- la calibración de la luminosidad absoluta (distancia) para cada clase de luminosidad

Bajo el punto de vista tecnológico las observaciones fotométricas y espectroscópicas han progresado extraordinariamente. Sin embargo el estudio paralelo, en los términos citados anteriormente, de la radiación estelar se encuentra en un estado bastante primitivo, salvo aplicaciones numéricas modernas a estructuras algorítmicas antiguas. En particular los modelos de atmósferas estelares (incluso los más simples, basados en hipótesis de orden cero como la de Equilibrio Termodinámico Local) que se utilizan hoy en día corresponden a una formulación obsoleta: su estructura térmica está condicionada por las absorciones y emisiones en los continuos espectrales. Ahora se puede demostrar fácilmente que esta estructura térmica está principalmente condicionada por el transporte radiativo en las principales líneas espectrales.

Esto supone reconsiderar la metodología utilizada en el cálculo de modelos. Es lo que se está haciendo en este momento, teniendo en cuenta una larga experiencia previa y los resultados logrados en muchos años de trabajo. El presente Proyecto se propone el objetivo de hallar una solución efectiva al problema todavía abierto del cálculo auto consistente de modelos de atmósferas estelares que abarquen correctamente, tanto física como numéricamente, las regiones más externas, donde se forman las líneas espectrales.

Algunos resultados relevantes

El laboratorio numérico para el cálculo astrofísico que se ha ido desarrollando paulatinamente en el ámbito del presente Proyecto permite experimentar numéricamente los efectos de los procesos físicos individuales sobre la estructura global de una atmósfera estelar. A partir de este estudio analítico se puede formular una representación matemática del sistema físico estudiado, que fácilmente se traduce en un algoritmo numérico eficaz. Un importante producto de este laboratorio ha sido un procedimiento secuencial original para calcular modelos autoconsistentes de atmósferas estelares a través de una corrección iterativa de la temperatura. La estructura modular del algoritmo permite con la máxima facilidad añadir nuevos ingredientes físicos o cambiar el tratamiento numérico de una componente aislada del problema físico global.

Durante 2008 se han puesto a punto dos de estas componentes:

- Un método original para sustituir las opacidades de las infinitas líneas de una serie espectral por un continuo equivalente. (Publicado en "*Method for Calculating the Opacity of the Atomic Lines in Stellar Atmospheres*", O. Cardona, E. Simonneau & L. Crivellari, *Astrophysical Journal*, 690, 1378 - 1385).
- Una nueva presentación de la ecuación de estado que permite calcular analíticamente para una temperatura, presión y composición química dadas la densidad, la densidad electrónica y todos los coeficientes termodinámicos, es decir, los calores específicos y los gradientes termodinámicos. (Aparecerá en el artículo "*Thermodynamic coefficients for Stellar Atmospheres and Plasma Spectroscopy*", O. Cardona, E. Simonneau & L. Crivellari, *Astrophysical Journal*, 695).

Evolución del Proyecto

Se ha continuado con el estudio de los efectos de las transiciones radiativas más opacas sobre la estructura térmica de una atmósfera estelar. El dominio de estas transiciones en el balance energético perturba extraordinariamente la convergencia del proceso iterativo de corrección de la temperatura. Se han dedicado notables esfuerzos al problema de lograr una rápida convergencia. El elemento novedoso introducido a lo largo de 2008 ha sido tratar por separado el transporte radiativo en las líneas espectrales y los continuos, introduciendo factores de iteración distintos para cada uno de los dos intervalos espectrales correspondientes. Los resultados conseguidos hasta ahora, aunque

esperanzadores, no pueden todavía considerarse del todo satisfactorios.

Aprovechando la estructura modular de los algoritmos previamente desarrollados para el cálculo de modelos en geometría plano-paralela, se ha introducido en el bloque del transporte radiativo el correspondiente algoritmo para resolver con el Método Integral Implícito el transporte radiativo en geometría esférica (M. Gros, L. Crivellari & E. Simonneau, 1997, *Astrophysical Journal*, 489, 331). Análogamente, en el bloque de la corrección de la temperatura se ha resuelto por medio del Método de los Factores de Iteración (E. Simonneau & L. Crivellari, 1988, *Astrophysical Journal*, 330, 415) el correspondiente sistema de las dos primeras ecuaciones para los momentos, integradas sobre las frecuencias. Se ha logrado así calcular unos primeros modelos de atmósferas extensas, representativos de estrellas gigantes y supergigantes.

Se han implementado también nuevos algoritmos para la aplicación del Método del Flujo Infrarrojo con muestreo arbitrario de la longitud de onda en los modelos (A. Alonso).

PLANETAS07 (3I0308)

E.L. Martín.

H.J. Deeg, H. Bouy, J.A. Belmonte Avilés, K.Y. Peña Ramírez, J. Licandro Goldaracena, R.J. García López, G. Israelian, P. Montañés Rodríguez, N. Lodieu, M.L. Valdivielso Casas, V.J. Sánchez Béjar, M. Vázquez Abeledo, E. Pallé Bago, C.A. Álvarez Iglesias, R. Rebolo López, M.R. Zapatero Osorio, A. García Muñoz, M. Perger, B. Riaz, B. Femenía Castella y F. Rodler.

Colaborador del IAC: G. Bihain.

R. Alonso (Marseille, Francia); C. Bailer-Jones, W. Brandner (MPIA-Heidelberg, Alemania); D. Barrado y Navascués (LAEFF-INTA); G. Basri (Univ. de Berkeley, EEUU); T. Brown, O. Creevey (HAO, EEUU); J.A. Caballero (UCM); J. Cabrera (Obs. de Meudon, Francia); H. Campins, J. Davis, M. Montgomery, R. Tata (Univ. Central de Florida, EEUU); X. Delfosse, J.L. Monin (Obs. de Grenoble, Francia); L. Di Fabrizio, A. Magazzù (TNG); P. Esparza (Univ. de La Laguna); E. Fossat (Univ. de Niza, Francia); J. Ge (Univ. de Florida, EEUU); E. Guenther (Obs. de Tautenburg, Alemania); S. Hodgkin (Univ. de Cambridge, Reino Unido); K. Horne (Univ. St Andrews, Reino Unido); P.B. Ngoc

(ASIAA Taiwán); Y. Pavlenko (Obs. de Ukraine); D. Pinfield (Univ. de Herts, Reino Unido); H. Rauer (DLR, Berlín, Alemania); J. Schneider (Obs. de Paris-Meudon, Francia); R. Wainscoat (IfA, Univ. de Hawai, EEUU); J. Fernández (UdeLaR, Uruguay); G. Strazzulla (INAF- Obs. de Catania, Italia); R. Brunetto (Univ. de París, Francia); C. del Burgo (Dublin Inst. for Advanced Studies, Irlanda).

Introducción

La búsqueda de vida en el Universo se ha visto impulsada por los recientes descubrimientos de planetas alrededor de otras estrellas (los llamados exoplanetas), convirtiéndose en uno de los campos de batalla más activos dentro de la Astrofísica moderna. Este campo se ayuda de y, a su vez motiva, el desarrollo de instrumentación cada vez más sensible y estable para telescopios de tierra y misiones espaciales.

En el año 2008 comenzó el presente Proyecto con el objetivo principal de situar al IAC en una posición líder en la investigación sobre la astrobiología. Los objetivos concretos son: detección directa de planetas gigantes; detección indirecta de planetas rocosos), y la caracterización de los objetos del Sistema Solar con cierto interés astro biológico. Todo el esfuerzo se invertirá en preparar al IAC para su participación en futuras misiones espaciales diseñadas con el objetivo de buscar vida extraterrestre, como Darwin y el "Terrestrial Planet Finder" (TPF), y su participación en la instrumentación de los grandes telescopios (ej. el telescopio E-ELT).

Este Proyecto pretende que los investigadores del IAC adopten una situación aventajada con la explotación de CanariCam, instrumento de primera luz del telescopio GTC, y la construcción, comisionado y operación de nuevos instrumentos, como UES en el telescopio GTC, espectrógrafo óptico de alta resolución, NAHUAL, espectrógrafo Echelle de alta resolución en el infrarrojo cercano para el telescopio GTC, y PASS, una exploración dedicada para la búsqueda de tránsitos en todo el cielo. Asimismo, el IAC se ha convertido en uno de los miembros principales del Consorcio ESPRESSO, espectrógrafo muy estable para los telescopios VLT y precursor de CODEX, instrumento del telescopio E-ELT.

En el marco del Proyecto, el IAC también colaborará con el consorcio responsable de instalar un espectrógrafo análogo de HARPS en el telescopio WHT, cuyo objetivo principal es el seguimiento de los candidatos a exoplanetas detectados por la misión KEPLER, y con el equipo responsable de un

"Exoplanet Tracker" rojo para el telescopio GTC. Además, el Proyecto proveerá la financiación necesaria para explorar otras técnicas interesantes que podrían convertirse en herramientas imprescindibles para la detección de planetas, como la interferometría de cancelación con el telescopio GTC.

Algunos resultados relevantes

Descubrimiento y caracterización espectroscópica de objetos de masa planetaria y de enanas marrones ultrafrías. Se ha logrado estudiar objetos más fríos en la vecindad solar que los conocidos con anterioridad a 2008, alcanzándose temperaturas de 550 K, y se ha comprobado la diversidad de objetos con masas de varias veces la de Júpiter en regiones jóvenes de formación estelar, lo cual indica la prevalencia de mecanismos eficientes de colapso gravitatorio para la formación de planetas gigantes.

Explotación de los datos del satélite COROT para identificar planetas gigantes muy próximos a sus estrellas y estimar sus densidades. Se confirma la variedad de densidades de los planetas tipo Júpiter caliente, lo cual constituye un desafío para los modelos de formación y evolución planetaria.

Estudio de objetos del Sistema Solar de interés astrobiológico, en particular asteroides en órbitas cometarias que pueden haber contribuido a la reserva hídrica de la Tierra, y el estudio de nuestro propio planeta como referencia en la futura búsqueda de planetas habitables.

Revisión externa del diseño conceptual de NAHUAL e informes muy favorables por parte de dos reconocidos expertos internacionales.

Aprobación de la ESO para comenzar el estudio de Fase A de ESPRESSO, con una dotación de 100.000 € (para todo el Consorcio).

Evolución del Proyecto

El desarrollo durante el 2008 fue el siguiente:

Se continuó liderando el diseño de un espectrógrafo infrarrojo Echelle de muy alta resolución ($R \sim 61000$) para el telescopio GTC (Proyecto NAHUAL) y se participó en el desarrollo de un precursor de espectrógrafo de muy alta dispersión ($R \sim 150000$) para el telescopio VLT (Proyecto ESPRESSO) cuyo objetivo científico principal es la detección de planetas telúricos en zonas de habitabilidad alrededor de estrellas de tipo solar. En relación a ESPRESSO, se constituyó un consorcio del que el IAC es miembro junto con los observatorio de Ginebra y de

Trieste, y la Universidad de Oporto; se presentó en tiempo y forma la propuesta instrumental a una llamada abierta realizada por la ESO en verano de 2008, y en otoño se recibió la aprobación oficial de la ESO para iniciar la Fase A de diseño de ESPRESSO. Esta fase comenzará oficialmente en enero de 2009. Entre los objetivos instrumentales de ESPRESSO destaca la obtención de una muy alta estabilidad térmica, mecánica, y de calibración en longitud de onda que permita obtener medidas de velocidad radial con precisiones sin precedentes de 10 cm/s en escalas de tiempo desde los pocos minutos a decenas de años. El conocimiento obtenido podría ser utilizado en instrumentos del telescopio E-ELT, como CODEX. Recientemente, se ha iniciado una participación en el Consorcio EPICS, cuyo objetivo es la detección directa de planetas telúricos con el telescopio E-ELT utilizando la luz reflejada de los planetas.

En el marco de los consorcios UKIDSS-LAS y CFHTLS se han buscado las enanas más frías de la vecindad solar, intentando llegar a observar la condensación de nubes de agua y la presencia del gas amoníaco. Se continuó con la identificación de enanas ultrafrías de la vecindad solar y regiones de formación estelar reciente usando las bases de datos DENIS, 2MASS, Spitzer y UKIDSS. Se realizaron estudios de la binariedad de enanas marrones para restringir los modelos evolutivos y de formación.

Se ha observado el espectro de transmisión de la atmósfera terrestre mediante observaciones del eclipse de Luna acontecido el pasado mes de agosto - estas observaciones simulan el tránsito de una "exotierra". Algunos de los resultados han sido inesperados y se ha enviado un artículo a la revista *Nature* que está en proceso de arbitraje.

Se ha instalado y se ha puesto a punto el telescopio Earthshine del BBSO en el Observatorio del Teide. Se están llevando a cabo las últimas labores de calibración del software y se espera el inicio de las observaciones sistemáticas para marzo de 2009.

Se ha utilizado el sistema de Óptica Adaptativa multiconjugada del telescopio VLT para explorar las zonas centrales de regiones de formación en torno a estrellas masivas y se han identificado candidatos a objetos de masa planetaria.

Se han contratado a cinco científicos y a dos ingenieros para trabajar en el Proyecto. Una de estas contrataciones ha sido hecha con la financiación interna del PE y todas las demás se han hecho con financiación externa (Proyecto del PNAÁ, Proyecto GTC-CONSOLIDER, y Red Europea CONSTELLATION).

EL SOL Y EL SISTEMA SOLAR

En el marco del Red Europea ARENA, se hizo un estudio sobre la condiciones en el sitio DomeC para observaciones de secuencias temporales en el infrarrojo, enfocado hacia las búsquedas de tránsitos de planetas extrasolares. Como resultado, la banda "Kshort", alrededor de 2,5 micras, es de particular interés; en esta banda un telescopio con un espejo de 1-1,5 m de tamaño puede ser de suficiente para rastrear la población de estrellas de baja masa y detectar la presencia de tránsitos de planetas pequeños. En una actividad relacionada, H. Deeg en su función como co-coordinador del "Working Group 4" de ARENA dedicado a las observaciones de series temporales y fotometría de precisión, ha elaborado junto con H. Rauer la primera versión de una guía sobre este tema. El documento aún bajo revisión, formará parte del informe final del Proyecto ARENA, a terminar a finales de 2009.

ESPECTROPOLARIMETRÍA SOLAR (310299)

M. Collados.

C. Beck, T. Felipe García, E. Khomenko, C. Kuckein, M.J. Martínez González, V. Martínez Pillet, K.G. Puschmann, I. Rodríguez Hidalgo y B. Ruiz Cobo.

Colaborador del IAC: A. Sainz Dalda.

L.R. Bellot Rubio, J.C. del Toro Iniesta (IAA, Granada); R. Centeno Elliott (High Altitude Obs., EEUU); R. Rezaei, R. Schlichenmaier (Kiepenheuer Inst. für Sonnenphysik, Alemania); R.T. Shimizu Schlichenmaier (JAXA, Japón); A. Kosovichev (Univ. de Stanford, EEUU); O. Kochukhov (Univ. de Uppsala, Suecia).

Introducción

La finalidad de este Proyecto es estudiar diversas manifestaciones del campo magnético que se pueden observar en la atmósfera solar. Estas incluyen estructuras tan diversas como las manchas solares, los campos débiles presentes en el "Sol en calma" o estructuras cromosféricas y coronales como los filamentos y las protuberancias. Así, se han ido abordando gradualmente los siguientes temas de investigación:

- Aparición, evolución y desaparición del campo magnético en fáculas y red fotosférica.

- Variaciones temporales del campo magnético, a escalas de tiempo desde varios segundos hasta varios minutos, en elementos magnéticos de pequeña escala espacial y manchas solares.

- Influencia del campo magnético en las propiedades de los fenómenos convectivos granulares y en la estratificación de los diversos parámetros atmosféricos.

- Señales magnéticas débiles (campos débiles fuera de la red fotosférica, polarización producida por fenómenos de dispersión, depolarización por efecto Hanle).

- Estructura del campo magnético de las manchas solares.

- Estructura del campo magnético en las capas atmosféricas altas (cromosfera y corona).

- Propagación de ondas magnetohidrodinámicas en el seno de estructuras magnéticas.

La finalidad última de estos estudios es avanzar en el conocimiento de los siguientes aspectos:

- Estabilidad de las estructuras magnéticas.
- Mecanismos de transmisión de energía en estructuras magnéticas y su relación con el calentamiento de las capas medio-altas fotosféricas y de la cromosfera.
- Interacción entre los movimientos convectivos solares y el campo magnético.
- Propiedades de las señales de polarización débiles.

Algunos resultados relevantes

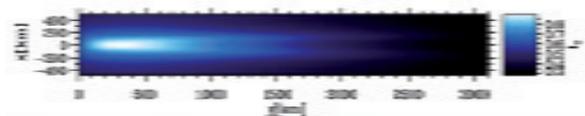
Finalización de construcción, integración y verificación del magnetógrafo IMaX

Durante el segundo semestre de 2008, se ha realizado con éxito la integración y todas las pruebas de verificación de IMaX, en las instalaciones de INTA (Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales). IMaX es un magnetógrafo que volará a mediados de 2009 en el globo estratosférico Sunrise y que generará series temporales de imágenes con las que poder investigar en detalle la evolución de los campos magnéticos de la fotosfera solar con una resolución espacial de 0.1". Ningún instrumento de tierra o del espacio tiene actualmente capacidad para obtener este tipo de datos, por lo que esperamos con ansiedad el vuelo y los fantásticos datos que se recogerán. En la siguiente imagen se puede ver el instrumento tras ser cerrado, previamente a su envío al Max Planck Institut für Sonnensystemforschung de Lindau (Alemania), para su integración con el telescopio y el resto del sistema.



Origen de los núcleos oscuros penumbrales

Las imágenes observacionales con una resolución de 0.1" revelan la existencia de núcleos oscuros en los filamentos brillantes de la penumbra. Se piensa que estos filamentos son los bloques básicos de la estructura penumbral, pero su naturaleza permanece hasta el momento desconocida. En Ruiz Cobo y Bellot Rubio (2008, *Astronomy & Astrophysics* 488, 749) se ha investigado el origen de los núcleos oscuros y el exceso de brillo penumbral, basándose en el modelo despeinado de la penumbra. Para ello, se ha resuelto la ecuación de transporte de calor en una atmósfera estratificada dentro de tubos de flujo magnético horizontales que están inmersos en un campo circundante más intenso y vertical. En el modelo, los tubos canalizan un flujo Evershed plasma caliente. Los cálculos demuestran que se generan filamentos brillantes como consecuencia de la mayor densidad del plasma dentro de los tubos de flujo, lo que da lugar a un desplazamiento de la superficie de profundidad óptica unidad hacia capas más altas y más frías (Ver siguiente figura). Los resultados sugieren que el exceso de brillo de la penumbra es una consecuencia natural del flujo Evershed y que tubos de flujo de unos 250 km de diámetro pueden explicar la morfología de las penumbras de las manchas solares.



Evolución del Proyecto

A continuación, se presentan los principales resultados científicos obtenidos a lo largo de 2008.

Campos magnéticos del "Sol en calma"

Tras el análisis independiente de un conjunto de datos espectropolarimétricos obtenidos simultáneamente en el visible (630 nm) y el infrarrojo cercano (1.56 micras) de una misma región en calma de la superficie solar, se ha encontrado que la densidad de flujo magnético recuperada en ambos rangos espectrales está muy bien correlacionada. La polaridad de los perfiles de polarización circular es la misma en ambos rangos espectrales. Esto indica que las líneas espectrales en 1.56 micras y 630 nm trazan las mismas estructuras magnéticas. La inversión conjunta de todos los datos revela que las regiones de "internetwork" están llenas de estructuras sub-kG que ocupan sólo el 2% del elemento de resolución. Se ha encontrado asimismo

una correlación entre la intensidad del campo magnético y el continuo de la estructura: campos del orden del de equipartición (de unos 500 G) tienen a estar localizados en las zonas intergranulares, mientras que campos más débiles aparecen dentro de gránulos. Se ha confirmado que la densidad de flujo magnético total en la región observada es prácticamente cero, lo que implica una cancelación completa de las dos polaridades magnéticas. Para más detalles, el lector puede ver Martínez González et al. (2008) *Astronomy & Astrophysics*, 477, 953.

En un intento de entender las fuentes de calentamiento cromosférico en estas regiones del Sol, se han analizado series temporales en la región espectral del Ca II H. Se ha encontrado que, en regiones en las que no hay señales apreciables de polarización fotosférica, la emisión cromosférica en esta línea es debida a ondas que se propagan, en unos 100 s, desde la región de formación del continuo hasta aquella donde se forma el núcleo de la línea. Las diferencias de fase de la intensidad medida a diferentes longitudes de onda, a lo largo de las alas de Ca II H, indican la existencia de ondas estacionarias para frecuencias por debajo de 2 mHz y ondas que se propagan por encima de esta cota. Estas ondas dan lugar a choques que están precedidos y seguidos por una reducción de la intensidad observada. En regiones sin campo, los perfiles muestran emisión casi la mitad del tiempo. En las zonas con campo, el perfil promedio de Ca II H muestra rasgos de emisión simétricos respecto al mínimo de la línea, así como una contribución asimétrica, en la que la emisión del rasgo H2V es más prominente, como consecuencia de los choques. Véase Beck et al. (2008) *Astronomy & Astrophysics*, 479, 213, para más información.

Manchas solares

Se han analizado varias series temporales de imágenes de manchas ubicadas en diferentes posiciones sobre el disco solar. Estas manchas tienen diferentes configuraciones penumbrales lo que las hace adecuadas para determinar la relación entre la penumbra y los movimientos a gran escala en sus alrededores. Tras aplicar técnicas de correlación local a todas las series temporales, se ha encontrado un comportamiento sistemático del flujo de material en el foso de la mancha. Este flujo está presente sólo cuando la estructura de la penumbra es radial, y no cuando es tangencial al borde de la mancha. En Vargas Domínguez et al. (2008) *Astrophysical Journal*, 679, 900, se conjetura que la línea neutra magnética puede interrumpir ese flujo material.

En otro trabajo (Bellot Rubio et al., 2008, *Astrophysical Journal*, 676, 698) se ha medido el proceso de desaparición de una mancha. A lo largo de tres días, se ha observado cómo la mancha ha perdido gradualmente su penumbra. En las últimas etapas de la evolución, sólo con umbra, se han detectado inhomogeneidades de pequeña escala en la estructura magnética que la rodea. Estas inhomogeneidades son radiales y alargadas con campos magnéticos débiles casi horizontales que se extienden 1"-2" más allá del borde de la umbra. Estos campos no están asociados a los clásicos filamentos penumbrales ni con flujos Evershed. Los perfiles de Stokes observados en estas estructuras muestran un desplazamiento hacia el azul, lo que se interpreta como un movimiento ascendente del material. Este estructura fina, desconocida hasta ahora, puede estar relacionada con líneas de campo penumbrales que ascienden hasta la cromosfera, dando lugar a la desaparición de la penumbra a niveles fotosféricos.

Simulaciones numéricas

Utilizando el código no-lineal MHD de diferencias finitas desarrollado durante los últimos años, se han realizado simulaciones numéricas 2D de propagación de ondas magneto-acústicas no-lineales en tubos delgados con estructura interna. El propósito final de estas simulaciones es entender las propiedades de las ondas detectadas en la red magnética solar, fáculas y regiones activas y su papel en el transporte de energía hacia las capas externas de la atmósfera solar. Las ondas de las simulaciones se generan, por primera vez en simulaciones de este tipo, por medio de un excitador fotosférico con un periodo entre 3 y 5 minutos (como se observa en el Sol). Los reflejos artificiales de las ondas de choque en el contorno superior han sido minimizados gracias a unas condiciones de contorno especiales. Esto ha permitido incrementar la duración de las simulaciones para tener series temporales suficientemente largas para el análisis estadístico. Las simulaciones demuestran que los movimientos horizontales a nivel fotosférico de los tubos de flujo magnéticos generan en los mismos un modo lento (magnético) y un modo superficial. Los dos modos se transforman muy eficientemente a un modo lento (acústico) en la parte superior de la atmósfera donde la velocidad de Alfvén es mayor que la velocidad de sonido. A partir de ahí, el modo lento acústico se propaga verticalmente hacia arriba guiado por las líneas de campo, permaneciendo siempre dentro del tubo y dando lugar a choques. Esto le permite transportar y depositar de manera eficiente su energía en la cromosfera. Cuando el

excitador fotosférico oscila en frecuencias altas, la propagación no-lineal de las ondas ocurre siempre con el mismo período a través de toda la atmósfera. Por el contrario, para frecuencias bajas, por debajo de la frecuencia de corte atmosférica, el periodo cambia con la altura, apareciendo los armónicos más altos. Los detalles de este trabajo se pueden encontrar en Khomenko et al., *Solar Physics*, 251, 589.

Al relajar la condición de adiabaticidad de las simulaciones anteriores e incluir el intercambio de energía de la onda con la atmósfera, se encuentra que el periodo de oscilación dominante no cambia con la altura debido a la frecuencia de corte. Esto no es así en las simulaciones adiabáticas, por la existencia de una frecuencia de corte de propagación. De esta manera, las ondas con un periodo alrededor de 5 minutos (evanescentes de otra manera) pueden propagarse en la cromosfera, siendo canalizadas por los tubos de flujo magnéticos. Estas simulaciones reproducen bastante bien el comportamiento de las ondas observado en fáculas y la red magnética solares con TIP/VTT, como se demuestra en Khomenko et al. (2008), *Astrophysical Journal*, 676, L85.

Finalmente, se ha propuesto (Khomenko y Collados, 2008, *Astrophysical Journal*, 689, 1379) un método eficiente para construir modelos de manchas solares desde la zona convectiva hasta la fotosfera en equilibrio, para un rango variable de parámetros libres, con el que construir estructuras con diferentes propiedades para estudiar la propagación de ondas. Estos modelos son importantes para poder entender mejor los resultados de sismología solar local a través de simulaciones numéricas.

FÍSICA DE LA MATERIA INTERPLANETARIA (310400)

J. Licandro.

M. Serra Ricart y A. Osoz Abad.

H. Campins (Univ. Central de Florida, EEUU); N. Pinilla Alonso (Centro Galileo Galilei, España y NASA-AMES, EEUU); J. de León Cruz, J.L. Ortiz, R. Duffard (IAA, Granada); A. Álvarez Candal (LESIA, Obs. Paris-Meudon, Francia); R. Gil-Hutton (CASLEO, Argentina); J. Fernández, G. Tancredi, N. Sosa (UDELAR, Uruguay); Y. Fernández, M. Kelley (UCF, EEUU); G.P. Tozzi (INAF/Obs. de Arcetri, Italia); D. Lazzaro (Obs. Nacional, Brasil); G. Strazzulla (INAF/Obs. de Catania, Italia); R. Brunetto (Inst. d'Astrophysique Spatiale – Francia); M. Melita (IAFE – Argentina).

Introducción

El caso científico

Este Proyecto estudia las propiedades físicas de una serie de poblaciones de cuerpos menores del Sistema Solar (objetos trans-neptunianos, Centauros, cometas y asteroides cercanos a la Tierra), de los asteroides del cinturón externo relacionados (ej. los Troyanos) y de sus interrelaciones. La información que se obtenga de estos objetos es crucial para comprender el origen y evolución de nuestro sistema planetario.

Los objetos trans-neptunianos (TNOs en inglés), Centauros y los cometas son tres poblaciones diferentes pero estrechamente relacionadas de planetesimales remanentes de las primeras épocas del Sistema Solar, formados en la región del disco protoplanetario donde se encuentran los planetas gigantes y hasta unas 50 UA del Sol. Los TNOs se han formado en una región plana más allá de Neptuno conocida como cinturón transneptuniano o de Edgeworth-Kuiper y a partir del descubrimiento del primero de ellos en 1992 se han transformado en uno de los objetos de mayor interés entre los estudiosos del Sistema Solar, ya que son una fuente de información invaluable sobre la composición y condiciones reinantes en esa región de la nebulosa pre-solar.

Debido a perturbaciones gravitacionales y a colisiones mutuas, algunos TNOs se difunden hacia órbitas que están en la región de los planetas gigantes transformándose en Centauros. Finalmente algunos Centauros, debido a perturbaciones planetarias (principalmente causadas por Júpiter) pasan a órbitas de período corto, con afelios próximos a la órbita de Júpiter, y se transforman en cometas de la familia de Júpiter (FJ). Por otra parte, los cometas de largo período (LP) y los tipo Halley provienen de una región esférica en la periferia del Sistema Solar conocida como Nube de Oort. Los objetos en la nube sufren perturbaciones gravitacionales debido al campo gravitatorio de la galaxia, al pasaje del Sol por nubes moleculares o por el pasaje cercano de estrellas. Estas perturbaciones hacen que algunos objetos sean enviados nuevamente hacia la región interna del Sistema Solar, pasando en algunos casos por las cercanías del Sol en orbitas muy excéntricas (cometas LP). Todos estos objetos, TNOs, Centauros y cometas, tienen un origen común en la zona externa del disco protoplanetario, y su estudio nos revela importante información sobre el estado de la materia en esta región y sobre los procesos que han tenido lugar desde los orígenes del Sistema Solar. Recientes modelos dinámicos

sugieren así mismo que los asteroides tipo D, que pueblan el cinturón externo en particular la población de asteroides Troyanos, Hildas y Cybeles, podrían ser TNOs dispersados en las primeras épocas del Sistema Solar.

Otros cuerpos de interés son los objetos cercanos a la Tierra (conocidos como NEOs en inglés), que constituyen una población de cuerpos menores (asteroides y cometas) cuyas órbitas les permiten aproximarse periódicamente e incluso interceptar la órbita de nuestro planeta. Se trata de una población de objetos que no se han formado en las órbitas que ocupan actualmente, sino que provienen mayormente del Cinturón Principal de asteroides, y en menor medida, de la población de cometas FJ. El estudio de los NEOs tiene una relevancia significativa desde el punto de vista astrofísico en la medida de que nos permiten comprender los mecanismos de transferencia de objetos a esta población y de cómo está compuesta. También porque son, junto con los cometas, los precursores de la enorme mayoría de los meteoritos y meteoros.

Dada la cercanía con nuestro planeta, diversas misiones espaciales se han dirigido y se dirigirán en el futuro cercano (ej. NEAR o Deep Space 1), hacia el estudio detallado de NEOs y cometas. Pero éstas solo pueden acceder a un número muy limitado de objetos, por lo que para tener una comprensión global de los NEOs es imprescindible el estudio de un número significativo de miembros de la población desde Tierra. También hay que destacar que los NEOs no sólo presentan un interés meramente astrofísico, sino que, dado que pueden colisionar con la Tierra (de hecho muchos de ellos lo han hecho en la historia reciente de nuestro planeta), presentan un interés desde el punto de vista de la seguridad y el desarrollo de nuestra civilización. El reciente desarrollo de diversos programas de búsqueda y seguimiento de NEOs potencialmente peligrosos, y el reconocimiento de la importancia de su estudio por el Concejo Europeo en su resolución de enero de 1996 a favor del desarrollo de programas internacionales para la búsqueda y caracterización física de los NEOs, son muestras inequívocas de la importancia que le da la comunidad internacional al estudio de estos objetos.

Además de los cometas desactivados que se pueden encontrar en la población de NEOs, existe una población de objetos cuyas características no permite establecer claramente su naturaleza asteroidal o cometaria, son los objetos transicionales asteroide-cometa. Entre los objetos transicionales se encuentran los asteroides en órbitas cometarias (ACOs) y los asteroides activados.

Se ha trabajado en una serie de programas específicos:

Propiedades físicas de los núcleos cometarios

Este trabajo consiste principalmente en la determinación del tamaño de un número significativo de núcleos de cometas de la FJ para estudiar su distribución, y de la determinación de las propiedades rotacionales de algunos núcleos cometarios, principalmente de cometas de la FJ, y el estudio de posibles variaciones de éstas (en particular del período de rotación). La determinación del tamaño de los núcleos se realiza haciendo fotometría CCD con telescopios de medio y gran tamaño (incluido el telescopio VLT) de los cometas a grandes distancias heliocéntricas donde se los presume sin actividad cometaria, asumiendo un valor para el albedo se estima el radio efectivo. Hay que destacar que se está participando en un programa de gran alcance con el telescopio espacial SPITZER para determinar con precisión el tamaño y albedo de una centena de cometas.

El estudio de las propiedades rotacionales, que se realiza obteniendo series fotométricas con CCDs, proporciona valiosa información sobre la estructura interna del núcleo (distribución de momentos de inercia, densidad y calidad del material).

Propiedades superficiales de TNOs, Centauros y núcleos cometarios

El estudio de las propiedades superficiales (composición mineralógica) es de gran importancia para determinar la composición original y posibles diferencias en las distintas regiones donde se han originado, y para estudiar los diversos procesos que afectan y modifican la superficie de los objetos helados del Sistema Solar y relacionarlos con las condiciones de irradiación y densidad de objetos en el cinturón transneptuniano. El mismo se realiza básicamente por medio de la fotometría multibanda o la espectroscopía visible e infrarrojo. En los últimos años el grupo está llevando a cabo un programa espectroscópico con grandes resultados en el infrarrojo cercano utilizando principalmente el telescopio TNG, al que se le ha complementado con espectroscopía en el visible tanto en este telescopio como en los telescopios WHT y NOT. La espectroscopía en el infrarrojo es particularmente importante ya que permite detectar hielos superficiales como el hielo de agua y el metano, que producen profundas bandas de absorción en las bandas H y K. Este programa hace uso de las propiedades únicas del espectrógrafo infrarrojo del telescopio TNG, NICS, que dada su baja resolución y alta eficiencia permite

obtener espectros de objetos débiles con S/N similares a los obtenidos con el telescopio Keck en tiempos de exposición comparables.

En este tiempo se han obtenido los primeros espectros infrarrojos de un núcleo cometario (28P/Neujmin 1 y 124P/Mrkos), espectros de varios TNOs y Centauros, e incluso para el caso de dos Centauros se ha estudiado en detalle posibles variaciones espaciales de sus propiedades superficiales. Hay que destacar el reciente descubrimiento de que la superficie de uno de los mayores TNOs conocidos, 2005 FY9, es muy similar a la de Plutón, con una abundante presencia de hielo de metano. Este estudio debe continuar para obtener resultados sobre un número significativo de objetos que nos permita trabajar con modelos de formación de mantos de radiación y efectos colisionales como el de Gil-Hutton.

Este programa se ha ampliado en 2008 para estudiar asteroides primitivos tipo D con posible origen transneptuniano. También se ha ampliado el rango de longitudes de onda al infrarrojo medio y térmico.

Propiedades superficiales y rotacionales de los NEOs y objetos transicionales asteroide-cometa

El estudio de las propiedades rotacionales de los NEOs y de los objetos transicionales se inició en 2002 y se basa en determinar por medio de series de imágenes CCD, la curva de luz rotacional y los colores de estos objetos, y así establecer el período de rotación de un número significativo de estos que permita estudiar las propiedades rotacionales de estas poblaciones.

El estudio de las propiedades superficiales se realiza en base a observaciones espectroscópicas en el visible e infrarrojo utilizando principalmente los telescopios NOT, WHT y TNG con el objetivo de hacer una determinación más precisa del tipo y propiedades mineralógicas de un grupo significativo de objetos, de manera similar a lo que se hace con los TNOs. Los estudios mineralógicos se llevarán a cabo usando los modelos de scattering superficial, y los métodos específicamente utilizados para el análisis de la composición de los asteroides de Gaffey (Gaffey et al. 1993) y el Método de Gaussianas Modificadas (MGM, Sunshine et al 1990).

Propiedades del polvo y el gas en las comas cometarias

En éste programa se pretende obtener las propiedades del gas y el polvo en las comas cometarias por medio de imágenes CCD con filtros

de banda ancha y filtros estrechos especialmente diseñados para éste trabajo, por medio de imágenes en el infrarrojo cercano y por medio de la espectroscopía CCD e infrarroja de la coma. Se estudia el continuo que procede de la dispersión de la luz solar por el polvo, y las bandas de emisión de las moléculas cometarias (CN, C₂, C₃). Se estudian abundancias, y mecanismos de formación y desaparición de estas moléculas, y tasas de producción de polvo y sus características como color y tamaño. Todo esto proporciona importante información sobre la composición de los cometas y los procesos físico-químicos que tienen lugar en la coma cometaria. Se está utilizando la extensa base de datos observacionales obtenidos principalmente con los telescopios IAC-80 y TCS entre 1996 y 2000 durante la tesis de J. Licandro, observaciones realizadas en el infrarrojo con el telescopio TNG y observaciones que se han realizado con los filtros interferenciales en el telescopio JKT en 2002-2003, así como observaciones realizadas en La Silla (imagen y espectros visible e infrarrojo). Finalmente, se cuenta con una extensa base de datos obtenidos durante el experimento Deep-Impact en 2005. Se aplican modelos de polvo (ver Moreno et al. 2003) y de producción y vida de especies moleculares como el de Haser o el de Festou, en colaboración principalmente con L. Lara y F. Moreno del IAA y G. P. Tozzi del Obs. de Arcetri.

Algunos resultados relevantes

El mayor hito de este año es el resultado central de la tesis de J. de León Cruz, y fue presentado en dos congresos. El análisis mineralógico de la población de NEAs estudiada a partir de sus espectros visible e infrarrojo demuestra que la población de NEAs es significativamente diferente que la población de asteroides del Cinturón Principal (CP) y de los meteoritos. Los NEAs tienen un mayor porcentaje de olivina que las otras poblaciones. En contrario, la mineralogía de los meteoritos es muy similar a la de los asteroides del CP. Es sabido que los NEAs provienen de regiones particulares del CP y que, por tanto, los NEAs son una muestra sesgada del CP. Pero hasta el momento se creía que los meteoritos provenían de los NEAs. En este trabajo se ha demostrado que el mecanismo que trae a la región terrestre los objetos del CP es diferente para los objetos más pequeños (de algunos metros de diámetro, los meteoritos), que los de algunas decenas o cientos de metros de diámetro (los NEAs). Se sugiere que los objetos pequeños, afectados significativamente por el efecto Yarkovsky, van ingresando lentamente y desde zonas relativamente alejadas, en las resonancias, las que luego los envían a la región interna, y

muestran buena parte del CP. Por otro lado, los NEAs, de mayor tamaño, no son afectados por el Yarkovsky y sólo entran en las resonancias sin están originalmente cerca de estas. Los NEAs entran en las resonancias relativamente rápido, por lo que deben ser el producto de colisiones recientes de asteroides en las proximidades de estas. La composición de los NEAs, rica en olivinas, sugiere que buena parte de ellos proviene de la familia colisional de Flora, muy próxima a la resonancia nu6.

Evolución del Proyecto

Este año ha estado particularmente condicionado por la dedicación a terminar las tesis doctorales de J. de León Cruz y N. Pinilla, y la tesis de maestría de N. Sosa y de laurea de B. Vulcani. Igualmente, durante 2008 el grupo ha publicado 5 artículos en revistas con árbitro, hay 3 en prensa, 1 aceptado con revisiones menores y 4 enviados.

Se asistió a 2 congresos internacionales (Abscom 2008, ACM 2008), 1 a nivel nacional (SEA) y a 3 talleres a nivel internacional (Future Ground based Solar System Research, Marco Polo 2008, y THERMOPS). Se presentaron un total de 14 trabajos orales y 4 pósters. J. Licandro impartió una conferencia invitada en la SEA.

Se dedicó un esfuerzo muy especial en fortalecer nuestra participación en la misión Marco Polo, de ESA "Cosmic Vision 2015-2025". Se ha consolidado nuestra presencia en el grupo científico y en dos de los consorcios de instrumentos propuestos: la cámara/espectrógrafo en el infrarrojo térmico THERMAP (IP Olivier Groussin, Lab. d'Astrophysique de Marseille) y en el sistema de cámaras en el visible MPCs (IP Hermann Boehnhardt, MPI Klatenburg-Lindau). Se ha presentado una Acción Complementaria al Programa Nacional del Espacio (AYA2008-03234-E) que obtuvo fondos para financiar una serie de pruebas para caracterizar el detector propuesto para THERMOPS. También se ha presentado una propuesta al Gobierno de Canarias a proyectos de I+D+i titulado "Participación Científica y Tecnológica en la misión de ESA Marco Polo".

Se presentó un proyecto al MICINN para financiar nuestras actividades, en particular nuestra participación en la misión Marco Polo, que resultó aprobado (AYA2008-06202-C03-02/AYA).

Durante 2008 se han recibido las visitas de los Dres. J. Emery y C. Dalle Ore (NASA-AMES), R. Gil-Hutton y A. Alvarez Candal y de las estudiantes N. Sosa, B. Vulcani.

Programa de propiedades superficiales y rotacionales de NEOs

Se finalizó el análisis de la base de datos del grupo junto con el de los espectros de NEOs, se analizaron

también los espectros publicados de los asteroides del CP y los meteoritos, y se comparó las propiedades mineralógicas de los NEOs con estos. El resultado de este trabajo es la parte central de la tesis doctoral de J. de León y están por enviar dos artículos con el programa y los resultados principales.

Se continúa con el programa de caracterización mineralógica de los asteroides en las regiones del cinturón principal de las que provienen los NEOs de acuerdo a los estudios dinámicos. Se obtuvieron espectros visible e infrarrojo en el telescopio TNG.

Continúa la colaboración con el Dr. A. Morbidelli, especialista en dinámica de asteroides, y se está realizando un análisis conjunto de las propiedades espectrales y dinámicas.

Nos visitó durante un semestre B. Vulcani quien realizó su "tesis de laurea" reduciendo y analizando la muestra de objetos del cinturón de #2.

Programa de propiedades superficiales y rotacionales de los objetos transicionales asteroide-cometa

Este año tuvimos la participación activa en esta área del Dr. Campins, quien desde mayo está en el IAC en año sabático.

Se realizó un amplio trabajo de planificación para las nuevas campañas para observar estos objetos en particular en el infrarrojo medio y cercano. Se han presentado propuestas para observar con el VLT/NACO, GTC/CanCam, IRTF/SPEX y TNG/NICS. Por esta razón se participó en los dos workshops internacionales a los que asistimos, en particular el THERMOPS (Thermal Models for Planetary Sciences).

Se publicó el artículo con resultados definitivos sobre la muestra completa de espectros de los asteroides en órbitas cometarias (Licandro et al. 2008).

Nos visitó el Dr. A. Alvarez-Candal del grupo de la Dra. A. Barucci (Obs. de Paris-Meudon) con quien se continuó con la colaboración y planificación de los programas discutidos en #2.

Nos visitó el Dr. Joshua Emery (NASA - AMES) con quien trabajamos en futuras colaboraciones para utilizar observaciones desde Tierra y con Spitzer.

Se analizaron los datos de las dos campañas de observación desde el ORM y otra con el telescopio VLT realizadas en 2007, en las que se obtuvieron imágenes y espectros de 2 de los 3 "main belt comets". Se presentaron resultados preliminares en dos congresos, y hay dos artículos en avanzado estado de preparación.

Está muy avanzado un artículo sobre Damocloides.

Programa de propiedades superficiales de TNOs, Centauros y núcleos cometarios

Se publicó un artículo sobre los objetos de la población de TNOs relacionados con 2003 EL61 (Pinilla et al. 2008) y está en proceso de revisión otro artículo enviado a *Astronomy & Astrophysics* sobre la composición superficial de 2003 EL61 y se analizan las consecuencias que esto tiene sobre el origen de esta población.

Recibimos la visita del Dr. R. Gil Hutton con quien se trabajó especialmente sobre la población de TNOs relacionada con 2003 EL61 y se envió un artículo a publicar donde se deriva información de la distribución de tamaños de los TNOs pequeños a partir del análisis de la superficie de 2003 EL61 presentado en #1.

Se obtuvieron espectros con resolución rotacional del TNO 2005 FY9 con el objeto de estudiar posibles inhomogeneidades superficiales como las observadas en Plutón.

Se ha trabajado intensamente en observaciones y planificación de nuevos programas para estudiar a los asteroides primitivos, especialmente las poblaciones en el cinturón exterior. Nuevos modelos dinámicos indican un posible origen trans-neptuniano por lo que, para validarlos, es necesario comparar sus propiedades superficiales con las de los TNOs. Se presentó una propuesta para utilizar el VLT/NACO y el IRTF/SPEX, y se obtuvo tiempo con el IRTF para 2009.

Se recibió la visita de la Dra. C. Dalle Ore (NASA-AMES), con ella se inició una colaboración para combinar nuestros espectros en el infrarrojo cercano con la fotometría en el infrarrojo medio que su grupo ha obtenido con SPITZER.

Programa de propiedades nucleares de cometas

Se participó en el análisis de los resultados del programa SepCom de observación con el telescopio Spitzer (Fernández et al.) que ha recibido 105 h de tiempo de telescopio cuya ejecución se finalizó al inicio de 2008. Resultados preliminares se han presentado en varios congresos.

Programa de comas cometarias

Se trabajó en las observaciones obtenidas durante la campaña de seguimiento del experimento Deep Impact desde el ORM, campaña liderada por J. Licandro, que implicó el uso simultáneo entre el 2 y el 10 de julio de los telescopios WHT, TNG y NOT. Se están preparando varios artículos.

Se terminó el análisis de las propiedades de la coma del cometa Schwassmann-Wachmann 1 durante los outbursts observados en 1998 con el telescopio IAC-80, que constituyen la base de la tesis de maestría de N. Sosa. Hay un artículo en preparación.

SISMOLOGÍA SOLAR Y ESTELAR, Y BÚSQUEDA DE EXOPLANETAS (310800)

P.L. Pallé.

J.A. Belmonte Avilés, T. Roca Cortés, C. Régulo Rodríguez, B.W. Tingley, J.M. González Pérez, A. Jiménez Mancebo, H.J. Deeg, M. Rabus, F. Pérez Hernández, D. Salabert, O. Creevey y J.M. Almenara Villa.

Colaboradores del IAC: A. Eff-Darwich, S. Jiménez Reyes, J. Patrón Recio y K. Uytterhoeven.

R. Alonso, P. Barge, M. Deleuil, M. Barbieri (Lab.d'Astronomie Marseille, Francia), Y. Chou (Univ. Tsing Hua, Taiwán); L. Doyle (SETI, EEUU); Y. Elsworth, B. Chaplin (Univ. de Birmingham, Reino Unido); A. Gabriel, P. Boumier, F. Baudin, T. Appourchaux, F. Bouchy, G. Hebrard (Ins. D'Astrophysique Spatiale, Francia); R. García Bustinduy, S. Turck-Chieze, Katrien Uytterhoeven (DSM/DAPNIA, CEA, Francia); P. Amado, S. Martín-Ruiz, R. Garrido, J.C. Suárez (IAA, Granada); G. Grec, T. Corbard (Obs. de la Côte d'Azur, Francia); I. González Hernández, F. Hill, J. Leibacher, R. Howe (NSO, EEUU); K. Horne, A. Cameron (Univ. St. Andrews, Reino Unido); S. Korzennik (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, EEUU); E. Michel, J. Schneider (Obs. de Meudon, Francia); F. Schider (OCA, Francia); T. Brown (LCO, EEUU); H. Rauer, J. Cabrera, A. Eriksson, P. Kabath. (DLR, Alemania); V. Kozhevnikov (Ural State Univ., Rusia); D. Pollacco (Queens Univ. Belfast, Reino Unido); D. Charbonneau, D. Lathan, G. Mandushev, F. O'Donovan, G. Torres, etc. (colaboradores de la Red TrES, diferentes institutos, EEUU); R. Oreiro, (Univ. de Leuven, Bélgica); T. Metcalfe (High Altitude Observatory, EEUU); M. Bazot (Centro de Astrofísica de Oporto, Portugal); Saskia Hekker (Royal Obs. de Bélgica); R. Simoniello (PMOD, Suiza).

Introducción

Los objetivos genéricos de este Proyecto son: el estudio de la estructura y dinámica del interior solar, la extensión de dicho estudio al caso de otras estrellas, y la búsqueda de planetas extrasolares por métodos fotométricos, principalmente mediante tránsitos por delante de sus estrellas principales.

Para el primer objetivo se utiliza la única técnica que actualmente permite su estudio: la Heliosismología Global (para sondear hasta el mismo núcleo del Sol) y la Local (sondeo más detallado pero limitado al 10% más externo). Mediante la detección y estudio del espectro de modos globales de pulsación del Sol es posible inferir de modo preciso, información acerca de su estructura y dinámicas interna, es decir la determinación de los perfiles de las variables físicas más importantes, desde su centro hasta su superficie. El presente Proyecto cubre las distintas facetas necesarias para alcanzar el objetivo antes mencionado:

- Instrumental, en el que ya se ha trabajado intensamente en el pasado y aún se sigue haciendo a través implicaciones en nuevos proyectos, tanto de instrumentación espacial como en tierra.

- Observacional, en el que se realizan observaciones ininterrumpidas a lo largo del año desde varias redes mundiales de estaciones heliosismológicas, además del acceso a los datos de los experimentos GOLF y VIRGO a bordo de la sonda espacial SoHO.

- Técnicas de reducción, análisis e interpretación de los datos.

- Desarrollo teórico de técnicas de inversión de datos y elaboración de Modelos de Estructura y Evolución del Sol. Los resultados ya obtenidos muestran que podemos conocer el Sol con una precisión del orden de un 1 por mil, lo que ha contribuido de forma eficaz a la resolución del ya viejo problema de los neutrinos solares.

Por otro lado, no es de extrañar que se pretenda obtener un conocimiento similar de otras estrellas que se englobaría en la disciplina conocida como Astrosismología o Sismología Estelar. No obstante, la obtención del espectro de modos propios de oscilación en estrellas distintas al Sol es muy difícil y depende del tipo de estrellas que se estudien. Obtener información sobre la estructura interna, evolución y dinámica de estrellas en la Secuencia Principal (SP) y, como es el caso en el presente Proyecto, de algún otro tipo de estrellas mas evolucionadas (sub-enanas calientes), requiere de técnicas instrumentales y estrategias de observación que actualmente aún se encuentran en el límite cercano a poder ser efectivas. El Proyecto constituye un duro aprendizaje en todos los aspectos, tanto el teórico (modelización estelar) como el instrumental y/o observacional (redes robóticas de observación, futuros telescopios espaciales, etc.).

La estrategia de utilización de tránsitos planetarios para descubrir la existencia de planetas alrededor de otras estrellas, consiste en la detección

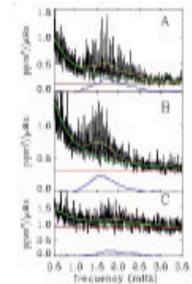
fotométrica de disminuciones de brillo (y también cambios de color) de una estrella cuando uno de sus planetas está pasando por delante de la misma, es decir, entre ella y el observador. Actualmente esta metodología es la única al alcance de la tecnología para permitir la detección de planetas con tamaños similares al de la Tierra, no sólo por su sensibilidad sino también porque permite llevar a cabo estudios relativamente detallados de los planetas descubiertos. Esta tecnología es similar a la que también se utiliza para la Helio y Astrosismología con lo que se puede entender como una extensión lógica de lo aprendido en la experiencia con los anteriores objetivos. Por otro lado, es importante desarrollar algoritmos para la detección inequívoca de planetas y distinguirlos de lo que son falsas alarmas.

Con la puesta en órbita del satélite CoROT durante el año 2007 y las primeras distribuciones de datos a los científicos participantes durante el 2008, cuyos objetivos científicos se enmarcan en las áreas de la Astrosismología y la detección de Exoplanetas por el método de tránsitos, se ha iniciada una era de grandes avances para estos dos campos de investigación, de los que se han podido disfrutar de los primeros resultados durante el año 2008.

Algunos resultados relevantes

Detección y caracterización de oscilaciones «tipo solar» en tres estrellas del campo de Astrosismología del satélite CoROT.

Espectros de potencia de las observaciones fotométricas de CoROT en tres estrellas Tipo Solar. A) el de HD49933; en negro y amarillo el espectro original filtrado con dos filtros de grado distinto, en verde el espectro medio debido a la granulación; en rojo el del ruido blanco promedio y en azul el espectro debido únicamente a los modos propios de oscilación de la estrella. B) lo mismo para HD181420 y C) para HD181906.



Detección y caracterización del primer exoplaneta (CoROT-Exo-3b) en la zona de transición entre planetas y enanas marrones masivas: el "desierto de las enanas marrones".

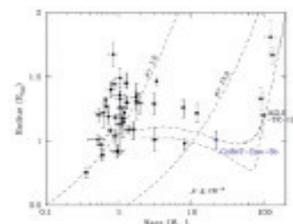
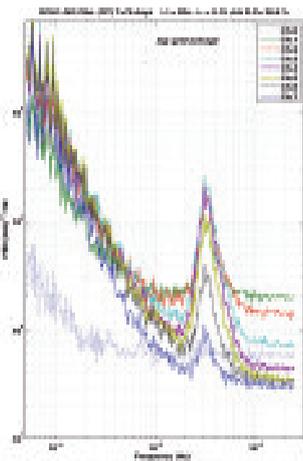


Diagrama Masa-Radio para todos los planetas con tránsitos. Se muestra la posición única de Corot-Exo-3b (en azul) dentro de la zona de planetas (por debajo de 18 veces la masa de Júpiter) y la de enanas marrones.

El prototipo del nuevo instrumento GOLF-NG instalado en el Laboratorio Solar del Observatorio del Teide, mide por vez primera el espectro de oscilaciones solares de modo simultáneo en diversas alturas de la atmósfera solar (fotosfera a cromosfera).



Espectros de potencia (filtrados) de las observaciones realizadas con el instrumento GOLF-NG en verano de 2008 en el Laboratorio Solar del Observatorio del Teide. Se observa como la señal de los modos-p de 5 minutos (3 mHz) es claramente visible en las diversas alturas de la atmósfera solar (el canal #7 corresponde a la parte más profunda de la atmósfera, fotosfera, y el #1 a la más externa – cromosfera).

Evolución del Proyecto

CoROT

A finales de diciembre de 2007, se distribuyeron los primeros datos procesados del satélite CoROT a los grupos de investigación con co-investigadores de dicho Proyecto. La calidad de los datos, cumplió perfectamente con las expectativas (tanto en lo que respecta al programa de Astrosismología como al de Búsqueda de Exoplanetas) de modo que su análisis, interpretación y seguimiento de las diversas campañas, ha sido una de las principales tareas de los miembros del grupo.

En relación al programa de Astrosismología, los investigadores del grupo han participado en los diversos grupos de trabajo encargados de analizar los es estrellas de "tipo solar". Cada estrella se analizó en el seno de un equipo concreto y bajo la responsabilidad de un científico del Consorcio. En paralelo, dentro del Consorcio "AsterFLAG", se

preparó y contrastó (con simulaciones realistas) el paquete de software básico a utilizar así como diversas técnicas de extracción e identificación de modos propios de oscilación en estrellas con diversidad de parámetros físicos. Fruto de todo ello, ha sido la publicación de varios artículos al respecto entre los que cabe destacar la denominada "CoROT measures Solar-Like oscillations and Granulation in stars hotter than the Sun" en la revista *Science* (octubre, 2008). En dicho trabajo, se analizan las campañas de CoROT para estas tres estrellas (60 y 150 días consecutivos de observación para una y dos de estas estrellas) concluyéndose que: en todas ellas se aprecia un espectro de modos propios de oscilación similares al del Sol; la potencia de los modos observados resulta ser de 1,5 veces mayores que en el caso solar pero casi un 25% menor que las mejores predicciones. Asimismo destaca la medida del «background» (nivel de ruido en el espectro) de estas estrellas (básicamente debido a los movimientos convectivos en la superficie estelar - granulación), que resulta ser casi un factor 3 más alto que en el caso solar. Este resultado es sumamente importante ya que es precisamente esta componente espectral (granulación) la que limita la detección de las pulsaciones (modos) más débiles.

En cuanto a los resultados alcanzados dentro del programa de "Planetas" de CoROT, se anunciaron 5 descubrimientos de planetas extrasolares durante el 2008, publicados en un series de siete artículos en la revista *Astronomy & Astrophysics*, bajo el título común "Transiting exoplanets from the CoRoT space mission". De entre ellos, destaca el objeto Corot-Exo-3b. Con una masa de 21 Júpiteres, es el primer miembro bien caracterizado que se adscribe a la "zona gris" entre planetas y enanas marrones más masivos; es el denominado "desierto de los enanas marrones". La detección y caracterización de estos cinco planetas es el fruto de un laborioso proceso de análisis de las curvas de luz de los cientos de candidatos encontrados por la misión, y de posteriores observaciones terrestres para la verificación de los mejores candidatos. El grupo juega un papel central en este esfuerzo: por un lado, la responsabilidad de coordinar las observaciones fotométricas terrestres de varios equipos participantes en Corot, contando con la muy importante contribución de observaciones propias, hechas en el telescopio IAC-80 de modo muy eficaz durante el "tiempo rutinario", lo cual permitió la clasificación de numerosos candidatos. Por otra parte, participamos en el análisis directo de las curvas de luz del Corot, con una especialización en el análisis de los sistemas Binarios Eclipsantes a fin de detectar la presencia de planetas circumbinarios. En este sentido, y en el marco de la tesis doctoral de J.M. Almenara, se están aplicando algoritmos especiales de la detección de

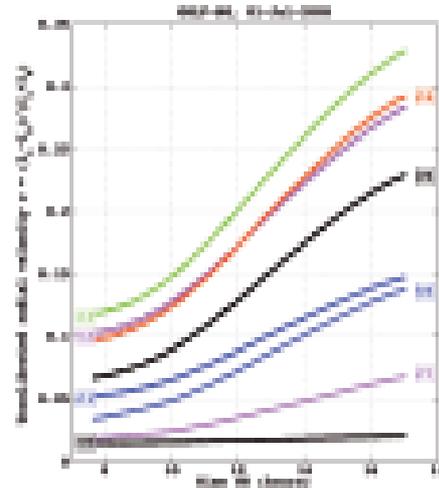
estos cuerpos, y por otro, se han llevado a cabo varias campañas de espectroscopía en el telescopio INT, a fin de mejorar la caracterización de componentes estelares de binarias eclipsantes de la muestra. Además, en el telescopio WHT, se llevaron a cabo observaciones para detectar tránsitos secundarios del recién descubierto Corot-Exo2; estos datos están siendo analizados.

Heliosismología

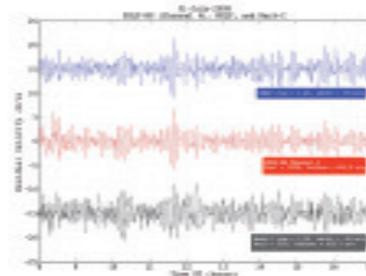
A lo largo del periodo estival (junio-octubre), se instaló el nuevo instrumento GOLF-NG ("technical prototype") en el Laboratorio Solar del Observatorio del Teide y se llevó a cabo una campaña regular de observaciones heliosismológicas del 8 de junio - 8 de octubre. Este instrumento es un espectrofotómetro por dispersión resonante en la línea D1 de Sodio, capaz de medir simultáneamente la velocidad Doppler solar en distintas alturas en la atmósfera solar, con gran precisión y estabilidad. El desarrollo, caracterización, operación y explotación científica de este prototipo, es fruto de una colaboración entre el DAPNIA (CEA, Saclay) y el IAC, bajo los auspicios (entre otros) del PNAyA (2004 y 2007). El grupo científico-técnico asociado a esta iniciativa, está formado por miembros de las instituciones anteriores, así como de otros cinco centros internacionales. Los resultados obtenidos son altamente satisfactorios por cuanto: el instrumento ha operado de modo regular y continuo a lo largo de tres meses, tanto el software de control y adquisición como el comportamiento de los elementos más críticos del sistema (térmica de la celdilla, detector, etc.) han respondido de forma correcta; la velocidad Doppler de la superficie solar registrada en diferentes alturas (ocho) de la atmósfera (fotosfera a cromosfera) de modo simultáneo, muestra de modo contundente la presencia de la señal de 5 minutos de período, como consecuencia de las pulsaciones globales del Sol; la comparación de esta señal con la obtenida simultáneamente con similares instrumentos operativos en el Laboratorio Solar (Mark-I) y en el satélite SOHO (instrumentos GOLF), demuestra la sensibilidad del nuevo prototipo a la medida de velocidad Doppler; las características del espectro de oscilaciones solares (modos-p) observados a distintas alturas en la atmósfera solar, concuerda con las previsiones teóricas y también evidencias observacionales existentes, si bien ésta es la primera vez en que esta observación multi-altura se realiza de modo simultáneo.

Por otra parte, el análisis de los datos de esta campaña, ha permitido detectar los puntos débiles del prototipo y por ello determinar las mejoras técnicas a llevar a cabo próximamente: reducción de la luz parásita en la celdilla de Sodio, selección

de detectores con un ruido más bajo que los actuales (fotodiodos), mejor estabilidad térmica global, etc. Pese a las anteriores limitaciones, se espera explotar los datos de la campaña, sobretodo en lo concerniente a la variación de la potencia de los modos acústicos con la altura en la atmósfera solar.



Velocidad radial solar instrumental (sin calibrar) medida por el espectrofotómetro GOLF-NG a lo largo de una jornada de observación en la campaña de verano de 2008. Se observa (para los canales-alturas, 1 a 7) la componente sinusoidal debida a la velocidad de rotación de la Tierra y la diferencia de amplitud de la misma y que es una medida de la sensibilidad del instrumento a fluctuaciones Doppler en distintas zonas (alturas) de la atmósfera solar CoROT.

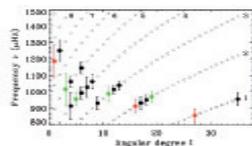


Comparación de la velocidad Doppler residual debida a las oscilaciones solares (5 minutos) medidas simultáneamente el 1 de julio de 2008 con diversos instrumentos heliosismológicos: GOLF en SoHO (azul), GOLF-NG (rojo) y Mark-I (negro), ambos instalados en el laboratorio Solar del OT.

En cuanto a la temática de los modos gravitatorios solares (modos-g), se ha continuado con los esfuerzos llevados a cabo en años anteriores, mejorando las técnicas utilizadas e incorporando otras nuevas. En particular, se ha detectado una señal a la frecuencia de 220.7 microHz (75 minutos de periodo) en los datos del VIRGO/SPM estable durante 11 años. Después de analizar un posible origen instrumental (estudiando los parámetros de

apuntado y correcciones orbitales del satélite SOHO y de los datos "house-keeping" del instrumento VIRGO), se ha llegado a la conclusión de que esta señal no es de origen instrumental. Utilizando métodos Montecarlo, resulta ser que ésta tiene más del 99% de posibilidades de no ser producida por ruido aleatorio. Se ha detectado también en datos del resto de los instrumentos de VIRGO, en los radiómetros DIARAD y PMOD y en el instrumento LOI así como en datos de velocidad del instrumento GOLF/SOHO y se han encontrado también trazas de su existencia en los datos de la red terrestre GONG. Se concluye que la señal es compatible = 2 y orden λ con un modo gravitatorio solar (modo-g) de grado angular radial $n = 3$.

Se ha proseguido con el trabajo de caracterización de modos acústicos de baja frecuencia y con baja relación señal a ruido, en datos con resolución espacial (GONG y MDI/SOHO), desarrollando nuevas herramientas y códigos: los "colapsogramas".



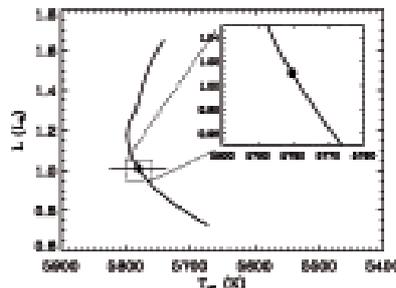
Las nuevas frecuencias de modos acústicos (círculos rellenos) detectados en datos de observaciones con resolución espacial, utilizando la técnica del "colapsograma", en el rango de grado angular ≤ 35 . Las barras de error de las nuevas frecuencias, se han $\lambda 1 \leq$ multiplicado por 2×10^4 , para poder ser apreciadas. Las frecuencias de modo ya determinados previamente se muestran en círculos abiertos y los predichos teóricamente, mediante cruces.

Se está procediendo a la adaptación de los códigos utilizados para analizar los datos del instrumento heliosismológico LOWL (elaborado por componentes del grupo) a lo que serán las observaciones heliosismológicas de grado angular medio que se obtendrán con la misión espacial PICARD, cuyo lanzamiento está previsto para octubre de 2009. Esta misión espacial del CNES (Francia). El grupo estará en una posición única en cuanto a la rápida explotación científica de estas observaciones. Asimismo, el grupo HMI de la futura misión espacial SDO (Solar Dynamics Observatory) de la NASA, ha mostrado interés en adaptar estos códigos a la especificidad de sus observaciones heliosismológicas.

Astrosismología

Se ha desarrollado un paquete de código ("pipeline") que funciona de modo automático (sin interacción del investigador) para el análisis de datos astrosismológicos con las mismas características que las obtenidas con instrumentación espacial.

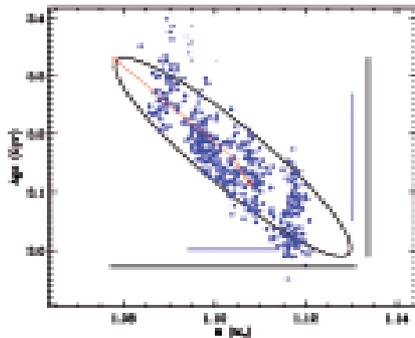
Tras la liberación de la gran cantidad de observaciones de CoROT y con la misión Kepler a punto de iniciarse, parece claro que habrá una falta de recursos humanos para llevar a cabo el análisis de tal cantidad de datos de forma "tradicional" y con la precisión requerida. Se ha puesto pues a punto, un código (combinación de un algoritmo genético (GA) y de optimización local) al que cuando se le proporciona un conjunto de datos de entrada (principalmente frecuencias de modos y parámetros clásicos), proporciona (en cuestión de pocos días) el modelo estelar óptimo para ese conjunto de datos, habiendo barrido y probado un conjunto amplio de valores de la masa (0.75 a 2 Masas solares), edades (ZAMS-TAMS), composición química inicial X (0.6-0.8), Z (0.0001-0.05) y longitud de mezcla (1.0-3.0). Como ejemplo de este código, se muestra en la Figura X el modelo de evolución estelar obtenido en el caso del Sol, utilizando el conjunto de frecuencias de modos propios acústicos obtenidos por la red heliosismológica terrestre BiSON (Birmingham Solar Oscillations Network), uno de cuyos nodos está en el Observatorio del Teide, como entrada. El punto representa el modelo del Sol actual a la edad correspondiente. La temperatura efectiva y la luminosidad solar se obtienen con un alto grado de precisión.



Análisis del sistema HD172189. La peculiaridad y el interés de este sistema binario es doble; por una parte una de las componentes es una estrella pulsante tipo delta-Scuti y por otra, forma parte del cúmulo abierto IC4657. Recientemente, ha sido incluido dentro de los objetivos ("targets") a ser observados por el satélite CoROT. A partir de observaciones espectroscópicas realizadas en 2005 y 2007, usando diversos métodos para determinar independientemente la velocidad radial de cada una de las componentes del sistema binario, se ha inferido la masa de ambas estrellas. Además, la aplicación del programa Korel a dichas observaciones, ha permitido "separar" el espectro de cada una de las componentes y, por ello, determinar las abundancias individuales que resultan ser compatibles con las existentes en la literatura para dicho cúmulo.

Caracterización astrosismológica de la estrella tipo solar HD49933. A partir de las frecuencias propias

de oscilación observadas para esta estrella y combinando una aproximación Markov-Chain Montecarlo (MCMC) y una minimización analítica local, el objetivo es el de obtener un modelo preciso para esta estrella. Para ello se precisa conocer las incertidumbres y el grado de correlación entre los parámetros para, en definitiva, ver que grado de información puede proporcionarnos la denominada "gran separación" entre las frecuencias. Las observaciones de esta estrella han sido analizadas por dos grupos distintos, proporcionando unos resultados diferenciados (etiquetado distinto de las mismas frecuencias). La aplicación del método propuesto a ambos conjuntos observacionales pone de manifiesto el impacto de las diferencias en las "observaciones" en los resultados finales obtenidos (incertidumbres en la edad y masa de la estrella). El eficiente método analítico propuesto, muestra ser una buena "herramienta de diagnóstico" para entender e interpretar correctamente las observaciones.



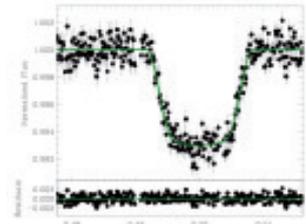
Parámetros del modelo MCMC de Edad y Masa, que describen adecuadamente las observaciones (puntos azules). La elipse en negro describe las correlaciones de los parámetros calculados analíticamente, usando la técnica SVD. Este nuevo método analítico proporciona una eficiente herramienta de diagnóstico para comprender e interpretar correctamente las observaciones.

Se participa activamente en los trabajos del Consorcio europeo KASC (Kepler Asteroseismology Science Center), encargado de la explotación astrosismológica de las observaciones del satélite Kepler (NASA), cuyo lanzamiento está previsto para la primavera de 2009. La selección de los "targets" (estrellas a observar con una cadencia temporal suficiente para análisis astrosismológico) y la preparación del paquete de programas automático para sus análisis, son las dos principales tareas en que los miembros del grupo están involucrados.

Exoplanetas

Se han llevado a cabo observaciones de tránsitos de varios exoplanetas conocidos en los telescopios IAC-80 y TCS. Un tránsito del sistema GJ436b, con

órbita excéntrica, fue observado con el telescopio TCS, obteniéndose una curva de luz con una precisión alcanzado anteriormente solo con el telescopio espacial Spitzer. Estos datos permitieron descartar la hipótesis de un tercer planeta en este sistema, postulado en la literatura por un equipo independiente.



Curva de luz de un tránsito del planeta GJ 436b tomado en la banda H con el telescopio TCS del Observatorio del Teide. La línea verde indica el ajuste del modelo a estas observaciones del tránsito. Los residuos del ajuste indican una precisión del 0.08% en la fotometría llevada a cabo.

Observaciones de los planetas TrES-1 y TrES-2 en el telescopio IAC-80 junto con un nuevo análisis de datos obtenidos con el HST en el año 2005, pusieron de manifiesto indicios para TrES-1 de lo que sería una mancha estelar o un hipotético segundo planeta. En el caso de TrES-2 se han conseguido fijar límites a la presencia de planetas adicionales.

Telescopio STARE de la Red TrES. Se han hecho observaciones de seguimiento espectroscópicas y fotométricas, rechazando algunos candidatos. El red está a punto de finalizar sus observaciones y sus actividades.

En este año se inició el trabajo en el estudio detallado (Assessment study) de la misión PLATO, una misión de segunda generación para descubrir y caracterizar planetas extrasolares, avanzado por la ESA. Para este fin se participó con cálculos sobre la distribución estelar en potenciales campos de observación, relevantes para decisiones sobre algunos parámetros del instrumento, como el tamaño del telescopio, su campo de visión y el número de sus telescopios. Además, un miembro del grupo participa en el "PLATO Consortium Council" como uno de dos representantes españoles.

Divulgación

El Proyecto "Los sonidos de la ciencia, la ciencia de los sonidos", financiado por la FECYT-080998, tuvo como objetivo acercar al público general, en particular a estudiantes y personas invidentes, la física de las ondas a través del mundo de los sonidos. El grupo se ha enfocado en la descripción del sonido así como en sus propiedades, cómo los percibe el ser humano, su papel en el mundo animal, y explicar sus aplicaciones científicas. Las acciones realizadas en el transcurso de ejecución de este Proyecto fueron las siguientes:

- Recopilación y elaboración de material multimedia (casi exclusivamente audio) para la realización de las charlas divulgativas.

- Elaboración de una charla en formato Powerpoint que recogiera y ordenara todo el material multimedia disponible. En esta charla se explica de una forma entretenida el significado físico del sonido, sus propiedades y aplicaciones.

- Elaboración de un guión de la charla como ayuda a profesores del seguimiento de la charla.

- Elaboración de una página Web (www.lossonidosdelaciencia.es) que recogiera la charla, el guión, el material multimedia, así como noticias, fotos, contactos, etc. La página fue elaborada siguiendo los protocolos diseñados por la ONCE para acceso de personas invidentes.

- Elaboración y organización de experimentos sobre el sonido.

- Elaboración de una agenda de actos, consistente en contactar con distintos institutos y colegios de todas las islas Canarias para concertar fechas en las que llevar a cabo las actividades. Un total de 11 eventos fueron organizados durante el último trimestre del año, visitando todas las islas del Archipiélago Canario salvo Fuerteventura. En los próximos meses, realizaremos esta actividad en 5 centros más, incluido los cedés provinciales de la ONCE.

- Impartir las charlas en los distintos centros docentes, para lo que dos miembros principales del Proyecto, A. Eff-Darwich y S. Jiménez Reyes.

- Intercambio de ideas con profesores y alumnos para ir mejorando las actividades que se desarrollaban.

- Dar a conocer las actividades mediante artículos en prensa y radio. Se tiene programada para este mes de marzo de 2009 la emisión de la charla a través de la Radio Pública Canaria.

RELACIÓN SOL-TIERRA (3I1003)

**M. Vázquez.
P. Montañés Rodríguez.**

J.M. Vaquero, M.C. Gallegos (Univ. de Extremadura); R. Casas (Instituto de Ciencias del Espacio, IEEC-CSIC, Barcelona); P. Goode (Big Bear Obs., EEUU); J.J. Curto (Obs. del Ebro).

Introducción

Iniciar una línea de investigación sobre relaciones Sol – Tierra y el clima terrestre.

Redacción de libros y artículos revista a nivel académico y semi-popular sobre diferentes temas que implican la consideración de la Tierra como un objeto astronómico, estudiando su relación con su vecindad más próxima y su posible consideración como una nueva piedra de Rosetta para la caracterización de los futuros exoplanetas de tipo terrestre.

Algunos resultados relevantes

Entrega del libro "The Sun Recorded Through History" para su publicación por la Editorial Springer.

Evolución del Proyecto

E. Pallé y J.J. Curto han finalizado el análisis de las series meteorológicas de nubosidad e insolación existentes en el Observatorio del Ebro desde principios del siglo XX. Una publicación con los resultados aparecerá próximamente en el *International Journal of Climatology*.

E. Pallé y Esther Sanromá (Univ. de La Laguna) están estudiando la variabilidad temporal en las series de insolación, nubosidad, temperatura y extinción en varios puntos de la geografía canaria, incluyendo los Observatorios del IAC. Los datos meteorológicos han sido proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología.

E. Pallé, M.R. Zapatero Osorio, P. Montañés, R. Barrena y E. Martín han obtenido el espectro de transmisión de la atmósfera terrestre mediante observaciones de un eclipse de Luna con el telescopio WHT. El análisis de dichas observaciones ha dado lugar a algunos resultados sorprendentes que se publicarán próximamente.

J.M. Vaquero y M. Vázquez han completado la redacción del libro "The Sun Recorded Through History" que será publicado próximamente por la Editorial Springer. Es un texto que reconstruye la actividad solar en el pasado basándose en la información contenida en documentos históricos, complementando así estudios que utilizan otras técnicas.

M. Vázquez, J.M. Vaquero y M.C. Gallegos y R. Trigo (Univ. de Lisboa, Portugal) han utilizado registros documentales de auroras visibles en Gran Bretaña para detectar la periodicidad de Rieger (155 días) en las últimas décadas del siglo 18, una época

en donde los registros solares muestran numerosas lagunas. Un análisis estadístico riguroso del material disponible muestra dicha oscilación que debe confirmarse con bases de datos más amplias.

M. Vázquez y J.M. Vaquero han iniciado el análisis de varias auroras boreales observadas en Tenerife durante los siglos XVIII y XIX. Su aparición se relacionará con el nivel de actividad solar y la latitud geomagnética de la Isla.

ALTA RESOLUCIÓN EN FÍSICA SOLAR (3I1403)

J.A. Bonet.

Colaborador del IAC: M.I. Márquez Rodríguez.

Introducción

Cada vez es más evidente que el conocimiento de la Física Solar en profundidad pasa por obtener datos de muy alta resolución lo que demanda telescopios de mayor apertura que la de los actuales y con mejor equipamiento para corregir en tiempo real la degradación inducida por la turbulencia atmosférica. La prueba de ello es que la puesta en marcha de la nueva Torre Sueca (SST), duplicando el diámetro de los telescopios preexistentes, ha dado como frutos el descubrimiento de nuevos eventos en el Sol que por su pequeño tamaño no habían sido observados hasta el presente (penumbral cores, sumideros en forma de vórtices, ...). En esta línea de progreso se encuadran el telescopio Gregor que próximamente verá su primera luz en el Observatorio del Teide y también el nuevo proyecto europeo para la construcción del telescopio EST con sus 2-4 m de apertura. Asimismo, contamos con telescopios solares en el espacio para hacer imágenes de alta resolución tal como HINODE y SUNRISE que operará desde un globo estratosférico no tripulado en trayectoria circumpolar.

Nuestro fácil acceso al telescopio SST, así como a HINODE y a SUNRISE (de cuyo consorcio formamos parte), hace que podamos disponer de material de alta calidad y obtener resultados muy competitivos en el campo de la alta resolución en Física Solar.

Algunos resultados relevantes

La teoría de convección predice vórtices en la fotosfera. Estos vórtices se crean en los puntos de sumidero por donde el plasma una vez enfriado, retorna al interior del Sol. Estos remolinos, que hasta ahora nadie había observado, se han detectado al estudiar el movimiento de los Puntos Brillantes en

G-band. Estos puntos brillantes en algunos puntos de la superficie solar siguen trayectorias en forma de espirar logarítmica similarmente a lo que ocurre con el agua en el desagüe de la bañera. Un estudio estadístico revela una densidad de 0.9×10^{-2} vórtices por Mm^2 en la superficie solar y un tiempo de vida medio de unos 5 min. Creemos que estos valores son infraestimaciones ya que se han utilizado los PBs como trazadores de movimiento y podría darse el caso de la existencia de otros vórtices en los que no haya una población de PBs que ponga en evidencia su existencia.

El cambio de punto de observación en la superficie solar o de las condiciones térmicas ambientales durante el vuelo de SUNRISE hace prever alteraciones en los índices de refracción de la óptica y dilataciones térmicas en los soportes ópticos, que redundarán en la aparición de aberraciones imprevistas en la formación de las imágenes de IMAx. Para superar este problema, se ha introducido un componente óptico extra que permite inducir desenfoques intencionados en uno de los canales con lo que mediante un código basado en inversión por Diversidad de Fase, se podrán derivar la mencionadas aberraciones. Se ha comprobado la robustez de este código en su repetibilidad y se cuenta con él como pieza clave para alcanzar la resolución y sensibilidad espectropolarimétrica que se espera de IMAx.

Evolución del Proyecto

En los últimos años se ha seguido una línea de investigación en la que estudiamos los elementos magnéticos en la superficie solar, en regiones en calma (con poca actividad magnética). Estos elementos magnéticos que se revelan con especial claridad como puntos brillantes (PBs) en G-band, representan una parte muy importante del magnetismo solar y por tanto en todos los fenómenos que se derivan de él y que afectan a nuestra estrella y también a su entorno en el cual vivimos. Es por su importancia por lo que los PBs son objeto de uno de nuestros programas de trabajo a largo plazo para estudiar sus aspectos fotométricos, magnéticos y dinámicos a lo largo del ciclo solar. Basándonos en imágenes tomadas con el telescopio SST y reconstruidas con el novedoso código MOMFBD, se han encontrado pequeños remolinos en el Sol que se han puesto de manifiesto utilizando los mencionados PBs como trazadores de movimiento. La teoría de convección los predice pero nadie los había observado hasta ahora.

El Proyecto IMAx consiste en la construcción de un magnetógrafo vectorial de alta resolución para medidas del campo magnético solar a muy pequeñas

escalas y gran sensibilidad en la medida (podrá detectar valores muy pequeños del campo magnético). IMaX ha sido diseñado y construido en consorcio por cuatro instituciones españolas (IAC como institución IP, GACE, INTA e IAA). Este instrumento forma parte de un proyecto más complejo denominado SUNRISE que consiste en un telescopio de 1 m de apertura (IMaX es parte de su instrumentación post-foco) que volará la próxima primavera-verano en un globo estratosférico en trayectoria circumpolar en el Polo Norte. En este momento IMaX esta siendo ensamblado en el conjunto SUNRISE. La participación de nuestro proyecto interno en el proyecto IMaX ha consistido en definir y crear el procedimiento de calibración de aberraciones para reconstruir las imágenes tomadas por IMaX. Esta tarea ha sido parte de la tesis de s. Vargas Domínguez y de ella se ha derivado la necesidad de incorporar un elemento óptico extra en uno de los canales de toma de imágenes para poder adquirir grupos de pares de imágenes en el continuo, a partir de los cuales y mediante inversión Phase-Diversity (PD), se inferirán las aberraciones residuales que afectaran a las imágenes de IMaX. Por inestabilidades térmicas en el sistema se espera variaciones de largo periodo en las condiciones ópticas y por ello se recomienda realizar calibraciones a intervalos de 1 hora. El trabajo se ha completado con experimentos numéricos en los que se han simulado distintas fuentes de perturbación y se ha probado la robustez del algoritmo desarrollado para realizar las citadas inversiones PD que caracterizaran las aberraciones variables. También se ha colaborado en la caracterización de aberraciones residuales en IMaX en su fase de AIV en laboratorio, así como en el acoplamiento de planos focales de los diferentes instrumentos post-foco de SUNRISE durante su ensamblado en Lindau (MPS, Alemania).

MAGNETISMO Y POLARIZACIÓN EN ASTROFÍSICA (3I2507)

J. Trujillo Bueno, F. Moreno-Insertis, H. Socas Navarro, A. Asensio Ramos, R. Manso Sainz, M., J. Stepan y E.S. Carlín Ramírez.

L. Belluzzi, E. Landi Degl'Innocenti (Univ. de Florencia; Italia); M. Bianda, R. Ramelli (IRSOL; Suiza); N. Shchukina (Obs. de Kiev, Ucrania); H. Uitenbroek (NSO; EEUU); M. Elitzur (Univ. de Kentucky; EEUU); R. Centeno, R. Casini (NCAR; EEUU); D. Moses (NRL; EEUU).

Introducción

Los campos magnéticos están presentes en todos los plasmas astrofísicos y controlan la mayor parte de la variabilidad que observamos en el Universo a escalas temporales intermedias. Los tenemos en estrellas a lo largo de todo el diagrama de Hertzsprung-Russell, en galaxias, e incluso quizás en el medio intergaláctico. La polarización de la luz proporciona la fuente más fiable de información para la teledetección de campos magnéticos en Astrofísica, incluyendo los campos magnéticos del Sol. En particular, el diagnóstico de campos magnéticos en las atmósferas del Sol y de otras estrellas requiere de la medida e interpretación física de señales de polarización en líneas espectrales, las cuales son inducidas por varios mecanismos físicos que operan a las escalas atómicas. Además del efecto Zeeman, hay muchos otros mecanismos físicos que producen polarización en la radiación electromagnética. Por ejemplo, la polarización de los niveles atómicos o moleculares inducida por el bombeo óptico de un campo de radiación anisótropo, las interferencias cuánticas entre niveles de estructura fina o hiperfina, el efecto Hanle, etc. La polarización generada por tales mecanismos es sensible a las condiciones físicas del plasma astrofísico en consideración y, en particular, a la presencia de campos magnéticos en un rango de intensidades que va desde valores tan bajos como $1 \mu\text{G}$ hasta varios miles de gauss.

El principal objetivo de este Proyecto es explorar, en profundidad, la física y el origen de la radiación polarizada en plasmas astrofísicos, así como su utilidad como medio de diagnóstico para descifrar y entender la actividad magnética en Astrofísica, con énfasis en el magnetismo de la atmósfera solar. Nuestras investigaciones involucran:

- La física de la polarización, lo que requiere profundizar en la teoría cuántica de la interacción radiación-materia, teniendo en cuenta procesos de "scattering" en presencia de campos magnéticos y eléctricos.

- El desarrollo de técnicas de diagnóstico de plasmas para la exploración de campos magnéticos en Astrofísica, con particular interés en los maseres astronómicos, en las envolturas circunestelares y en descifrar el complejo magnetismo de la atmósfera solar.

- Observaciones espectropolarimétricas y su interpretación en términos de modelos físicos.

- Desarrollo de métodos numéricos para la solución de problemas de transporte radiativo sin suponer

equilibrio termodinámico local, con aplicaciones a modelos tri-dimensionales de atmósferas estelares resultantes de simulaciones magneto-hidrodinámicas.

- Espectroscopia y espectropolarimetría atómica y molecular, con aplicaciones en varios campos de la Astrofísica.

Este Proyecto está formado por un grupo de científicos convencidos de la importancia de complementar investigaciones teóricas y observacionales para hacer frente a algunos de los retos actuales de la Astrofísica.

Algunos resultados relevantes

Uno de los grandes retos en Física Solar y Estelar en los próximos años es lograr descifrar la complejidad del magnetismo de las regiones externas de la atmósfera solar (cromosfera y corona), así como su acoplamiento dinámico con los campos magnéticos de la fotosfera subyacente. Para tal fin, es importante desarrollar rigurosas técnicas de diagnóstico capaces de proporcionar información sobre las condiciones físicas del plasma observado a partir de medidas espectropolarimétricas. Por esta razón, se ha desarrollado un complejo código numérico que permite la síntesis e inversión de perfiles de Stokes producidos por la acción conjunta de la polarización de los niveles atómicos y los efectos Hanle y Zeeman en líneas espectrales cromosféricas, como las de los multipletes a 10830 Å y 5876 Å del helio neutro. Este código está basado en la teoría cuántica de la polarización, por lo que tiene en cuenta todos los mecanismos físicos relevantes: bombeo óptico anisótropo, polarización atómica, cruzamiento y repulsión entre los niveles atómicos, y los efectos Zeeman, Hanle y Paschen-Back. La influencia del transporte de radiación en la intensidad y polarización de la radiación emergente es tomada en cuenta mediante un modelo adecuado. El usuario puede calcular los perfiles de Stokes emergentes dadas la intensidad y geometría del vector campo magnético, o bien inferir las propiedades dinámicas y magnéticas a partir de los perfiles de Stokes observados mediante un eficiente algoritmo de inversión basado en métodos de optimización global. La fiabilidad de las dos opciones de este código (síntesis espectral e inversión) ha sido demostrada mediante diversas aplicaciones, tales como la determinación del campo magnético en regiones activas o en regiones en calma de la cromosfera solar. Esta nueva técnica de diagnóstico de plasmas llamada HAZEL (de HANle and ZEman Light) ha sido puesta a disposición de la comunidad astrofísica, con el deseo de que facilite nuevos avances en física solar y estelar. (Asensio Ramos, Trujillo Bueno y Landi Degl'Innocenti 2008; *Astrophysical Journal* 683, 542).



Interfaz gráfico de HAZEL para el control de los parámetros físicos en el modo de síntesis.

Magnetismo Solar y Espectropolarimetría

Estudio observacional del magnetismo del "Sol en calma". La irrupción del observatorio espacial Hinode en el panorama internacional nos permite abordar este problema por primera vez haciendo espectropolarimetría de alta resolución espacial. Entre los resultados más relevantes se encuentra la observación de una componente débil formada por campos horizontales de difícil detección. Este trabajo se enmarca dentro de un importante esfuerzo de colaboración internacional (Lites, Kubo y Centeno, High Altitude Obs., EEUU; Berger, Frank, Shine, Tarbell, Title, Lockheed Martin en EEUU; Ichimoto, Katsukawa, Tsuneta, Suematsu, National Astronomical Obs. de Japón; Shimizu, Japan Aerospace Exploration Agency; Nagata, Univ. de Kyoto, Japón). (H. Socas-Navarro).

Diagnóstico de la cromosfera solar a través de la polarización observada en líneas cromosféricas. Se ha utilizado el polarímetro ZIMPOL (Zürich Imaging Polarimeter) acoplado al telescopio THÉMIS del Observatorio del Teide para observar la polarización lineal y circular producida por procesos de "scattering" y los efectos Hanle y Zeeman en varias líneas cromosféricas, tales como las del triplete IR del Ca II. Los datos obtenidos son de una gran calidad y fiabilidad, lo que demuestra una vez más que THÉMIS es un extraordinario telescopio para explorar el magnetismo solar, sobre todo cuando se combina con novedosos polarímetros como ZIMPOL. Por ejemplo, se ha detectado variabilidad espacial a escalas de 5 segundos de arco en las señales de los parámetros de Stokes Q y U de las líneas de dicho triplete observadas en regiones del Sol en calma. Tales señales de polarización lineal se deben a la polarización atómica de los niveles superiores e inferiores de tales líneas espectrales, y a su modificación por el efecto Hanle. Su interpretación física mediante la aplicación de MULTIPOL (uno de los códigos de transporte radiativo, basados en la teoría cuántica de la

polarización, desarrollados previamente por nuestro grupo) indica que tales fluctuaciones son debidas fundamentalmente a cambios en la topología del campo magnético de la cromosfera solar. (J. Trujillo Bueno y R. Manso Sainz, en colaboración con R. Ramelli del IRSOL).

Propagación de errores en la demodulación polarimétrica. Se ha desarrollado un método que permite calcular cómo se propagan los errores en un proceso de demodulación polarimétrica. Este método es totalmente general y tiene en cuenta la aparición de covarianza no nula (correlación) entre los parámetros de Stokes medidos como consecuencia de incertidumbres en el conocimiento de los términos exactos de la matriz de modulación. Demostramos que, en general, es necesario conocer los elementos de la matriz de modulación con una precisión igual o mejor que la precisión deseada en la medida de los parámetros de Stokes (A. Asensio Ramos, en colaboración con M. Collados).

Dinámica de la oscilación en la cromosfera sobre la umbra de las manchas solares. Usamos datos del observatorio espacial Hinode para estudiar los chorros que se observan en la cromosfera proyectando material a 15 km/s en los denominados umbral flashes. La alta resolución espacial, hasta ahora sin precedentes, que proporciona Hinode nos permite confirmar la predicción que hicimos en 2000 sobre la coexistencia de una componente fría y una caliente mezcladas en escalas de ~100 km. (H. Socas-Navarro, en colaboración con McIntosh, Centeno, de Wijn y Lites, del NCAR).

Aplicaciones de la teoría cuántica de la polarización

Polarización producida por procesos de "scattering" en el doblete del hierro a 6302. Un estudio teórico de observaciones espectropolarimétricas obtenidas con el reciente satélite Hinode, nos ha permitido descubrir que las conocidas líneas a 6301 A y 6302 A del Fe I presentan una importante señal de polarización por scattering cuando se observan en el limbo extremo. Esto abre una nueva posibilidad de diagnóstico, en un régimen de campos inaccesible hasta ahora con estas líneas espectrales. (R. Manso Sainz, en colaboración con B. Lites y R. Casini del NCAR).

El efecto Hanle en geometría de "forward scattering". La línea K del Ca II es una importantísima línea espectral cuya intensidad y polarización nos permite el diagnóstico de la cromosfera, un medio extremadamente tenue en el que se forman muy pocos rasgos espectrales observables con telescopios terrestres. En particular, nos interesamos por el diagnóstico e interpretación de observaciones en el centro del disco (forward

scattering). Esto tiene la ventaja de no necesitar incluir en los cálculos muchas de los complicados ingredientes físicos que entran en juego en la formación de esta línea. En particular, los efectos de redistribución parcial en frecuencia no son importantes mientras nos centremos en el estudio del centro de la línea (justo donde se produce el efecto Hanle). Así mismo, no necesitamos considerar fenómenos de coherencia entre los niveles superiores de las líneas H y K, que sin embargo dan lugar a un característico patrón de interferencia cuando se observa la polarización por scattering cerca del limbo solar. (R. Manso Sainz y J. Trujillo Bueno).

Desarrollo de nuevas técnicas de diagnóstico de plasmas magnetizados

Detección y análisis de espectros polarizados estelares. Se han diseñado técnicas estadísticas para extraer señales de polarización inducidas por el efecto Zeeman en observaciones de espectros estelares de estrellas de tipo solar. Las señales de polarización intrínsecas están por debajo del ruido, lo que hace necesario usar la información codificada en cientos o miles de líneas espectrales para poder detectar campos magnéticos. La técnica está basada en el análisis de componentes principales y generaliza todos los métodos desarrollados con anterioridad. Así como las técnicas anteriores dan como resultado una pseudolínea a partir de la combinación de todas las líneas del espectro, nuestra técnica permite quitar ruido en líneas individuales, permitiendo el análisis individual de cada una de ellas. Se ha incluido este método en un paquete de análisis gráfico que ponemos a disposición de la comunidad astrofísica (A. Asensio Ramos, en colaboración con M. J. Martínez González del IAC, T. A. Carroll y M. Kopf del Astrophysikalisches Inst. Potsdam y J. C. Ramírez Vélez y M. Semel del Obs. de Paris-Meudon).

Polarización por haces colimados de electrones y protones. Se han realizado mejoras en algunos de los cálculos teóricos realizados por J. Stepan durante su tesis, los cuales han permitido determinar la contribución de la polarización por impacto en la polarización lineal de la línea H- α . Para tal fin se ha tenido en cuenta la distribución de velocidades de las partículas materiales (obtenida gracias a la aplicación de un sofisticado código) y todos los procesos de bombeo óptico con transporte radiativo en modelos realistas del átomo de hidrógeno y de la atmósfera solar. Asimismo, se ha escrito el artículo correspondiente. (J. Stepan).

Diagnóstico de campos magnéticos en estructuras del plasma de la atmósfera solar. Se ha finalizado la tesis doctoral de L. Merenda, cuyo objetivo ha sido el aplicar a observaciones espectropolarimétricas

una técnica de diagnóstico de plasmas que permite inferir el vector campo magnético de los filamentos y protuberancias a partir de observaciones espectropolarimétricas de los efectos Hanle y Zeeman en las líneas del multiplete del helio neutro a 1083,0 nm.

Método para determinar la abundancia solar de Oxígeno. Conocer con precisión la abundancia de este elemento es fundamental porque es el más abundante, después del H y He primordiales, y por su elevada opacidad, lo que le confiere un papel muy importante en los cálculos de estructura y evolución estelar. Su determinación observacional es complicada por varios motivos y desde hace unos años ha surgido una polémica que en algunos artículos se califica como the solar Oxygen crisis. Se ha desarrollado un nuevo método basado en el análisis de observaciones espectro-polarimétricas que permite obtener con un alto grado de fiabilidad el cociente de abundancias entre O y Ni. Puesto que la abundancia de Ni sí se considera bien conocida, el método permite discriminar entre los valores altos tradicionalmente aceptados de la abundancia de O y los bajos propuestos más recientemente. (H. Socas-Navarro, en colaboración con R. Centeno del NCAR).

Transporte Radiativo

Polarización por "scattering" y el efecto Hanle en atmósferas estelares inhomogéneas. Uno de las principales incógnitas en el diagnóstico de campos magnéticos a través del efecto Hanle es el papel de la anisotropía horizontal del campo de radiación, ya que ésta compite con el campo magnético para modificar la «señal esperada» por puro scattering. Desarrollamos un formalismo para tratar eficientemente el papel de inhomogeneidades horizontales en el plasma de las atmósferas estelares así como las herramientas numéricas para resolver las ecuaciones correspondientes. (R. Manso Sainz y J. Trujillo Bueno).

Estudio de efectos de transporte radiativo de no equilibrio en experimentos de magnetoconvección y/o emergencia de flujo. En el marco del proyecto interno titulado Simulación numérica de procesos astrofísicos se están llevando a cabo experimentos de magnetoconvección pura, así como experimentos

de emergencia de flujo en gránulos y supergránulos (ver informe de dicho Proyecto) como colaboración de Fernando Moreno-Insertis, Damian Fabbian, Lena Khomenkho y Anders Lagerfjaerd, todos del IAC y Aake Nordlund y Abel Tortosa, colaboradores externos. Diferentes aspectos de dichos experimentos requieren el estudio de efectos NLTE genéricos una vez que los experimentos estén realizados, esto es, como análisis a posteriori. En el presente proyecto nos planteamos desarrollar a medio plazo una colaboración con vistas al estudio de varios de estos efectos.

Generación y transporte de radiación polarizada en líneas espectrales de la región de transición. Se ha iniciado una nueva investigación teórica sobre la polarización producida por bombeo óptico anisótropo en varias líneas espectrales, cuyo objetivo final es lograr métodos de diagnóstico del campo magnético en la región de transición entre la cromosfera y corona del Sol. (J. Stepan y J. Trujillo Bueno).

Otros estudios y trabajos

Definición de los objetivos científicos para el European Solar Telescope (EST). Este proyecto para desarrollar un gran telescopio solar de 4 m de apertura involucra un gran número de instituciones y grupos de investigación que abarcan una amplia representación de los países miembros de la UE. En esta primera fase uno de los objetivos más importantes es la redacción del Science Requirements Document, que concreta el tipo de ciencia que se pretende realizar con este instrumento. La primera versión oficial de este documento ha sido finalizada y presentada en el meeting End of Phase I que acaba de tener lugar en Madrid. Este trabajo ha sido desarrollado en colaboración con el EST Science Working Team. (H. Socas-Navarro).

SPINOR. Desarrollo de la "pipeline" de reducción y calibración de datos del instrumento SPINOR, así como para la calibración polarimétrica del telescopio que lo alberga (Dunn Solar Telescope, Sac Peak Obs., Nuevo México, EEUU). (H. Socas-Navarro, en colaboración con D. Elmore y D. Guillian, del National Solar Obs., EEUU).

INSTRUMENTACIÓN Y ESPACIO

INSTRUMENTACIÓN ÓPTICA

DESARROLLO DE SISTEMAS PARA ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL (313586)

J.J. Fuensalida.

B. García Lorenzo, A. Rodríguez Hernández, J.A. Castro Almazán, C.M. Barreto Cabrera, L.F. Rodríguez Ramos, A. Alonso Sánchez y F. Gracia Temich.

Colaboradores del IAC: C. Muñoz Tuñón, A.M. Varela Pérez y J.L. Rasilla Piñeiro.

J. Vernin (Lab. Univ. de Nice, Francia).

Introducción

A partir de los logros de proyectos anteriores (AYA2003-07728 y PB98-0408), el grupo pretende extraer la información relevante de la turbulencia y del sodio mesosférico para suministrarla en tiempo real a sistemas AO/MCAO. Específicamente, se aplicará al desarrollo de un instrumento prototipo compuesto por un sistema AO y un espectrógrafo de campo integral ecualizado (EIFS). Es decir, se intentará abordar un instrumento prototipo como plataforma de ensayo de futuros proyectos de mayor envergadura para ELT's, en donde la información de la estructura de la atmósfera sean datos de entrada en tiempo real. Para ello, ambas partes, AO y EIFS, deben diseñarse como un conjunto.

Los sistemas de Óptica Adaptativa (AO) justifican en gran medida los próximos proyectos de telescopios grandes y extremadamente grandes (ELT). Al incrementar el tamaño de los telescopios dos factores fundamentales para la observación son mejorados: uno es el incremento de la capacidad colectora (mejora la magnitud límite), el otro es el aumento de la resolución espacial, es decir la mayor capacidad para detectar detalles espaciales de las fuentes. Para alcanzar estas prestaciones, el sistema óptico global debe estar en lo posible libre de aberraciones, aun así, con técnicas habituales de observación, la información espacial de las medidas queda afectada y limitada por la turbulencia atmosférica. Salvo otras técnicas basadas en post-procesado, las técnicas que pretenden soslayar esta limitación en tiempo real, proporcionando un haz óptico corregido de fluctuaciones, se denominan de óptica adaptativa. La primera generación de

estos sistemas logran corregir, con suficiente calidad, un campo (ángulo isoplanático) muy pequeño. Como la capacidad resolutoria de los telescopios aumenta inversamente con el diámetro, los grandes y extremadamente grandes, además de una corrección suficientemente buena de las fluctuaciones por la turbulencia, requieren un área de calidad mayor que la proporcionada por los sistemas simples de óptica adaptativa. Esta mejora se puede lograr con la Óptica Adaptativa Multiconjugada (MCAO).

Estos sistemas se basan en la evidencia experimental de que la turbulencia vertical está estructurada en capas, muchas veces pocas y suficientemente estrechas. Se reproducen entonces ciertos planos conjugados correspondientes a alturas determinadas donde se detecta el frente de onda (hay varias estrategias de dónde y cómo se corrigen las fluctuaciones). Aunque para distribuciones de turbulencia determinadas, establecer algunos pocos planos fijos pudiera proporcionar un grado de corrección aceptable, en condiciones de compromiso, sin embargo la eficiencia óptima se logra cuando se cuenta con información de la intensidad y altura de las capas, lo que permite entonces gestionar la posición de los planos conjugados de observación o cambiar las prioridades en el telescopio.

Por otra parte, otros parámetros relacionados con la estructura vertical tienen una importancia relevante en las especificaciones y gestión operativa de los sistemas de MCAO, tales como el ángulo isoplanático, el perfil vertical promedio y el perfil vertical de vientos. El primero se obtiene a partir de los perfiles verticales de turbulencia y coteja la proporción de intensidad de turbulencia concentrada en las capas altas respecto a las bajas. Si el balance es a favor de las bajas, este parámetro aumenta, relajando entonces los requerimientos. Aunque es muy habitual su uso, no da idea detallada de la estructura de la turbulencia y hace muy difícil armonizar los estadísticos de esta variable con la estadística elaborada a través de los perfiles de turbulencia. También la componente horizontal de la velocidad del viento en cada capa de turbulencia es una información esencial para la operación óptima de los sistemas de MCAO. Los movimientos de las capas establecen los ritmos de lectura de los

sensores de frente de onda y, por ende, el ancho de banda del servo-control global del sistema. La técnica más habitual, en la actualidad, para obtener los perfiles verticales de C_n^2 , se denomina SCIDAR (SCIntillation Detection And Ranging) (Rocca, Roddier, y Vernin, 1974; Fuchs, Tallon, y Vernin, 1998), aunque utilizando globos sonda pueden lograrse perfiles con más resolución en altura, no facilita el seguimiento durante la noche, es una vía cara, y práctica para usarla puntualmente. La técnica SCIDAR se basa en la correlación del centelleo producido por las componentes de estrellas binarias separadas, que permite obtener, además del perfil de turbulencia, la velocidad horizontal de las capas.

Otro aspecto determinante, relacionado con los grandes telescopios, es la necesidad de disponer de estrellas de referencia por láser (LGS, Laser Guide Star) para incrementar la cobertura del cielo útil para los sistemas de Óptica Adaptativa. Los sistemas de LGS no permiten corregir los modos de tilt global de modo que deberían ser corregidos con estrellas naturales, a falta de otra alternativa, como podrían ser las LGS policromáticas o alguna otra estrategia (Ragazzoni, 1996; Esposito, Riccardi y Ragazzoni, 1998) cuya viabilidad ha de ser demostrada. Es decir, los errores de anisoplanatismo de tilt entre la dirección del objeto astronómico y la estrella natural de referencia pueden obligar a un aumento del ancho de banda del servo global. Si los cambios bruscos se ignoran, la eficacia de los sistemas de óptica adaptativa cae dramáticamente. Los sistemas de LGS nacen por la necesidad, para los sistemas de óptica adaptativa, de disponer de una fuente de referencia dentro del ángulo isoplanático del objeto astronómico de interés. Consisten en generar una fuente artificial en la atmósfera, lanzando un haz láser desde la superficie de la Tierra (Foy & Labeyrie, 1985). Pueden ser de Rayleigh, cuando se genera la "estrella" en cotas bajas, típicamente 5 km, y de sodio cuando se produce en la mesopausa, 90 km, aprovechando la abundancia de este elemento en esta capa de la atmósfera. La altura donde se producen es fundamental, especialmente para telescopios grandes, ya que, al crearse a una altura finita respecto a la distancia del objeto astronómico, se origina un error (denominado efecto cono o anisoplanatismo focal) que es la diferencia entre la propagación en forma de cono de la LGS y la forma cilíndrica del objeto. Se hace evidente, entonces, que este error será menor con alturas de LGS mayores, pero su efecto será más importante para telescopios de diámetro mayor (Tallon & Foy, 1990). Por otra parte, la capa de sodio en la mesopausa no es constante, mostrando variaciones de abundancia, altura y la existencia de capas esporádicas.

Al igual que en el caso de los sistemas MCAO, todos los proyectos de telescopios de clase 8 y 10 m actuales, y, por supuesto, los que se empiezan a tratar para la próxima generación, prevén la disponibilidad de sistemas LGS. Prueba de la trascendencia de estos temas es que la Unión Europea ha estado subvencionando varios proyectos TMR en los últimos años. A uno de ellos, Laser Guide Star for 8 m class telescopes, finalizado en el 2001, ha formado parte el equipo que presenta esta solicitud.

Actualmente, se dispone de una infraestructura, procedimientos y técnicas de medida capaces de caracterizar la capa de sodio en la mesopausa, es decir, abundancia, distribución y altura. Sin embargo, por no disponer del láser de bombeo idóneo, no se ha llegado a generar un haz de láser sintonizado en sodio con suficiente intensidad. En breve, tendremos un nuevo láser, proporcionado por la ESA, con el que, no sólo podremos continuar con las campañas de caracterización del sodio de la mesopausa, sino que estaremos en condiciones de generar una LGS detectable con un sensor de frente de onda. Esto será una fase importante ya que podremos acometer los objetivos de sensado de frente de onda con LGS en eje óptico y fuera de eje. Téngase en cuenta que las LGS's en el caso de ELT's serán detectadas con una elongación, problemas todavía sin resolver en el sensado de frente de onda.

Las tareas de sensado y corrección de frente de onda estarán englobadas en un sistema de AO que suministrará un haz corregido a un espectrógrafo de campo integral ecualizado (EIFS). Ambas partes serán diseñadas como un instrumento completo, si bien con las características de prototipo. Es decir, proponemos acometer un sistema que proporcione resultados astrofísicos pero que sirva de plataforma de ensayo para futuros instrumentos competitivos en grandes telescopios. El sistema de AO será adecuado en cada momento a las características detectadas de turbulencia y capa de sodio. El instrumento se usará en el telescopio TCS y en OGS, disponiendo de una matriz de elementos de 8x8. Parte del grupo, está probando el desarrollo de un sistema basado en el uso de FPGA's (Rodríguez-Ramos et al 2005). La implementación y versatilidad de estos dispositivos los hacen muy adecuada para sistemas de AO. Permiten una adaptación rápida y fácil del lazo de control del sistema de AO. Actualmente, se puede corregir el frente de onda antes de que el sensor complete la lectura de la imagen, proporcionando un ancho de banda del lazo de control mayor que 1 kHz, prestaciones no logradas, por el momento, por ningún sistema.

Hace algunos años, desarrollamos una nueva técnica de espectroscopía 2-D para objetos de gran

rango dinámico (Arribas, Mediavilla, Fuensalida 1998). La alternativa sería el uso de un coronógrafo en serie con un espectrógrafo de campo integral corriente. Aunque la aplicación, en su momento fue exitosa, su potencial mayor es el caso de estar limitado por difracción, es decir, combinado con un sistema AO. El campo que cubrirá el mazo de fibras no será mayor que 2 seg. de arco y con un rango espectral 0.7 – 1 micras.

Algunos resultados relevantes

Además del refrendo, proporcionado por las medidas en Paranal (Chile), a las contribuciones desarrolladas por este equipo dentro de los objetivos de la técnica g-SCIDAR, enumeramos a continuación las actividades más relevantes relacionadas con EDiFiSE:

Unidad de Alto Orden (Espejo deformable)

- Revisión de diseño y seguimiento fabricación espejo deformable 97 actuadores CILAS.
- Contratación adquisición cámara ANDOR.
- Contratación de un espejo deformable alternativo a la empresa ALPAO, de 97 actuadores tipo "voice coil" y su electrónica.

Unidad de bajo Orden (tip-tilt)

- Adquisición de una plataforma tip-tilt con su electrónica y una cámara Pulnix.
- Contratación del diseño y fabricación de una montura para la plataforma tip-tilt.

IFU

- Adquisición: Fibras, atenuadores y Microlentes para fabricación haz de fibras.
- Caracterización en laboratorio de los atenuadores y microlentes.
- Adquisición de un haz de fibras, con atenuación variable en las 7 fibras centrales, para pruebas en INTEGRAL.
- Agosto 08: Observaciones en INTEGRAL utilizando el haz de fibras con atenuadores variables.

Espectrógrafo

- Contratación de la adquisición de una cámara CCD con un detector 4Kx4K e2V 231-84 con Spectral Instrument.
- Contratación del diseño, fabricación y suministro del espectrógrafo con el Centro de Investigación en Óptica (CIO).

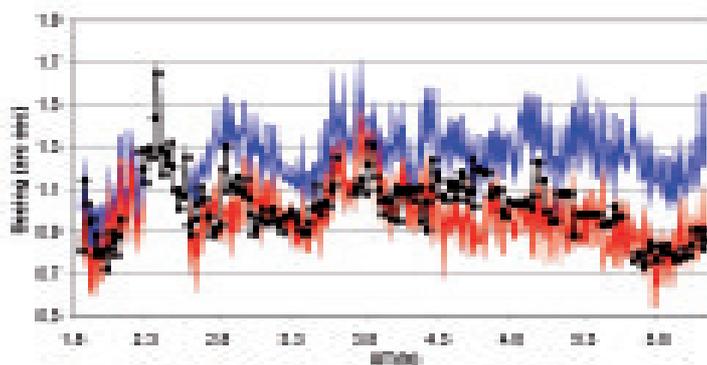
Diseño de preópticas

Evolución del Proyecto

A partir de las medidas con la nueva versión de cute-SCIDAR en Paranal (Chile), se ha podido refrendar el buen funcionamiento del método de descontaminación del seeing de cúpula en los datos de g-SCIDAR. De esta forma, obtenemos perfiles verticales de turbulencia exentos de los nocivos efectos de la turbulencia generada en el espejo y en la cúpula del telescopio (Fuensalida, García-Lorenzo & Hoegemann, 2008). Está basado en la capacidad de la Transformada de Fourier para extraer las características de paridad de funciones, en este caso aplicada a la función de correlación cruzada entre las sucesivas imágenes de centelleo obtenidas con cute-SCIDAR. La alta velocidad de procesamiento de este método es idónea para la implementación en tiempo real como se ha demostrado en la aplicación al cute-SCIDAR/Paranal.

En la Figura se aprecia la consistencia de los resultados (línea roja) comparados con las medidas de un DIMM (línea negra punteada) de ESO instalado permanentemente en la plataforma de Paranal. La línea azul corresponde a las medidas de seeing obtenidas con cute-SCIDAR/Paranal sin aplicar nuestro método de corrección del seeing de cúpula. La medidas g-SCIDAR están obtenidas con uno de los Telescopios Auxiliares (AT) del VLT que dista de la posición del DIMM 200 m aproximadamente.

Además, se han continuado las campañas sistemáticas de medidas de perfiles de turbulencia tanto en el Observatorio del Roque de los Muchachos como en el Observatorio del Teide. Se ha mantenido la frecuencia de una semana cada mes en el ORM coincidiendo con luna nueva. En el caso del OT ha sido de 4 noches cada mes.



Comparación entre los datos de cute-SCIDAR con (color azul) y sin (color rojo) la contribución del seeing de cúpula y los datos de seeing obtenidos con el DIMM (color negro) de ESO instalado permanentemente en Paranal en una de las noches del periodo de commissioning del instrumento cute-SCIDAR en Observatorio de Paranal. Los huecos son causados por el cambio de estrella durante la noche 13/14 Nov 2007.

En cuanto a EDiFiSE, durante este año se han cerrado las especificaciones y la adquisición de varios elementos y pruebas de otros. Se han realizado simulaciones numéricas de la respuesta del sistema para determinar el contraste en magnitudes capaz de ser detectados en diferentes escenarios de objetos. Por otra parte, pudimos hacer las primeras observaciones (tiempo CAT) de un mazo de fibras con atenuadores "sintonizables" en el telescopio WHT usando como soporte INTEGRAL.

Se ha iniciado el desarrollo del plan de AIV para su primera fase de pruebas en el IAC y observaciones en OGS. Y se han diseñado las pre-ópticas que se utilizarán en la configuración para OGS, actualmente se encuentran en fase de revisión para su posterior fabricación.

El diseño y fabricación del espejo deformable de 97 actuadores contratado a CILAS, y su electrónica de control, también se ha desarrollado durante este año, llevando a cabo la revisión y seguimiento por personal del Proyecto. La aceptación en el IAC está prevista para mayo de 2009. Como espejo deformable alternativo, se ha adquirido uno de la empresa ALPAO, de 97 actuadores tipo "voice coil" y su electrónica. El uso de un espejo de este tipo nos permitirá lograr un elevado "stroke" (recorrido) suficiente para compensar las desviaciones del frente de onda en un elevado porcentaje de niveles de turbulencia, en combinación con una dimensión relativamente pequeña (1,5 mm de espacio interactuadores), que permitirá diseñar una óptica reimaginadora mucho más simple que en el caso de espejos piezoeléctricos. Además, se ha logrado cerrar el bucle de control del sistema de óptica adaptativa con FPGAs usando correlaciones y se ha optimizado el sistema disminuyendo el ruido.

Se han adquirido las fibras, atenuadores y microlentes necesarias para la fabricación, durante 2009, de la unidad de campo integral de EDiFiSE en el Laboratorio de fibras del Área de Instrumentación. Los atenuadores que utilizamos en las fibras centrales de los haces de fibras, tanto para observaciones de prueba en INTEGRAL, como para el haz definitivo de EDiFiSE serán elementos importantes en EDiFiSE, por lo que se ha realizado la caracterización de los mismos durante 2008. La fabricación de los elementos que se ubicaran en los extremos del haz de EDiFiSE (rendija y conector) es compleja debido a las dimensiones de las fibras (100 micras diámetro exterior con corazón de 50 micras) y el número de taladros que deberá contener la pseudo-rendija, 331.

Respecto al espectrógrafo, se ha contratado a Spectral Instrument, una cámara CCD con un detector 4K x 4K e2V 231-84. La entrega se realizará

en mayo del 2009. El diseño y fabricación del espectrógrafo se ha adjudicado, mediante negociado, al Centro de Investigación en Óptica (CIO), debido a la escasez de recursos humanos para llevarlo a cabo internamente en el IAC.

ESPECTRÓGRAFO DE ALTA RESOLUCIÓN IACUB (310291)

**R. García López.
R. Rebolo.**

Colaborador del IAC: J.L. Rasilla Piñeiro.

Introducción

El espectrógrafo de alta resolución IACUB opera como instrumento de uso común en el telescopio NOT durante tiempo CAT. Es fruto de una colaboración entre el IAC y la Queen's University of Belfast, y opera bajo responsabilidad del IAC desde 1991. Este espectrógrafo ha sido diseñado para trabajar en el rango de longitudes de onda desde 3.100 a 11.000 Å, con una resolución espectral que varía entre $R=13.000$ y 50.000 dependiendo de la rendija utilizada. Durante estos años se ha procedido a realizar diversas mejoras en el mismo, así como a dotarlo de los soportes técnicos y de operación necesarios para convertirlo en un instrumento competitivo en el ORM.

Existe información detallada del espectrógrafo en la siguiente dirección Web: <http://www.iac.es/cat/iacub/iacub.html>

OSIRIS: OPTICAL SYSTEM FOR IMAGING LOW RESOLUTION INTEGRATED SPECTROSCOPY (411700)

**J. Cepa.
V.G. Escalera, M. Aguiar, R. Barreto, S. Becerril,
H. Castañeda, P. Fernández, A.B. Frago, F. Gago, E. Hernández, E. Joven, J.C. López, R. López, H. Moreno, L. Peraza, J. Peñate, A. Pérez de Taoro, J.L. Rasilla, P. Saavedra y T. Vaz. Gabinete de Delineación Técnica, Taller de Electrónica, Taller de Mecánica y Administración de Servicios Generales.**

Introducción

OSIRIS es el instrumento de rango visible de Día Uno para el Telescopio de 10,4 m, Gran Telescopio CANARIAS (GTC), en el ORM en la Isla de La Palma.

Se diseñó para funcionar en múltiples modos de observación, de los cuales podemos destacar: el modo imagen, modos espectroscópicos en baja e intermedia resolución y multiobjeto, así como modos rápidos de fotometría y espectroscopía. Su característica sin duda más destacable es el uso de filtros "sintonizables" o etalones, un tipo de filtros interferenciales que permiten seleccionar la longitud de onda modificando la anchura de la cavidad interferencial. OSIRIS es uno de los primeros instrumentos con esta capacidad instalado en un telescopio de clase 8 -10 m.

Con objeto de cumplir los diversos programas científicos planteados, OSIRIS adquiere imágenes en cualquier longitud de onda entre 365 y 1000 nm dentro de un campo de 8.5'x 8.5'. Con sus prestaciones tendrá una potente capacidad para estudiar en detalle las zonas de formación estelar desde galaxias cercanas hasta las más lejanas observables. Los campos de investigación serán tan variados como para englobar la formación estelar en galaxias cercanas, activas, distantes y cuásares. Añadiendo a esto los modos rápidos y la espectroscopía en diferentes resoluciones.

Después de varios años de diseño, fabricación y pruebas, OSIRIS ha sido instalado en el telescopio GTC durante la primera semana de diciembre de 2008, realizándose las primeras pruebas conjuntas con el telescopio durante el resto del mes.

Algunos resultados relevantes

Enero:

Diseño del útil para el bloqueo del Colimador durante el transporte.

Entrega de las máscaras tipo multi-slit (5 marcos y 20 láminas).

Instalación del sistema para presurizar el instrumento con aire seco.

Febrero: Contratación para la fabricación de tres máscaras para usos específicos: Frame transfer, Charge shuffling y Fast Photometry.

Marzo:

Contrato para la fabricación de un criostato con un ciclo de llenado de duración mayor de 24 h.

Montaje del Simulador del Telescopio sobre el Simulador del Rotador de la Sala AIV del IAC. Verificación del mismo.

Recepción de bolsas estancas para el transporte de OSIRIS al ORM.

Finalizada una versión software de adquisición de datos con la funcionalidad necesaria.

Abril: Avances importantes en el control de mecanismos desde el entorno de control del telescopio GTC.

Mayo:

Diseño de un útil para el montaje/desmontaje de la ventana del instrumento.

Instalación de un sistema de seguridad de desconexión de mecanismos potencialmente peligrosos.

Junio: Primera versión de la capa software denominada Sequencer, que permite controlar el instrumento de una forma secuencial y por tanto permitiendo programar una observación, pruebas complejas de fiabilidad, etc.

Julio: Pruebas ópticas del sistema desde el software de control del instrumento.

Septiembre: Pruebas de fiabilidad del sistema que incluyen secuencias intensivas de control de todos los mecanismos, adquisición, monitorización y presentación de datos.

Octubre: Se realizaron las pruebas de aceptación del instrumento, considerándose aceptado por GRANTECAN S.A.

Noviembre:

Preparación para el envío del instrumento al ORM. Recepción de máscaras long-slit.

Diciembre: Instalación del instrumento sobre el rotador del telescopio GTC y primeras pruebas del sistema conjunto.

Evolución del Proyecto

Últimas adquisiciones, diseños y fabricaciones

Desde el punto de diseño mecánico se acabaron principalmente aquellos elementos necesarios para pruebas y para el transporte del instrumento al ORM. Por ejemplo, útiles para el bloqueo de algunos elementos, como por ejemplo el colimador y ruedas de filtro, de modo que limitasen su movimiento debido a las vibraciones del camión y así evitar daños permanentes en los mismos.

También fue necesario diseñar y fabricar algunos elementos que facilitasen el mantenimiento del instrumento, como por ejemplo el útil para el montaje y desmontaje de la ventana del instrumento, seta de seguridad para proteger a las personas ante movimientos de mecanismos comandados remotamente, etc.

Algunos diseños subcontratados el año 2007 se fueron acabando durante este año. Las máscaras multi-slit fueron entregadas a primeros de año, la mayor parte de las máscaras long-slit se recibieron en noviembre, etc.

Se contrato la fabricación de un criostato que mejorase el tiempo entre rellenos de LN2 a un valor mayor de 24 h. Las primeras pruebas del mismo se han llevado a cabo en diciembre.



Criostato II. "Hold time" ampliado a más de 24 h.

Ensamble, integración y pruebas en el IAC

Durante la segunda mitad del 2008 se realizaron pruebas intensas, tanto desde el punto de vista de control de funcionamiento de los sistemas de refrigeración y presurización, como ópticas del instrumento completo en su configuración final. También se llevaron a cabo pruebas de los filtros sintonizables, con el objetivo de caracterizar su comportamiento en el instrumento.

Con el objeto de probar el instrumento en las condiciones más parecidas a las que tendría en el telescopio, el Simulador del telescopio se montó sobre el simulador del rotador. Este se utilizó posteriormente como fuente de luz del instrumento.



Simulador del telescopio montado sobre el simulador del rotador.



Transporte, integración y pruebas en el telescopio GTC

El lunes 1 de diciembre se transportó el instrumento desde la sede central, en La Laguna, al Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma. El traslado se realizó mediante dos camiones hasta Los Cristianos (Arona), donde embarcamos hacia Santa Cruz de La Palma. El instrumento "durmió" en el muelle, subiendo al ORM por la mañana temprano.



Llegada del instrumento al aparcamiento del telescopio GTC.

El mismo martes se descargó el instrumento, útiles y herramientas, y se procedió a desembalar y realizar las primeras pruebas para comprobar que el instrumento no había sufrido ningún daño durante el viaje.

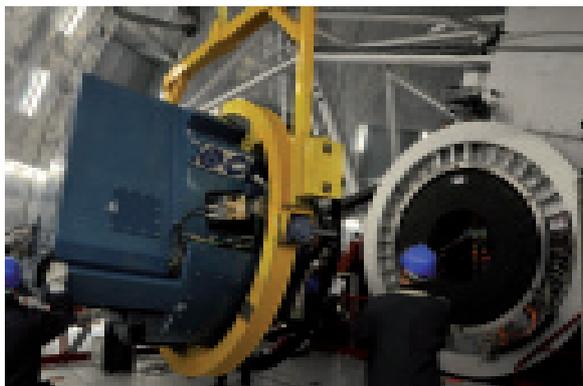


Primeros pasos al desembalar el instrumento.



Desmontando la funda estanca utilizada en el transporte.

El miércoles y jueves se acabó con las pruebas y se trasladó el instrumento a la plataforma Nasmyth, procediendo al montaje sobre el rotador.



Arriba: Montaje de OSIRIS sobre el rotador Nasmyth.
Abajo: OSIRIS ya instalado con el equipo que participó directamente en la integración.



LGS (LASER GUIDE STAR) CON OGS (OPTICAL GROUND STATION)

J.J. Fuensalida.
A. Alonso.

Introducción

La turbulencia asociada a los gradientes locales térmicos y de presión en la atmósfera constituye una de las limitaciones básicas en el rendimiento de los (grandes) telescopios empleados para la investigación astronómica desde la superficie terrestre. La falta de homogeneidad del índice de refracción de la atmósfera provocada por la turbulencia causa distorsiones en los haces de rayos luminosos que se propagan en su interior, resultando en un ensanchamiento por encima del límite de difracción del telescopio, un baile aleatorio de la posición centroide de intensidad, y fluctuaciones de la irradiancia.

Con objeto de obtener de los (grandes) telescopios su resolución teórica, es necesario utilizar técnicas que permitan compensar el efecto de la turbulencia atmosférica. Estas técnicas, denominadas de Óptica

Adaptativa (OA), consisten en medir el efecto de la turbulencia sobre el campo de observación, y corregirlo en tiempo real mediante dispositivos óptico-mecánicos. La medida de la turbulencia exige la presencia de una estrella brillante cercana o en el propio campo (estrella guía) que permita medir la turbulencia.

El número de estrellas naturales aptas para su empleo como estrellas guía es muy limitado, por lo tanto el empleo de sistemas de OA requiere la generación de lo que se conoce como Estrellas de Guía Láser. Los recientes desarrollos tecnológicos en láseres de alta potencia permiten generar estrellas artificiales enfocando un haz láser en la mesosfera terrestre (80-110 km) que provoca la retro-dispersión resonante por átomos de sodio o de potasio. Las estrellas así generadas se pueden emplear para corregir la turbulencia atmosférica en cualquier campo de observación.

El telescopio OGS en la configuración Coudé cuenta con un sistema compuesto por un láser de Nd:Yag a 532 nm (18 W) para el bombeo, un láser de titanio-zafiro sintonizable en 769.9 nm (potasio) y un láser de colorante sintonizable en 589.2 nm (sodio). Esto hace que dicho sistema sea adecuado para generar estrellas guía que permitirán caracterizar las necesidades técnicas de los sistemas de OA en los observatorios astronómicos del IAC.

Algunos resultados relevantes

Enero-diciembre: El Proyecto está paralizado por falta de personal.

Marzo-abril: Se lanza con éxito fuera de eje con una lente plano-convexa como sistema expansor.

Evolución del Proyecto

Las actividades del Proyecto siguen ralentizadas por falta de recursos humanos.

Detalle de las pruebas con lente plano-convexa para el sistema de expansor fuera de eje.



JRA2 (JOINT RESEARCH AGREEMENT) - OPTICON

J.J. Díaz García.

Introducción

El IAC está involucrado en tareas de OPTICON del JRA2 (Joint Research Action 2, Fast Optical Detectors) pertenecientes al programa marco FP6 de la Unión Europea. El objetivo de este JRA es la producción de detectores de alta velocidad y bajo ruido de lectura para su aplicación en Óptica Adaptativa. Como producto final se generará un nuevo detector, el CCD220, que será caracterizado en el IAC como respuesta a su compromiso dentro del grupo. Ya se han producido algunos detectores en versiones de ingeniería y la entrega de los detectores de grado científico es inminente. Por otro lado está a punto de concluirse la fabricación de la cámara de pruebas de dichos detectores de la cual se entregará una réplica al IAC para llevar a cabo la caracterización de éstos. En el IAC se ha montado un laboratorio de caracterización y se han automatizado el control de algunos elementos. Este trabajo prosigue en la actualidad.

Algunos resultados relevantes

Realización de los informes anuales de progreso requeridos por OPTICON.

Revisión del plan de pruebas en el IAC.

Identificación de nuevos componentes requeridos para las pruebas.

Mantenimiento a punto de las infraestructuras requeridas para llevar a cabo la caracterización del detector.

Seguimiento de las tareas de desarrollo de la Cámara y electrónica.

MEMORIA
2008 IAC

118

SIDE: SUPER IFU DEPLOYABLE EXPERIMENT

**J. Betancort, F. Gracia, E. Joven, C. Martín y
J.L. Rasilla.**

Introducción

El objetivo del Proyecto SIDE es el desarrollo de un instrumento para el telescopio GTC dedicado a la espectroscopía de resolución baja-intermedia en el rango óptico e infrarrojo alimentado por fibras ópticas

por un robot posicionador (modo multiobjeto) y por una unidad de campo integral (modo 3D).

El Proyecto está liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IP: P. Prada) y en él participan las siguientes instituciones: el IAC (Co-I: J. Betancort), Universidad de Barcelona (Co-I: J. Torra), Lawrence Berkeley National Laboratory, EEUU (Co-I: D. Schlegel), Instituto Politécnico Nacional, México, (TBC) y la Universidad de Durham, Reino Unido.

A lo largo de 2008 el Proyecto ha evolucionado mucho como consecuencia del resultado negativo de la revisión del estudio de viabilidad del instrumento, que fue entregado a GRANTECANS.A. en diciembre de 2007 y fue revisado oficialmente el 17 y 18 de abril de 2008. SIDE no fue aceptado como instrumento de uso común para el telescopio GTC, debido a su gran complejidad, su enorme coste y su falta de sintonía con las necesidades específicas de la comunidad científica de GTC. No obstante, se recomendó la alternativa de presentar una versión menos compleja del instrumento como instrumento visitante del telescopio, centrando el desarrollo técnico en un programa científico más focalizado y menos amplio.

El resultado de la revisión y el esfuerzo consiguiente en simplificar el instrumento y focalizar los requerimientos científicos ha tenido un impacto en la composición del nuevo consorcio donde han salido y entrado nuevas instituciones. Igualmente ha pasado con los intereses científicos de las personas y, en el IAC, se ha producido el cambio de Investigador Principal (de J. Casares a J. Betancort) porque hay un mejor acuerdo entre los objetivos científicos actuales del Proyecto y su línea de investigación.

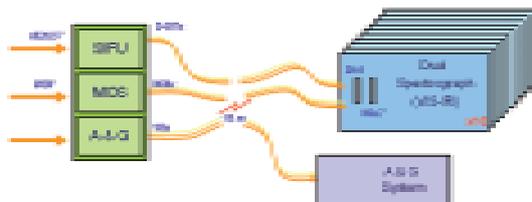
Técnicamente, la simplificación del instrumento ha consistido en abandonar el concepto de un segundo robot posicionador de fibras y pasar a proponer la utilización de una sola estación focal tanto para las unidades multiobjeto como para la unidad de campo integral. A su vez, el rango espectral infrarrojo de los espectrógrafos duales (VIS-IR) se ha recortado desde las 1,7 micras iniciales hasta las 1,4 actuales, eliminando la necesidad de utilizar espectrógrafos criogénicos, lo cual supone un gran ahorro económico y menor complejidad. El espectrógrafo visible de resolución alta también se ha abandonado.

De esta manera las características del concepto actual del instrumento SIDE son las siguientes:

- Robot posicionador de fibras MOS: ~1.000 unidades de 1,5" (7 fibras de 0,5"). Campo de patrulla de 20' de diámetro

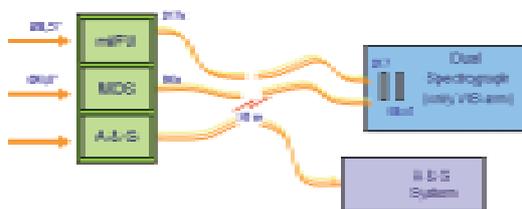
- Unidad de campo integral: ~2.500 fibras ópticas de 0,5" Campo de visión de 30"x30"
- 10 Espectrógrafos duales (Vis-IR) de baja resolución: Resolución espectral 1.500 - 5.000 Rango espectral: 0,4 – 1,4 micras
- Modos de observación: MOS; Campo integral; Nod & read

En la gráfica siguiente puede verse un esquema del instrumento SIDE en su propuesta actual.



En los aspectos de gestión también se han producido cambios. Vistas las dificultades técnicas y económicas de abordar directamente el desarrollo del instrumento final, se han focalizado los esfuerzos, en una primera etapa, en el desarrollo de un prototipo demostrador y de un instrumento simplificado, llamado MiniSIDE. Sus características y esquema son las siguientes:

- Robot posicionador fibras MOS: 18 (prototipo) y 86 (MiniSIDE) unidades de 1,5" (7 fibras de 0,5")
- Campo de patrulla de 3' (prototipo) y 6,6' (MiniSIDE)
- Unidad de campo integral: 217 fibras ópticas de 0,5" Campo de visión hexagonal de 8,5"
- Espectrógrafo: Brazo visible del espectrógrafo dual de SIDE
- Resolución espectral 1.500 - 5.000
- Rango espectral: 0,4 – 0,9 micras
- Modos de observación: MOS; Campo integral; Nod & read



MiniSIDE permitirá demostrar la funcionalidad del robot posicionador de fibras, el concepto del espectrógrafo y la viabilidad de la fabricación de los haces de fibras ópticas y microlentes. Su uso temprano en el telescopio GTC como instrumento visitante, además de utilidad científica, técnicamente también servirá para probar los conceptos y soluciones del rotador de fibras y de los sistemas de montaje y desmontaje del instrumento en su estación focal, junto con otros aspectos logísticos.

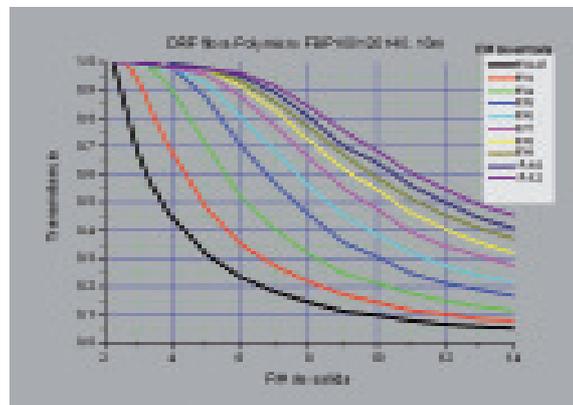
El consorcio del nuevo SIDE se está terminando de establecer y se han propuesto cambios en la organización interna de forma que haya distintos comités y responsabilidades más acordes con los nuevos objetivos científicos, concretamente la realización de surveys espectroscópicos en aspectos científicos claves. Al mismo tiempo, se están reasignando los paquetes de trabajo necesarios para la construcción de MiniSIDE y posteriormente de SIDE.

La participación técnica del IAC se centra en fabricación de los haces de fibras ópticas, incluyendo las microlentes y los conectores, y en sistema de control.

En la elaboración de los casos y requerimientos científicos también participan por parte del IAC, R. Barrena, J. Cenarro, A. Manchado, D. Martínez, I. Pérez, J.A. Rubiño e I. Trujillo.

Evolución del Proyecto

En marzo tuvo lugar en Madrid la reunión de arranque de MiniSIDE y se estableció la participación del IAC dentro de este Proyecto precursor y demostrador de SIDE. Posteriormente, en abril, se realizó la revisión del estudio de viabilidad ante un grupo de revisores externos y personal técnico y del Comité Científico Asesor de GRANTECAN S.A. El resultado de la revisión tuvo los efectos comentados anteriormente pero en el IAC las actividades relacionadas con los haces de fibras ópticas siguieron su curso. Así, por ejemplo, se hicieron numerosas pruebas de laboratorio con diferentes juegos de microlentes y fibras ópticas. Y se pudo establecer la buena calidad de las microlentes adquiridas y se midió la degradación de la relación focal de las fibras ópticas candidatas para el Proyecto.



Degradación focal de las fibras ópticas para diferentes relaciones focales de entrada.

En el Taller de Mecánica se hicieron pruebas de fabricación de los botones de entrada de las unidades multiobjeto.

Actualmente se están haciendo pruebas de pulido sobre botones fabricados por la empresa AVS después de montar y pegar 7 fibras ópticas.

En octubre tuvo lugar, en Granada, una reunión específica sobre la fabricación del robot posicionador de fibras que está realizando AVS y allí llevamos unos haces fabricados en el IAC para la realización de pruebas de par de torsión, con el objetivo de validar los motores preseleccionados y el concepto mecánico de los posicionadores de fibras.

Finalmente en noviembre, en Madrid, tuvo lugar una reunión técnica de progreso de MiniSIDE seguida de la constitución del nuevo consorcio de SIDE.

Durante 2009 y mientras el nuevo consorcio se va consolidando, en el IAC se espera fabricar los primeros haces de fibras ópticas para el prototipo y poder tener listo el instrumento MiniSIDE en dos o tres años.

EDiFiSE - ESPECTRÓGRAFO DE CAMPO INTEGRAL ECUALIZADO LIMITADO POR DIFRACCIÓN (3I1202)

J. J. Fuensalida.

M. Barreto, B. García-Lorenzo, J.F. M. Escobar, A. Fernández, F. Gracia, Y. Martín, M.A.C. Rodríguez Hernández, J. L. Rasilla, L.F. Rodríguez y T. Viera.

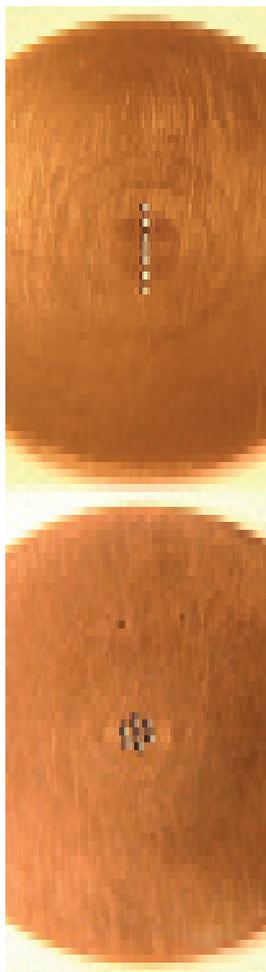
Introducción

EDiFiSE (Equalized and Diffraction-limited field spectrograph experiment) es un instrumento prototipo compuesto por un sistema de Óptica Adaptativa (*Unidades de alto y bajo orden*) y un espectrógrafo de campo integral ecualizado (*IFU y Espectrógrafo*) (Ver Figura 1). EDiFiSE pretende ser una plataforma de ensayo para futuros proyectos de mayor envergadura para telescopios de gran diámetro (telescopios GTC o EELT), en donde la información de la estructura de la atmósfera sean datos de entrada en tiempo real. Para ello, ambas partes, AO y EIFS, deben diseñarse como un conjunto. El caso científico principal está centrado en objetos compactos con alto contraste en intensidad. La detección resuelta de los componentes espaciales del objeto se aprovechará tanto de la mejora de la resolución espacial como de la resolución espectral.

EDiFiSE nace a partir de los logros del Proyecto AYA2003-07728 y en el marco del Proyecto AYA 2006-13682: "Sensado y corrección de la turbulencia atmosférica: aplicación astronómica" en el que se pretenden, por una parte, extraer y analizar, en tiempo real, la información relevante de la turbulencia y del sodio mesosférico para suministrarla a sistemas AO/MCAO; y por otra, la aplicación de técnicas para atenuar los efectos de saturación producidos por el objeto más brillante que impiden la detección de los más débiles cercanos.

Los requerimientos principales de EDIFISE son:

Un **sistema de Óptica Adaptativa** (unidades de alto y bajo orden) que suministre un haz óptico a un Espectrógrafo de campo ecualizado (IFU y Espectrógrafo), capaz de adecuarse a las condiciones de turbulencia atmosférica. A partir de la información adecuada de t_0 (tiempo característico de turbulencia) y r_0 (parámetro de Fried), el sistema debería modificar los parámetros de control y sensado del frente de onda para optimizar la corrección y mejorar la magnitud límite del sensado.



Nueva pulidora adquirida por el IAC.



Prueba de fabricación de agujeros de 110 micras de diámetro para alojar fibras ópticas. Izquierda: Distribución hexagonal con un espaciado de 200 micras. Derecha: Distribución lineal con un espaciado de 150 micras.

En agosto, concedieron tiempo para observaciones con INTEGRAL utilizando un haz de fibras de prueba con atenuadores "sintonizables".

Interfases ópticas

Se han diseñado las pre-ópticas que se utilizarán en la configuración para OGS y se encuentran en fase de revisión para su posterior fabricación.

Sistema Óptica Adaptativa

El diseño y fabricación del espejo deformable de 97 actuadores contratado a CILAS, y su electrónica de control, se ha desarrollado durante 2008, realizándose su revisión y seguimiento por personal del Proyecto. (Ver Figura 2). La aceptación en el IAC está prevista para mayo de 2009.



Revisión diseño espejo CILAS, 22 mayo de 2008.

El espejo de CILAS es el que se utilizará en EDiFiSE, pero se ha contratado en 2008 la adquisición de un espejo deformable alternativo a la empresa ALPAO, de 97 actuadores tipo «voice coil» y su electrónica. El uso de un espejo de tipo «voice coil» nos permitirá lograr un elevado «stroke» (recorrido) suficiente para compensar las desviaciones del frente de onda en un elevado porcentaje de niveles de turbulencia, en combinación con una dimensión relativamente pequeña (1,5 mm de espacio interactuadores), que permitirá diseñar una óptica reimaginadora mucho más simple que en el caso de espejos piezoeléctricos.

En 2008 se ha realizado el cierre del bucle control del sistema de óptica adaptativa con OA FPA usando correlaciones y se ha optimizado el sistema disminuyendo el ruido con su montaje en la mesa óptica recientemente instalada en la sala apantallada del Departamento de Electrónica.

Durante 2009 el IAC recibirá un simulador de turbulencia, denominado IACAT que se ha venido desarrollando mediante contratos con empresas externas desde 2006. Utilizaremos dicho simulador

en laboratorio, para probar los desarrollos previamente a instalarlos en OGS y en el telescopio WHT.

Sistema IFU

Se han adquirido las fibras, atenuadores y microlentes necesarias para la fabricación, durante 2009, de la unidad de campo integral de EDiFiSE en el Laboratorio de Fibras del Área de Instrumentación.

Los atenuadores que utilizamos en las fibras centrales de los haces de fibras, tanto para observaciones de prueba en INTEGRAL, como para el haz definitivo de EDiFiSE serán elementos importantes en EDiFiSE, por lo que se ha realizado la caracterización de los mismos durante 2008.

La fabricación de los elementos que se ubicaran en los extremos del haz de EDiFiSE (rendija y conector) es compleja debido a las dimensiones de las fibras (100 micras diámetro exterior con corazón de 50 micras) y el número de taladros que deberá contener la pseudo-rendija, 331. La realización de tantos taladros evitando que no queden cónicos y que su profundidad permita la fijación de la fibra minimizando su fragilidad, no es tarea fácil. Durante 2008 se ha realizado la búsqueda de posibles fabricantes y en 2009 se realizará la contratación externa dada la imposibilidad de su fabricación en las instalaciones del IAC.

En agosto se realizaron observaciones en el telescopio WHT utilizando INTEGRAL y un haz de fibras prototipo que se fabricó para probar la utilización de atenuadores variables en observaciones astronómicas reales, estudiando sus limitaciones.



F. García integrando el haz de pruebas en INTEGRAL.

Dicho haz tiene las 331 fibras en la disposición que tendrán en el haz de EDiFiSE y con atenuadores variables en las 7 fibras centrales. Los resultados no fueron como esperamos debido a problemas en la fabricación de la rendija que no permitía una atenuación lineal de la intensidad del objeto centrado

en el haz. Dicho haz fue fabricado por FiberTech en Canadá. Se mejorará dicho haz para las próximas observaciones concedidas para mayo de 2009 rehaciendo la parte de la rendija.

Se ha llevado a cabo también simulaciones numéricas de los observables resultantes de atenuaciones parciales de fibras para distintos tipos de objetos.

Espectrógrafo

En abril se confirmó a Spectral Instrument la contratación para la adquisición de una cámara CCD con un detector 4K x 4K e2V 231-84. En Diciembre de 2008 Spectral Instrument recibió el detector, que a la vista del informe de pruebas, presenta unas características mejores que las especificadas. Se espera la entrega de la cámara para mayo de 2009.

La contratación externa del diseño y fabricación del espectrógrafo se vio como buena solución al no poder hacerse en el IAC, dada la falta de recursos. En diciembre se adjudicó mediante negociado al Centro de Investigación en Óptica (CIO).

Dos comunicaciones, en forma de póster, sobre EDiFiSE fueron presentadas en el congreso SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation 2008.

MONITOR DE SEEING AUTOMÁTICO "DIMMA"

C. Muñoz-Tuñón.

A.M. Varela y L.F. Rodríguez Ramos.

M. Sosa Quintanay J.R. García Hernández (INERZA S.A.).

Introducción

Con el objetivo general de lograr una evaluación permanente de las condiciones astro-meteorológicas de los Observatorios de Canarias (ORM y OT), y basándose en el monitor de seeing desarrollado en el IAC que funciona regularmente desde 1995, se han instalado sendos sistemas DIMMA (Monitor de seeing automático) en dichos Observatorios, incorporando una serie de prestaciones que suponen un salto cualitativo importante en su utilidad científica.

Se trata de instrumentos completamente automáticos o robótico como a veces se le denomina, es decir, que sea capaz de desarrollar regularmente sus funciones sin la necesidad de que un operador esté presente. En el caso del ORM, se alimenta con

fuentes de energías renovables y ofrece la supervisión y la obtención de datos desde lugares remotos.

Evolución del Proyecto

Los primeros periodos de utilización regular del DIMMA permitieron concluir la conveniencia de aumentar la captación de energía solar, al objeto de que el sistema pudiera funcionar sin problemas durante el invierno. Por tal motivo, se instaló en 2007 un segundo conjunto de paneles solares, así como los equipos de regulación correspondientes, encaminados a duplicar la energía solar captada.

La calibración del sistema por comparación con un DIMM anterior ha sido uno de los objetivos más significativos de este año 2008. Con tal objeto se había trasladado e instalado a nivel de terreno el sistema DIMM procedente la torreta existente en Degollada Hoyo Verde, de forma que se pudieran hacer medidas simultáneas en el mismo lugar, aunque con una inevitable diferencia de altura sobre el terreno. A partir del mes de febrero se llevaron a cabo campañas de calibración las cuales han arrojado resultados satisfactorios que están actualmente en fase de evaluación.

En noviembre de 2008 se realizó una sesión de formación impartida por el personal de la empresa desarrolladora INERZA, S.A., al objeto de que los diversos departamentos del IAC pudieran asumir el mantenimiento del sistema. Asistieron tanto personas del Servicio de Mantenimiento instrumental como de los Servicios Informáticos Comunes, así como los responsables del desarrollo y del Observatorio.

También se realizó un análisis detallado sobre las condiciones de seguridad y salud para el trabajo en el sistema, el cual, aunque por naturaleza no necesita de operador para su funcionamiento habitual, requiere esporádicamente de acciones de



DIMMA-ORM: Vista de los dos grupos de paneles solares, el inicial y el añadido de cara a duplicar la energía solar entregada al sistema.

mantenimiento y conservación que han de realizarse por personal técnico adecuadamente formado y que trabaje en las condiciones de seguridad exigidas. Este análisis fue realizado por técnicos de la consultora FREMAP, que asesora al IAC sobre estos temas.

Por último, se instaló un acceso directo en tiempo real al sistema DIMMA de forma que los datos que captura están disponibles para toda la comunidad astrofísica en la página Web del IAC, mediante el acceso remoto a la base de datos del DIMMA.

En lo que al DIMMA instalado en el OT se refiere, se procedió a integrar los elementos que faltaban y que son precisos para el normal funcionamiento del sistema, como la estación meteorológica, la conexión a la red informática del Observatorio y la instalación de los prismas fabricados específicamente con esta finalidad. El sistema se encuentra en fase de pruebas.

HARMONI

E. Mediavilla.

F. Gago, F. Gracia y F. Tenegi.

Introducción

HARMONI es un proyecto Europeo para construir un instrumento de Primera Luz para el mayor telescopio del mundo, el "European Extremely Large Telescope (E-ELT)". En la actualidad el telescopio E-ELT está en Fase B de diseño y se espera que entre en funcionamiento en 2018.

HARMONI es un espectrógrafo 3D (espectrógrafo integral de campo) que observará en el infrarrojo cercano y en el visible. Un espectrógrafo 3D es un instrumento polivalente diseñado para obtener espectros regularmente distribuidos en 2D sobre una imagen extensa. Esta técnica tiene aplicaciones científicas muy amplias (desde galaxias a alto redshift, AGN y agujeros negros supermasivos, hasta estrellas y formación planetaria en nuestra galaxia) y aprovecha al máximo las grandes ventajas del telescopio E-ELT (la mayor área colectora y la mejor resolución espacial concebidas) y se adapta muy bien a su principal limitación; el modesto campo de visión. Por estos motivos, ESO publicó un anuncio de oportunidad solicitando propuestas para un estudio Fase A de un espectrógrafo 3D para el E-ELT. HARMONI fue el Proyecto elegido.

HARMONI es una colaboración en la que participan 5 instituciones Europeas (Oxford, Lyon, IAC, CSIC,

UK-ATC) de 3 países (Reino Unido, Francia y España) que reúnen una gran parte de la experiencia europea en el campo de la espectroscopía 3D y que han estado implicadas en el desarrollo de prácticamente toda la instrumentación 3D en los grandes telescopios del mundo (TIGER, INTEGRAL, OASIS, KMOS, SINFONI, SAURON...).

La idea básica de los espectrógrafos 3D es trocear la imagen observada (en el plano focal) en elementos finitos de resolución ("spaxels") y reformatearla (usualmente alineando los "spaxels" formando una pseudo-rendija) a la entrada del espectrógrafo. En el diseño conceptual de HARMONI este proceso se lleva a cabo con un "image slicer" formado por micro-espejos. Esta técnica parece la más adecuada para cubrir el rango del cercano infrarrojo (H, J y K). La participación del IAC en HARMONI es resultado de la amplia experiencia de esta institución en el desarrollo y construcción de instrumentos 3D como HEXAFLEX, 2D-FIS, INTEGRAL y EDIFISE para el telescopio WHT, HEXAFLEX-II para el telescopio NOT o SIDE y MiniSIDE para el telescopio GTC. En HARMONI el IAC es responsable de la pre-óptica (diseño óptico y mecánico) y de la interfaz eléctrica/electrónica.

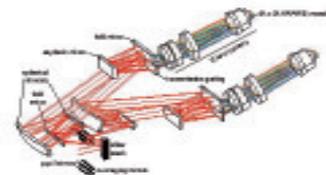
Algunos resultados relevantes

Abril: Kick-Off de HARMONI.

En enero de 2009 se firmará la "Letter of Agreement".

Evolución del Proyecto

Después del Kick-Off del Proyecto en abril comenzó la Fase 1 cuya principal finalidad es desarrollar el caso científico del instrumento teniendo en cuenta los objetivos clave propuestos para el telescopio E-ELT a partir de las reuniones del "Science Team" al que han sido invitados R. Rebolo, E. Martín y E. Mediavilla. Durante esta Fase se han investigado también aquellos aspectos técnicos que pudieran resultar críticos para el diseño. La pre-óptica ha tenido un papel relevante en esta discusión que ha afectado a sus tres elementos básicos: el derrotador óptico, el corrector de la refracción atmosférica



Esbozo del diseño de HARMONI.

diferencial (un aspecto de gran importancia conceptual en espectroscopía 3D) y el cambiador de escala. En principio los estudios preliminares indican que la corrección de la refracción atmosférica diferencial podría hacerse a posteriori sobre los datos. En lo que respecta a los otros dos elementos de la pre-óptica, F. Gracia ha preparado un diseño conceptual (adelantándose a la Fase 2 debido al impacto crítico de estos elementos en el diseño) que será presentado en la reunión de revisión de la Fase 1 que tendrá lugar en febrero de 2009.

A partir de entonces comenzará la Fase 2 dedicada al diseño conceptual de todo el instrumento destinado a demostrar su viabilidad técnica y a evaluar los costes (humanos y materiales) necesarios para construirlo. Esta fase terminará con una revisión por parte de ESO en enero de 2010.



Modelo del futuro telescopio E-ELT.

FASTCAM

A. Ocoz.

R. López, L.F. Rodríguez, J.J. Piqueras, J. Peñate, E. Cadavid, F. Llarena, A. Díaz, Mantenimiento Instrumental y Taller de Mecánica.

Introducción

FastCam (<http://www.iac.es/proyecto/fastcam/>) es un instrumento desarrollado de forma conjunta por el Instituto de Astrofísica de Canarias y la Universidad Politécnica de Cartagena con el objeto de obtener imágenes de muy alta resolución espacial o temporal en el rango visible en telescopios terrestres. FastCam se basa en la técnica conocida como "*lucky Imaging*", que consiste en obtener series de miles de imágenes de un objeto empleando tiempos muy cortos de exposición (entre 30 y 50 milisegundos). Algunas de estas imágenes no están significativamente alteradas por la turbulencia atmosférica y, esencialmente, se encuentran limitadas por difracción. En cada serie de observación de un objeto, típicamente varios miles de imágenes, se identifica y selecciona esas imágenes de características excelentes, y las resultantes de varias series se combinan hasta alcanzar la sensibilidad deseada.

El instrumento dispone de un detector L3CCD Andor DU-897 512 x 512 de muy bajo nivel de ruido y muy rápida velocidad de lectura, con varias ópticas que se pueden intercambiar para muestrear el límite de difracción en diversas bandas con telescopios de 1,5 a 4,2 m de diámetro. Incorpora un sistema de transmisión y evaluación rápida de imágenes utilizando FPGAs (Field Programmable Gate Array) desarrollado por el IAC y un software propio elaborado para el procesamiento eficiente de decenas de miles de imágenes.

Algunos resultados relevantes

FastCam consigue la mejor resolución espacial de la historia de tres telescopios: TCS = 0",15, NOT = 0",09 y WHT = 0",07.

Fue el primer instrumento externo instalado en el telescopio GTC, con excelentes resultados.

Evolución del Proyecto

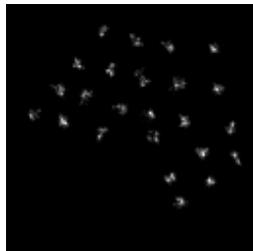
Tras numerosas observaciones en el telescopio y después de ofrecerlo al personal del IAC durante unas noches en marzo, FastCam es, desde septiembre de 2008, instrumento de uso común en el telescopio TCS. Durante 2008 se ha usado en 28 noches, obteniéndose siempre valores de *seeing* por debajo de 0,2 segundos de arco. Sin embargo, también se ha desplazado a otros telescopios con igual éxito en las observaciones. En los meses de mayo, julio y octubre se instaló en los telescopios WHT (cuatro medias noches y dos noches enteras) y NOT (ocho noches). Hay que destacar que la mejor resolución alcanzada en cada uno de los tres telescopios (TCS, NOT y WHT) trabajando en la banda (850 nm) está cerca del límite teórico de difracción de cada uno: 0,15, 0,09 y 0,07 segundos de arco, respectivamente. Por ejemplo, en el telescopio TCS, usando una escala de píxel de 31 mas/píxel, se detecta de forma rutinaria el primer anillo de Airy en estrellas brillantes. En los telescopios WHT y NOT se obtienen resoluciones similares en las bandas *R* y *V*. Adicionalmente, FastCam se convirtió en mayo en el primer instrumento externo instalado en el telescopio GTC (una noche de observación), con grandes resultados tanto en las imágenes individuales como en las combinadas de los 24 segmentos entonces disponibles.



Izquierda, una exposición de 30 milisegundos. Centro, resultado del *seeing* natural. Derecha. 1% de 4.000 imágenes alineadas y acumuladas.



FastCam instalado en el foco Nasmyth del telescopio GTC.



Observación individual de 30 milisegundos de la estrella triple HU66 ABC con los 24 segmentos del telescopio GTC.

Además de una serie de mejoras del instrumento que lo han hecho más robusto y versátil (nuevos ordenadores, ruedas de filtros, óptica, etc.), se han iniciado dos proyectos para conseguir que se disponga de un instrumento compacto y de última generación.

ADQUISICIÓN Y GUIADO TELESCOPIO IAC-80

A. Oscoz.

J. Peñate, E. Cadavid, F. Llarena, A. Díaz, Mantenimiento Instrumental y Taller de Mecánica.

Introducción

El guiado actual del telescopio IAC-80, a pesar de ser bastante bueno, se encuentra tremendamente limitado. El camino circular (Ver Figura), que sigue el espejo hace que la región de cielo realmente barrida por el mismo sea pequeña. Esto ocasiona que, en numerosos casos, en campos con pocas estrellas, se tarde hasta veinte minutos en encontrar una estrella adecuada. En otras ocasiones, se opta por guiar con una estrella extremadamente débil, lo que redundaría en la calidad del guiado. Estos problemas se agudizan por la escasa sensibilidad de la cámara de guiado.

Algunos resultados relevantes

Finalización del diseño detallado.

Inicio de la fabricación.

Evolución del Proyecto

El nuevo sistema, diseñado y fabricado en el IAC, dispondrá de un campo más amplio para la búsqueda de estrellas guía, que además será bidimensional, a semejanza del telescopio TCS, y con una interfaz de usuario fácil de usar. Esto, unido a una nueva cámara de guiado más sensible, hará que se puedan encontrar más estrellas que antes pero de manera que el astrónomo usuario deba emplear menos tiempo en ello.

Durante 2008 se ha procedido a la finalización del diseño detallado del instrumento y a su fabricación. Tras comprobar que en algunos casos había mejores soluciones, se han modificado ligeramente ciertas piezas, lo que ha conducido a un mejor diseño del sistema. Se han realizado numerosas pruebas en laboratorio con los carros, con el joystick de control, con el software, etc., además de efectuar un primer montaje en el telescopio IAC-80 para comprobar que todo funcionaba correctamente.

Esquema del campo de la CCD y del recorrido de la cámara de autoguiado.



INSTRUMENTACIÓN INFRARROJA

EXPLOTACIÓN CIENTÍFICA DEL ESPECTRÓGRAFO IR LIRIS (3I1202)

A. Manchado.

J. Acosta Pulido, M. Barreto, E. Cadavid, A. Fragoso, F. García, E. Hernández, H. Moreno, J. Olives, P. Ayala, J. Morrison, J. García y J. González.

Introducción

LIRIS es una cámara y espectrógrafo para el rango infrarrojo cercano, construido en el IAC y que está operando en el foco Cassegrain del telescopio WHT, en ORM. Desde el mes de agosto de 2004 LIRIS funciona de manera rutinaria como instrumento de uso común en dicho telescopio.

LIRIS trabaja en el rango de 0,9 a 2,4 micras cubriendo las bandas fotométricas J, H y K. Se usa un detector Rockwell-Hawaii-I de 1024x1024 píxeles, proporcionando un campo de 4.2'x4.2' (0.25"/píxel). Además de los modos de operación comunes con otros espectrógrafos infrarrojos de última generación, tiene modos únicos como espectroscopía multiobjeto, coronografía y polarimetría. Con este instrumento se están abordando proyectos de investigación punteros, como por ejemplo el estudio químico de objetos transneptunianos y cometas, la búsqueda de exoplanetas, evolución química de supernovas hasta el estudio de galaxias con alto desplazamiento al rojo.

Principales características de LIRIS:

- Imagen en las bandas J, H y Ks, así como filtros banda estrecha
- Rendijas de distintas dimensiones: 0.65", 0.75", 1" y 5" x 4.2'
- Resolución espectral de 800 en el rango 0.95 hasta 2.4 micras y 2500 alrededor de 2 micras
- Capacidad de espectroscopía multiobjeto en un campo de 2 x 4.2 arcmin
- Capacidad de polarimetría en modo imagen
- Coronografía con máscaras de apodización

Algunos resultados relevantes

Febrero:

Equipo interdisciplinar realiza:
Integración Pseudogrismas H:
Integración Filtro Y.

Integración Multirendijas semestre 08A primer grupo.
Reparación rodamiento microswitch rueda de pupilas.
Verificación en parking y en frío del Pseudogrismas H.
Tareas mantenimiento anual dentro del criostato.

Mayo: Integración Multirendijas semestre 08A segundo grupo. Mantenimiento Instrumental.

Julio: Integración Multirendijas semestre 08B primer grupo. Mantenimiento Instrumental.

Octubre: Mantenimiento de bombas de vacío. Mantenimiento Instrumental.

Diciembre: Integración Multirendijas semestre 08B segundo grupo. Mantenimiento Instrumental.

Durante todo el año LIRIS ha seguido operando en el telescopio WHT con buenos resultados.

Evolución del Proyecto

Durante el año 2008 LIRIS desarrollo sus operaciones científicas con gran éxito en el telescopio WHT.

Dos veces por semestre se realizaron integraciones de mascarar multirendijas para realizar espectroscopia multi-objeto. Hasta la fecha se han fabricado 52 mascarar multi-objeto para los programas de observación aprobados que las requerían.

Derecha: Apertura del criostato para tareas rutinarias de mantenimiento. En la foto E. Hernández y A. Ridings.

Abajo: Liberación modulo ruedas centrales para reparación rodamiento microswitch R. Pupilas. En la foto E. Hernandez y F. García.



Name	Prism material	Prism angle α (degrees)	Blank material	lines/mm	λ_0 (μm)
"Grisma J"	ZnSe	20.3	IR Grade Fused Silica	820	1.25
"Grisma H"	ZnSe	19.3	IR Grade Fused Silica	590	1.65
"Grisma K"	ZnSe	19.3	IR Grade Fused Silica	433	2.25

Definición de los pseudogrismas.

Con la integración del Pseudogrismas H en Febrero se concluyó la integración de los tres pseudogrismas de alta resolución que se han adquirido a Jobin Yvon para LIRIS.

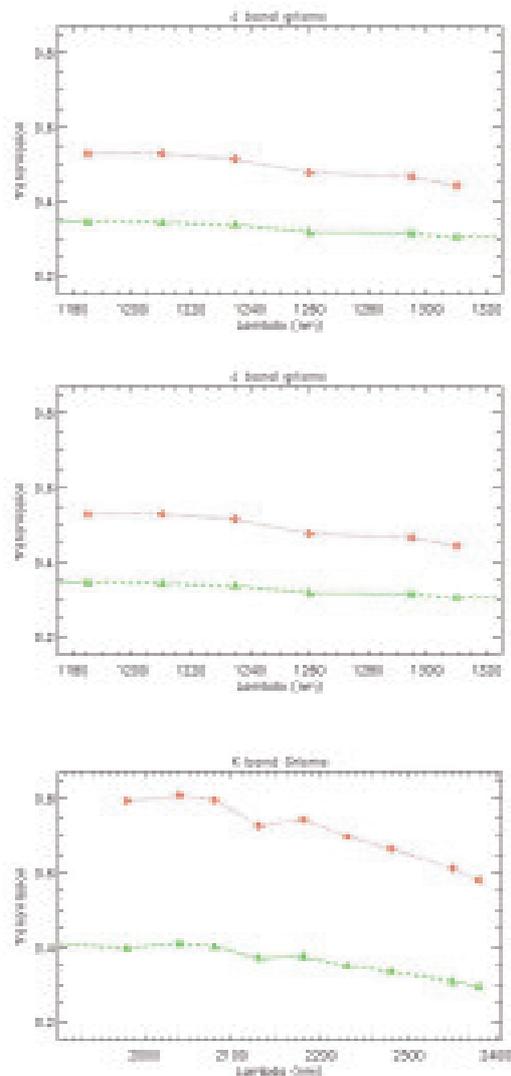
Las redes J y K se integraron durante 2007, pero la red H se recibió en agosto de 2007 y su aceptación no se hizo hasta finales de noviembre, al devolverse al fabricante para su revisión, con lo cual su integración quedó pendiente hasta inicio del 2008.

La integración de la red H en el mes de febrero se realizó conjuntamente con:

- El desarrollo de las tareas anuales de mantenimiento preventivo que requieren el calentamiento del criostato y apertura del criostato.
- La integración del filtro Y, adquirido a BARR ASSOCIATES.
- La integración de mascarar multiobjetos para el semestre 08A. Fabricadas por GINES.
- La reparación del rodamiento del sistema de microswitch de la rueda de pupilas que se detectó que estaba roto al abrir el criostato.

Dado que se liberó el módulo de ruedas centrales para la reparación del rodamiento del microswitch de la rueda de pupilas, la integración de la red H se pudo hacer con la rueda de grismas descubierta totalmente, como se puede ver en la imagen.

Una vez integrados en LIRIS y como parte de la verificación científica de los nuevos elementos dispersivos se midió su rango espectral y su eficiencia. En la figura siguiente se puede ver como la transmisión de los nuevos elementos es superior a los grismas de baja resolución que también están disponibles en LIRIS. Los resultados de las pruebas de verificación se presentaron en el Congreso SPIE celebrada en Marsella en junio, y han sido publicados en las actas del congreso (Fragoso et al, 2008, Proc of SPIE, Vol 7014, p 701468).



Eficiencia de los pseudogrismas J (1), H (2) y K (3).

Derecha: Montaje en el laboratorio del IAC del bloque Pseudogrismas H conteniendo dos primas y la red H.



Abajo: Rueda de grismas con los 3 pseudogrismas integradas, 3 grismas y el WeDoWo de imagen.



Explotación tiempo garantizado

Se ha continuado con el análisis de datos obtenidos como parte del tiempo garantizado y se han enviado para su publicación dos trabajos sobre la emisión infrarroja en los núcleos de galaxias tipo Seyfert. Se ha realizado un estudio de cinco núcleos cubriendo el rango de 0.9 a 2.4 micras. Gracias a estos espectros se han podido identificar líneas de alta ionización para determinar su mecanismo de excitación, así como la población estelar subyacente. El trabajo ha sido aceptado para su publicación durante el año 2009 en la revista *Astrophysical Journal* (Ramos Almeida C., Pérez García A. M. y Acosta Pulido J.A.). Como parte de este estudio y gracias a la alta calidad de los datos obtenidos se han encontrado evidencias de líneas muy débiles que han permitido la reclasificación de una de las galaxias como núcleo Seyfert de tipo 1 oscurecido, cambiando su clasificación anterior de tipo 2. Estos resultados han sido publicados en la revista *Astrophysical Journal Letters* (Ramos Almeida C., Pérez García A.M., Acosta Pulido J.A. y González-Martín O., 2008, 645, L148).

Parte del equipo científico del instrumento llevó a cabo observaciones con LIRIS durante las noches del 16 y 17 de junio dentro del Tiempo Discrecional del Director. Estas noches se dedicaron a la obtención de imágenes profundas usando el filtro Ks. El tiempo de exposición acumulado fue de 7.3 h.. Después de un análisis preliminar de los datos se ha confirmado la detección de alrededor de 380 objetos en un campo de 4'x4', alcanzándose como magnitud límite aproximada el valor $K_s=21$ para una relación señal a ruido de 3. La magnitud de completitud se alcanza alrededor de $K_s=20$.

Uso del instrumento por la comunidad astronómica

Durante el año 2008 se concedieron 66 noches de observación con el instrumento LIRIS, esto significa alrededor del 20% del total de noches. De estas noches 17 fueron dedicadas a espectroscopia multiobjeto y 4 al modo polarimetría. Se han publicado durante el año 2008 cinco artículos usando observaciones obtenidas con LIRIS.

EMIR: ESPECTRÓGRAFO MULTIOBJETO INFRAROJO PARA EL GTC (310501)

F. Garzón.

A.B. Fragoso, C. González, D. Abreu, F. Tenegi, F. Gago, J. Pérez, J. Patrón, J. Sánchez, J.J. Díaz, J.L. Rasilla, L. López, M. Insausti, M. Vallbé, M. Balcells, M. Prieto, P. López, S. Barrera y V. Sánchez.

R. Guzmán (Univ. de Florida, EEUU); J. Gallego, N. Cardiel, S. Pascual, J. Gorgas y J. Zamorano (UCM, Madrid); R. Pelló, F. Beigbeder, S. Brau-Nogué y T. Contini (LAOMP, Francia); C. Gry, B. Milliard y R. Grange (LAM, Francia).

Introducción

El Proyecto EMIR aborda el diseño y construcción de un espectrógrafo multiobjeto con capacidad de imagen para observaciones en el rango infrarrojo cercano con el telescopio GTC. EMIR será un instrumento único en su categoría al proporcionar capacidad de espectroscopia multirendija y de imagen en un gran campo, en un telescopio de 10 m de apertura y en el dominio infrarrojo cercano. En particular, la capacidad de realizar espectroscopia multiobjeto en la banda de 2.2 μm abrirá campos de investigación únicos a la comunidad de astrónomos usuarios del telescopio GTC. EMIR está diseñado para operar principalmente como multiobjeto en la banda K, pero ofrece un amplio rango de modos de observación, que incluyen imagen y espectroscopia, tanto de rendija larga como multiobjeto, en el rango espectral entre 0.9 y 2.5 μm . Está equipado, entre otros, con tres subsistemas de alta tecnología de última generación, algunos especialmente diseñados para este proyecto: un sistema robótico reconfigurable de máscaras de selección; elementos dispersores formados mediante la combinación de redes de difracción de alta calidad, fabricadas mediante procedimientos fotorresistivos, y prismas convencionales de gran tamaño, y el detector HAWAII-2 de Rockwell, diseñado para el infrarrojo cercano con un formato de 2048 x 2048 píxeles, y dotado de un novedoso sistema de control, desarrollado por el equipo del Proyecto.

Las prestaciones del instrumento quedan resumidas en la siguiente tabla. Es oportuno resaltar que prácticamente todos los requisitos se cumplen en la actualidad más allá de lo solicitado.

Especificaciones de EMIR:

- Rango espectral: 0.9 - 2.5 μm
- Resolución espectral: 5000, 4250, 4000 (JHK)
- Cobertura espectral: Una ventana de observación en Z, J, H o K
- Formato del detector: HAWAII-2 2048 x 2048 píxeles de Rockwell
- Escala en el detector: 0.2 arcsec/píxel
- Tasa de toma de datos > 1 imagen/seg
- Temperatura del espectrógrafo: ~77 K
- Campo de visión: 6.64x6.64 arcmin imagen 6.64x4 arcmin espectroscopia
- Número de máscaras para MOS: > 50
- Transmisión: >40% en modo Imagen, ni filtro ni detector
- Calidad de imagen ($\hat{\epsilon}_{80}$): < 0.3 arcsec (en todo el rango espectral)

MEMORIA
IAC 2008

129

La explotación científica inicial de EMIR corre a cargo de dos grupos científicos principales. El grupo GOYA, cuyo Proyecto científico dio origen y dirige el desarrollo de este instrumento, y el grupo EAST. El objetivo principal de GOYA es realizar un censo de galaxias dedicado a la observación de fuentes con desplazamiento al rojo $2 < z < 3$, para la exploración de épocas tempranas en la historia del Universo, donde la formación de galaxias alcanzó su máxima intensidad. GOYA queda descrito en más detalle en la memoria del Proyecto 310500. Por otro lado, desde el año 2004 funciona, dentro del Proyecto EMIR, el grupo EAST (EMIR Associate Science Team), que reúne a los investigadores interesados en la explotación científica inicial de EMIR, y que se encargarán de preparar el programa central de observaciones cubriendo aspectos no contemplados dentro de GOYA.

Hasta la fecha, EAST está preparando 18 programas de observación, presentados por grupos que incluyen a más de 40 científicos, que están actualmente en discusión y optimización vía un proceso iterativo. Se cuenta con disponer de algún tipo de asesoría o evaluación científica externa sobre las propuestas previa a su inclusión en el Programa Central de EMIR. El conjunto de propuestas cubre la práctica totalidad de los temas de la moderna Astrofísica observaciones, y puede resumirse en la siguiente lista:

- Seguimiento espectroscópico en el infrarrojo cercano de fuentes extragalácticas en el infrarrojo lejano y submilimétricas
- Núcleos galácticos activos
- Galaxias Starburst
- Poblaciones estelares en galaxias de tipos tempranos
- Estrellas masivas
- Objetos de la Galaxia interna
- Estrellas AGB y Post-AGB
- Espectroscopía en el infrarrojo cercano de sistemas planetarios aislados y enanas marrones

El diseño y construcción de EMIR corre a cargo de un equipo de instituciones nacionales e internacionales con amplia experiencia en instrumentación infrarroja, liderados por el IAC: la Universidad Complutense de Madrid (UCM), el Laboratorio de Astrofísica del Observatorio de Midi-Pyrénées (LAOMP) y el Laboratorio de Astrofísica del Observatorio de Marsella (LAM), en Francia.

EMIR será un instrumento único por sus características y alcance, y abrirá nuevos campos de investigación a la comunidad astrofísica española e internacional con acceso al telescopio GTC. De un lado, debido a la alta sensibilidad, sin precedentes en la instrumentación disponible para los astrónomos españoles, resultado de la combinación de la gran apertura del telescopio GTC con los detectores de última generación que equiparán el

instrumento. De otro, la capacidad de realizar espectroscopía con resolución espectral intermedia en el IR cercano y de un gran número de objetos simultáneamente.

Algunos resultados relevantes

Dentro del contrato de diseño y fabricación de la CSU, se ha completado el diseño y fabricación de los prototipos de 1 y 6 barras y se han realizado casi el total de pruebas del prototipo de 1 barra en diciembre de 2008 con resultados prometedores.

Se ha completado la fabricación del banco óptico (diciembre 2008) y todo el sistema está listo para la aceptación final en fábrica y su recepción en el IAC.

Se ha completado la puesta en operación y caracterización global del sistema de verificación del EMCTS. El EMCTS está operativo y ya se está utilizando.

Se ha lanzado la licitación del contrato de fabricación del criostato de EMIR, y se han recibido y valorado las ofertas correspondientes. El contrato se ha adjudicado finalmente a la empresa TRINOS-Vacuum Projects (diciembre de 2008).

Se lanzó la compra de los espejos de plegado de EMIR (octubre 2008).

Se ha realizado la integración final y pruebas de aceptación en fábrica de la DTU. Los resultados no han sido satisfactorios y, tras algunas modificaciones y optimizaciones, se deben repetir las pruebas.

Se ha completado la fabricación de las lentes y barriles contratados a SESO. Se ha recibido y aceptado la lente CW, ventana del criostato de EMIR, y probado su funcionalidad.

Se ha iniciado el desarrollo de aplicaciones y componentes de software de acuerdo a las últimas versiones de GRANTECAN S.A., especialmente el Sequencer y el Inspector.

Se ha desarrollado y optimizado el software necesario para las pruebas de prototipos y para las operaciones del EMCTS.

Se ha optimizado el hardware y software de bajo nivel del controlador del detector para el uso de nuevos modos de lectura.

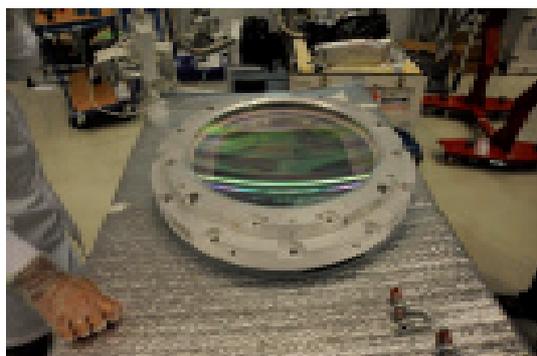
Evolución del Proyecto

Durante 2008 se han cerrado las tareas de diseño detallado de prácticamente todos los subsistemas del instrumento y el inicio de la fabricación o

contratación de muchos de los sistemas más complejos, además del seguimiento de los contratos de diseño y fabricación en curso.

Se ha lanzado la licitación de la cámara de vacío de EMIR, que incluye el criostato, las pantallas flotantes y adiabáticas y los útiles de manipulación y transporte del criostato y de todo el instrumento. En diciembre de 2008 la licitación está lista para la resolución final.

El diseño del periscopio está prácticamente cerrado y se ha tomado la decisión de fabricar toda la estructura de integración de los espejos en el IAC. Se ha contratado la fabricación de los espejos.



Lente CW integrada en su montura como ventana de entrada del criostato de EMIR.

Se han prolongado los retrasos en la entrega de las lentes y barriles contratados a SESO (Francia) debido a reiterados problemas e incumplimientos de especificaciones presentados por este fabricante. En la actualidad todos los componentes están fabricados y se ha recibido y aceptado la lente CW, ventana de entrada del criostato de EMIR. La lente CO1 está a punto de enviarse y los dos barriles restantes pendientes de verificación para su integración y aceptación en fábrica.

En septiembre tuvieron lugar las pruebas de aceptación en fábrica de la Unidad de Traslación del Detector (DTU). Los resultados no fueron satisfactorios y durante el resto del año se han realizado mejoras y modificaciones en el hardware para repetir las pruebas en el primer trimestre de 2009.

El banco óptico, bajo contrato con G&P Vacuum Projects (Valencia), está fabricado (junto con las pantallas frías de EMIR y su útil de manipulación) y se encuentra pendiente de las pruebas de aceptación en fábrica.

Se fabricó el prototipo de una barra de la Unidad Reconfigurable de Rendijas (CSU) y se han realizado parcialmente las pruebas del mismo. Los resultados, aunque no han sido completos, son prometedores,



Banco óptico fabricado e integrado en el útil de manipulación, sin y con pantallas frías.



Pruebas en frío en el IAC del prototipo de 1 barra de la CSU.

y se espera implementar mejoras sobre todo en el software para las pruebas siguientes del prototipo de 6 barras.

Se ha continuado la interacción entre el IAC y el LAM (Marsella, Francia) para la fabricación final de las monturas de los elementos dispersivos. Los prismas de Seleniuro de Zinc (ZnSe), componentes de estos elementos, se han ciclado a temperaturas criogénicas, comprobándose así su integridad ante tales condiciones de trabajo.

El EMCTS está completamente operativo y se está utilizando en las pruebas de aceptación y prototipos de subsistemas.

No han habido avances en las tareas de validación de la unión pegada en los soportes radiales del banco óptico, bajo contrato con la empresa INASMET.

En lo que se refiere a las tareas del grupo de control, al que competen los desarrollos de software y hardware electrónicos del instrumento, se ha proseguido con las tareas iniciadas en fases previas con especial énfasis en:

Software

La familiarización con las nuevas aplicaciones software aportadas por GRANTECAN S.A. en las Releases de software recibidas a lo largo del año. De especial relevancia ha resultado la aparición del Sequencer, que si bien aún está en fase de desarrollo, ha permitido empezar a expresar las secuencias de operación del instrumento en un lenguaje más próximo al final. Se ha trabajado, y se continúa trabajando, en los componentes y simuladores de éstos para incorporarlos en las secuencias tal y como es requerido por el Sequencer. Se han realizado sugerencias y propuesto cambios para adecuar las capacidades del Sequencer a las necesidades del instrumento.

Se ha trabajado, dentro de las posibilidades que ha permitido el estado de desarrollo, en la generación de pantallas para el inspector de EMIR. Debido a las limitaciones impuestas por el alcance del desarrollo del SW de GRANTECAN S.A. se ha invertido el esfuerzo en determinar qué información debería contener cada pantalla.

Se estudia la manera de reutilizar la parte común del DAS desarrollado para OSIRIS en EMIR. También se contemplan las particularidades de EMIR y se analiza la manera de implementarlas.

Se ha desarrollado SW para llevar a cabo las pruebas de los prototipos. En particular se ha adecuado el SW de bajo nivel para el control del prototipo de la rueda de grismas y se ha trabajado en un SW para la monitorización simultánea de sensores de temperatura y presión.

Se ha optimizado el SW de bajo nivel del controlador del Detector, tanto en el propio controlador como en el rack VME, para incorporar nuevos modos de lectura con el fin de probar su viabilidad y utilidad.

Hardware

Se ha trabajado en la optimización del SAD de pruebas del detector incorporando nuevos modos de lectura y de control del detector. El sistema está listo para iniciar las pruebas de caracterización y rendimiento del detector con nuevos modos de lectura.

Se han realizado tareas sobre el HW electrónico requerido para las pruebas de los prototipos, en particular el de la rueda de grismas, así como de los sistemas auxiliares y de medida tales como interferómetros, unidades de monitorización de temperatura y presión etc. Se ha integrado la electrónica auxiliar y de operación de prototipos en un armario diseñando para ello los esquemas de conexionado y anclajes mecánicos.

La identificación de los componentes definitivos de EMIR ha progresado y se ha trabajado en la definición más fidedigna de la configuración que finalmente llevará el instrumento. Se ha determinado qué electrónica deberá rotar con el instrumento y cual irá en la plataforma Naysmith sirviendo con propósitos auxiliares y de puesta en funcionamiento del instrumento. Se ha acordado el tamaño máximo de envoltente permisible para los armarios rotantes y se ha definido, preliminarmente, la ubicación de los diferentes módulos y las áreas previstas para las interconexiones.

Se ha participado en las pruebas de aceptación en factoría de la DTU y se ha visitado a la subcontrata de la CSU para tomar un contacto cercano con el estado del desarrollo.

Se ha colaborado con las pruebas del prototipo de 1 barra tal y como estaba previsto en el desarrollo del contrato de la CSU.

En el aspecto de explotación científica de EMIR, los grupos GOYA e EAST han continuado su trabajo de preparación del programa central de observaciones y de difusión de EMIR entre la comunidad de usuarios.

FRIDA Y DESPUÉS: CIENCIA CON ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL EN LA ÉPOCA DE LOS TELESCOPIOS GIGANTES (3I2105)

A. Prieto.

J. Acosta, C. Martínez, A. Marín, F. Mueller Sánchez, C. Álvarez, F. Gago, F.J. Fuentes, J. Patrón, J.J. Díaz, P. López y J.M. Pérez.

A. López (Univ. de México), S. Eikenberry (Univ. de Florida, EEUU), N. Cardiel (UCM), R. Pelló (LAOMP, Francia), J. Reunanen (Tuorla, Finlandia).

Introducción

Ciencia con FRIDA

El Proyecto de ciencia con FRIDA se enfoca en la identificación y preparación de programas de observación competitivos para FRIDA. FRIDA se prevé que llegue al telescopio GTC hacia finales de este decenio. Para esta fecha, todos los grandes telescopios del mundo ya habrán estado trabajando con instrumentos para Óptica Adaptativa por más de 10 años, produciendo ciencia frontera. Por ello, es fundamental que la comunidad del GTC comience a organizarse con el fin de identificar y preparar programas originales para la época de FRIDA.

El objetivo de este Proyecto es iniciar dentro del IAC tales estudios. Para ello se pretende establecer una colaboración estrecha entre el equipo de FRIDA de IAC y la comunidad científica de GTC a fin de identificar programas y estrategias de observación claves para este instrumento.

Como punto de partida, se ha seleccionado el estudio a gran escala de la galaxia de Andrómeda. Andrómeda es la galaxia espiral más cercana a la Tierra, lo que permite que sus diferentes componentes galácticas: núcleo, disco, bulbo, brazos y halo, puedan ser estudiadas bajo escalas espaciales sin precedencia. FRIDA podrá realizar un mapeado espectroscópico de regiones seleccionadas en Andrómeda con resoluciones espaciales por debajo de 0.16 pc a 2 μ m.

Por su proximidad, la observación de Andrómeda con FRIDA involucra el estudio de un gran número de problemas astrofísicos: formación estelar, función inicial de masa en cúmulos globulares, dinámica galáctica, escenarios de formación de galaxias, etc., a escalas espaciales sólo conseguidas anteriormente en nuestra Galaxia y las nubes de Magallanes. En este Proyecto, se pretende analizar las posibilidades de realización y nivel de competitividad de estos estudios en Andrómeda

sobre la base de las capacidades y limitaciones actuales de FRIDA y del sistema de Óptica Adaptativa del telescopio GTC.

Involucración tecnológica en FRIDA

El IAC está involucrado tecnológicamente en la construcción de FRIDA. Durante 2008 fue responsable de dos paquetes de trabajo:

1.- Desarrollo del Sistema de Control completo de FRIDA, el cual estará basado en la medida de lo posible en EMIR. El sistema de adquisición de datos, la electrónica de control del detector y la caracterización de éste así como el software de alto nivel para el control de mecanismos son responsabilidades directas del IAC. Así mismo, el IAC es responsable de la definición de la pipeline y de las herramientas de observación con FRIDA así como del desarrollo del software para la coordinación de operaciones de FRIDA. El IAC coordina todas estas actividades con las instituciones implicadas en estas tareas: LAOMP (Francia), UCM (Madrid) y UNAM (México). Estas tareas comprenden desde diseño, fabricación y adquisición de componentes.

2.- Ingeniería del Sistema (System Engineering), que incluye:

- Gestión del control de configuración
- Gestión de entregables
- Definición de la arquitectura del sistema
- Establecimiento de especificaciones a nivel del sistema y todos sus subsistemas
- Trazabilidad y cumplimiento de especificaciones
- Gestión de los presupuestos de ingeniería
- Gestión de interfases
- Estudios de viabilidad y trade-off
- Definición y gestión del Plan de Aseguramiento de la Calidad
- Gestión del análisis de riesgos y los planes de mitigación
- Análisis RAM
- Coordinación y gestión de los modelos de ingeniería
- Manuales de Usuario y Mantenimiento
- Gestión de no-conformidades

Equivalentes de FRIDA en telescopios gigantes

La Comunidad Europea bajo las premisas de ESO y a través de diferentes institutos identificados por esta organización, está trabajando activamente desde hace 4 años en el establecimiento de la instrumentación apropiada para la futura generación de telescopios gigantes o ELTs (Extreme Large Telescopes). Los casos científicos que se debaten están en su gran mayoría enfocados a la explotación conjunta de la enorme capacidad de adquisición y

máxima resolución espacial al límite de difracción, que proporcionan un ELT. La única forma eficiente que se conoce en la actualidad para recuperar el límite de difracción de un telescopio en tierra es el uso de Óptica Adaptativa. Es por ello que la Comunidad considera crucial el definir y encontrar nuevos conceptos de instrumentación astronómica que exploten con eficacia estas resoluciones espaciales, y el uso de esta técnica.

Con este Proyecto se pretende continuar la involucración de este equipo en los proyectos de instrumentación para ELTs actualmente bajo estudio en Europa (A. Prieto participa como co-investigador en el proyecto MIDIR – Mid-IR ELT study) e identificar posibilidades y recursos en el IAC para involucrarlo en este estudios o en la definición de otros nuevos.

Algunos resultados relevantes

Ciencia

Marzo: se aprueba por GTC el PDR de FRIDA.
Septiembre: se elabora el primer borrador del plan de comisionado y calibración de FRIDA (J. Acosta y A. Prieto).

Ingeniería

Marzo: Compra de componentes del hardware de control: CPU's y rack de electrónica.
Se ha avanzado en la puesta a punto del controlador del Hawaii-2.
Se siguen cerrando los detalles finales para la adquisición final del detector Hawaii-2.
Se sigue avanzando en el desarrollo de componentes de software, tanto operativo como simuladores, junto con el software relativo al Sequencer e Inspector de GTC.
Se revisó y actualizó la documentación presentada en la PDR. Los documentos aceptados por GTC se pusieron en control de configuración.
Se gestionó la intranet del proyecto.
Se revisaron y actualizaron las especificaciones del instrumento a nivel del sistema y subsistemas.
Se hizo un análisis funcional detallado de los subsistemas críticos.
Se realizó una revisión completa de los modelos de ingeniería que definen las características del instrumento.
Se revisó la identificación y cuantificación de riesgos, dentro del plan de aseguramiento del producto.
Se terminó la integración y verificación de uno de los criostatos de pruebas (COLIBRI). Se inició la construcción del segundo criostato de pruebas (FCTF). Se finalizó la construcción y se inició la integración del prototipo del barril del colimador.

Evolución del Proyecto

Gestión

Se ha realizado el seguimiento e interacción con LAOMP para el cierre y firma del acuerdo de colaboración para su participación en FRIDA, pero debido a la falta de disponibilidad de recursos humanos, por estar dedicados a otros proyectos prioritarios, esta decisión se ha pospuesto y queda aún pendiente.

En 2008 se resolvió el proceso de selección para una plaza de ingeniero informático, siendo el seleccionado J.M. Pérez Menor, quien se incorporó al Proyecto. Este contrato está cubierto por el Plan Nacional AYA2007-60235.

Ciencia

Febrero: reunión de todo el equipo científico de FRIDA en el IAC. Se discute los resultados de la PDR.

Agosto hasta la fecha: A. Prieto mantiene conversaciones regulares con el ingeniero óptico de FRIDA (S. Cuevas, UNAM) con el fin de mantener un seguimiento de los siguientes desarrollos en el Proyecto:

- Nueva optimización del diseño óptico, comenzada en el mes de marzo. Esta reoptimización sigue las recomendaciones propuestas por los revisores de la PDR de FRIDA, en agosto 2007. El diseño óptico final, incluida el de la IFU, cálculo de tolerancias y calidad de imagen se esperan estén disponibles para su evaluación en marzo 2009.
- Desarrollo de los prototipos: criostato de pruebas, rueda de rejillas, soporte de colimador, y se incluye recientemente el de la primera rueda del plano focal. Todos los prototipos están ya diseñados. Se encuentran en la actualidad en fase de tests. Elaboración del documento (en interacción con A. Prieto), "FRIDA commissioning plan and calibration": J. Acosta.
- Revisión del documento "FRIDA Observing Program Management System: Brau-Nogue & R. Pello (LAOMP)": A. Prieto.

Diciembre: A. Prieto solicita a R. Pello una fecha límite para la decisión de LAOMP sobre la participación con recursos humanos de este laboratorio en FRIDA y firmar el contrato IAC-LAOPM. Esta fecha se fija en marzo 2009. En caso negativo, el IAC absorberá en su totalidad las responsabilidades asignadas a LAOPM.

M. Prieto participa en diversas reuniones en ESO relativas al desarrollo de instrumentos de AO para los telescopios VLT y ELT.

Sistema de Control

Se han recibido y montado los componentes del controlador del detector. Debido a cambios en el diseño de algunas placas, con respecto a las utilizadas en EMIR, se ha identificado la necesidad de realizar adaptaciones o modificar los circuitos flexibles de interconexión internos al controlador. Esta tarea aún está siendo estudiada en profundidad para adoptar una solución definitiva.

Se está trabajando con el controlador de EMIR para llevar a cabo la puesta a punto incluyendo todos los modos de lectura del detector que serán comunes tanto para EMIR como para FRIDA.

Se ha avanzado en el proceso de adquisición del detector. En estos momentos ya está disponible la licencia de exportación y el fabricante ha propuesto un detector de ciencia y otro de ingeniería cuyos datos se están evaluando por el proyecto para pasar a su aprobación. Es de esperar que, si los datos suministrados son considerados como válidos, se proceda al envío de ambos detectores de manera inminente.

Las tareas de SW que se están desarrollando avanzan bajo las líneas de desarrollo de EMIR tal y como estaba previsto. Se están realizando desarrollos de componentes, tanto en la versión operativa como simuladores, que serán útiles como punto de partida para los de FRIDA. También son de aplicación los avances que se realizan en el Sequencer y el Inspector. El trabajo prosigue con el desarrollo de los filtros de procesado y se están estableciendo las bases para el desarrollo de la parte correspondiente al OPMS.

Ingeniería de sistemas

Revisión y actualización de los procedimientos de gestión de configuración.

Gestión y actualización de la intranet documental del Proyecto.

Revisión y actualización de los presupuestos de error a nivel del sistema y subsistemas.

Análisis de riesgos y propuesta de un plan de mitigación y un plan de prototipazo.

Revisión y actualización de los modelos de ingeniería.

Revisión y actualización de especificaciones técnicas a nivel del sistema y los subsistemas.

Gestión de la matriz de cumplimiento a nivel de diseño.

Revisión y archivo bajo control de configuración de la documentación de diseño preliminar, de acuerdo a las conclusiones de la PDR.

Del 30 de mayo al 5 de junio se celebró en México (IA-UNAM) una reunión de trabajo para revisar el estado de las tareas de ingeniería de sistemas. En la reunión participaron los grupos de ingeniería del IA-UNAM y de CIDESI, así como J. Fuentes por parte del IAC.

ESPECTRÓGRAFO PARA GREGOR

M. Collados.

A. Calcines, J.J. Díaz, E. Hernández, R. López y E. Páez.

Introducción

El IAC está construyendo un espectrógrafo de uso común para el telescopio GREGOR, ubicado en el OT. Este instrumento está diseñado especialmente para la obtención de datos espectropolarimétricos de alta resolución espacial, espectral y temporal en el infrarrojo cercano. Para ello, se usará una cámara rápida basada en un sensor TCM-8600 de 1024 x 1024 píxeles, capaz de adquirir hasta 30 imágenes por segundo. El polarímetro está integrado en el espectrógrafo y usa cristales líquidos ferroeléctricos, que se caracterizan por su alta velocidad de transición entre estados. Este conjunto formado por el detector y el polarímetro constituye el denominado Tenerife Infrared Polarimeter-II (TIP-II), actualmente en operación en el telescopio VTT del OT, y que será trasladado a GREGOR una vez este telescopio entre en operación, permitiendo mejorar en un factor 2 la resolución espacial alcanzada actualmente. El espectrógrafo ha sido diseñado expresamente para optimizar las prestaciones de TIP-II. Su instalación en el observatorio se ha retrasado por motivos técnicos, todavía no resueltos actualmente, relacionados con la fabricación del espejo primario del telescopio. Aún no se sabe cuándo estará operativo el telescopio. Es posible que temporalmente se instale el espejo de respuesto de la misión Sunrise (de 1 m de diámetro), a la espera de que se termine de fabricar con éxito el espejo de 1,5 m. La primera luz con este espejo temporal podría ocurrir a principios de 2009. Mientras tanto, se terminarán de hacer en los laboratorios del IAC las pruebas de todos los elementos mecánicos y ópticos y se acabará de desarrollar el software de comunicaciones con todos los dispositivos del telescopio GREGOR. El espectrógrafo se instalará en el telescopio durante el verano de 2008 y se alineará con luz artificial. Posteriormente, se cubrirán convenientemente todas las piezas a la espera de tener luz solar cuando se instale un espejo primario.

Evolución del Proyecto

Pruebas en laboratorio

A lo largo de 2008 se han llevado a cabo diversas pruebas en laboratorio para verificar el comportamiento de la óptica, de los motores, la estabilidad del espectrógrafo y el software de control.

Instalación parcial del espectrógrafo en el telescopio

Durante el último trimestre se instaló el espectrógrafo en el telescopio y se ha hecho un alineado preliminar.

NAHUAL – ESPECTRÓGRAFO INFRARROJO ECHELLE DE ALTA RESOLUCIÓN

E. Martín Guerrero.
M. Amate, J. Fuentes y D. Sosa.

P. Esparza (Univ. La Laguna).

Consortio: Thüringer Landessternwarte Tautenburg (Alemania), INAF-Obs. de Arcetri (Italia), SIM-Univ. de Lisboa (Portugal), National University of Ireland (Irlanda), Dublin Inst. for Advanced Studies (Irlanda), IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias).

Introducción

El objetivo científico principal del instrumento es permitir la obtención de medidas de velocidad radial con muy alta precisión (1 m/s) en el infrarrojo cercano. Esto posibilitará la detección de exoplanetas de baja masa alrededor de estrellas frías y enanas marrones.

Algunos resultados relevantes

- Aceptación del trabajo realizado por Fractal.
- Contratación de un Ingeniero Mecánico.
- Primera edición del documento: "NAHUAL: The GTC Habitable Planet Finder".
- Realización del V Meeting de NAHUAL (Fuerteventura).
- Congelación de los modos de observación: sólo modo principal.
- Revisión externa del Diseño Óptico Conceptual y Diseño Mecánico Conceptual.
- Creación de grupos de trabajo para desarrollar casos científicos y definir tipo de ciencia a realizar con el instrumento.
- Creación de un grupo de trabajo para fijar el sistema criogénico.
- Desarrollo del primer modelo termomecánico de NAHUAL (no concluido).
- Primer taller de trabajo en INAF-Obs. de Archetri.
- Visita a "Criotec Impianti" posible proveedor de sistema criogénico
- Redacción de los acuerdos con los socios del proyecto (MoU's).
- Compra de los prismas para la dispersión cruzada.
- Contactos con Teledyne para la adquisición del detector (posiblemente un H2RG).

Evolución del Proyecto

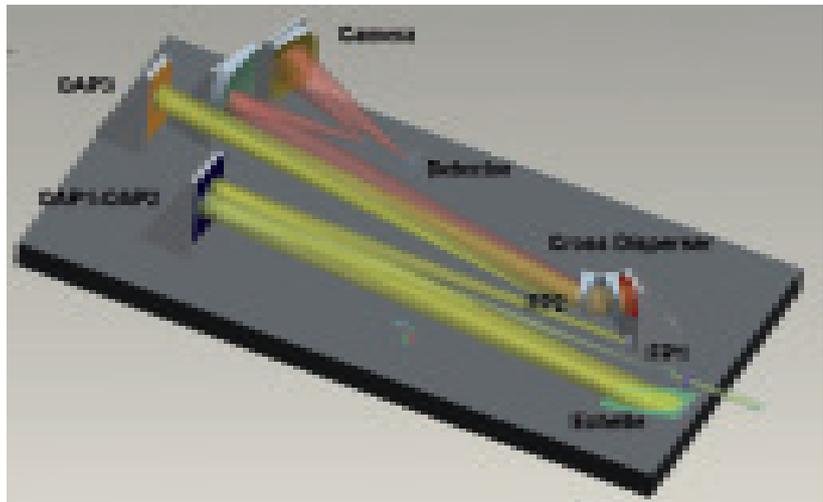
Estado actual del diseño

Se acuerda simplificar los modos de observación y dejar sólo el "Modo Principal" (de ahora en adelante único modo del instrumento), esta decisión obedece a la prioridad dada a la alta resolución y alta estabilidad, necesarios para conseguir la principal meta: medir velocidades radiales con alta precisión.

Esta decisión permite cerrar y revisar el diseño óptico conceptual y revisar el diseño mecánico conceptual. Otra consecuencia de esta decisión es la simplificación del diseño mecánico, (prácticamente desaparecen los mecanismos internos al criostato), lo que permite concentrar los esfuerzos en lograr un sistema criogénico altamente estable.

Actualmente están en marcha las siguientes actividades:

- Desarrollo del modelo termomecánico y estudio de las opciones para la realización del criostato.
- Verificación de la posición final del instrumento en la plataforma Nasmyth de forma que no monopolice el uso de la misma.
- Pulido de los prismas de dispersión cruzada.
- Análisis del plegado actual de la óptica del instrumento.



Arriba:
NAHUAL Cold Bench.

Derecha:
Cross Dispersion
Prism.



REFORMAR CAIN

**A. Oscoz,
E. Páez, E. Cadavid y Mantenimiento
Instrumental.**

Introducción

La Cámara Infrarroja CAIN es un instrumento de observación diseñado y construido en el Área de Instrumentación del IAC destinado a uso común en el telescopio Carlos Sánchez. El astrónomo gobierna la Cámara a través de una estación de trabajo Sun en la que se ha implementado el software de la interfaz de usuario.

Con una visión general, la Cámara Infrarroja, en su conjunto, consta físicamente de tres grandes elementos diferenciados:

- Un criostato de nitrógeno líquido (LN2) contiene el elemento sensible de la Cámara: un detector de HgCdTe, denominado Nicmos 3, sensible de 1 a 2.5 micras (de J a K) con un formato de 256 x 256 píxeles. Cada píxel tiene 40 micras de lado con una resolución aproximada de 0.5 segundos de arco por píxel.

- Delante del detector se localizan dos ruedas, una con ocho filtros espectrales y la otra con dos cámaras, diversos elementos ópticos y un cierto número de sensores de presión y temperatura. Externamente a la ventana del criostato se sitúa el microco encargado de separar el haz de luz visible del infrarrojo.

- La interfaz de usuario -desarrollada en una estación de trabajo Sun- se comunica por fibra óptica con el controlador del detector y por línea serie con los mecanismos de las ruedas de filtros, cámaras, y motores del microco. Además contempla una comunicación con el PC de control del telescopio que permite recoger información constante de los parámetros de cada medida.

Algunos resultados relevantes

Se finaliza CAIN-3, con software en Linux, nueva interfaz y nuevo detector.

Evolución del Proyecto

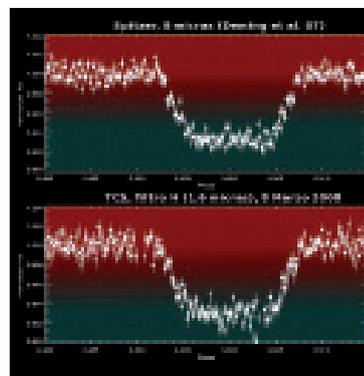
Las reformas más importantes del telescopio TCS, además de FastCam y de diversos cambios en la sala de control, han sido para CAIN, que ha llegado a su tercera versión.

El instrumento CAIN-2, del telescopio TCS, funcionaba mediante una Sun Sparc-20 con sistema

operativo Solaris-OpenWindows 5.0. Este conjunto resultaba absolutamente obsoleto, así como delicado, ya que no existía repuesto para el mismo. Por tanto, se procedió a su actualización para poder utilizar PC's estándar con Linux, con mejores prestaciones y con posibilidad de repuesto. Dicha actualización supuso una migración del software de usuario actual además de un cambio en la tarjeta de comunicaciones (de una tarjeta SBUS a una tarjeta PCI). Todo ello implicaba tres grandes modificaciones:

- Un cambio de máquina: de una Sun Solaris 5.7 a un PC Linux Red Hat.
- Un cambio de la tarjeta de comunicaciones: de un bus SBUS a un bus PCI.
- Un cambio en el entorno gráfico de ventanas: de OpenWindows a Motif.

La calidad de CAIN se puede apreciar en esta comparación Spitzer con observaciones realizadas por R. Alonso et al.



Por un lado, se observó que el detector había degenerado bastante, de manera que tardaba un tiempo inaceptable en llegar al régimen de linealidad tras el inicio de las exposiciones, lo que afectaba a las imágenes. Debido a las características del diseño, no se pueden instalar detectores diferentes, por lo que se optó por sustituir el detector por otro igual. Este nuevo detector, a pesar de tener un mayor número de píxeles en malas condiciones, ofrece una respuesta mucho mejor que el anterior, lo que se ha notado en la calidad de las imágenes. Por otro lado, se ha procedido a migrar CAIN del entorno Unix a Linux. Este proceso, que ha presentado numerosas dificultades y que ha llevado doce meses de trabajo, ha conseguido unos resultados finales perfectos, con una interfaz de usuario muy mejorada y con la posibilidad, que antes no existía, de poder realizar la observación, la visualización y la reducción en el mismo ordenador, con las ventajas que ello supone. Todo ello ha ido acompañado de mejoras y nuevas versiones del paquete propio de reducción de los datos de CAIN-3 en IRAF y de la modificación del modo en que CAIN graba los datos, pasándose al promedio en lugar de a la suma, lo que facilitará la tarea de los astrónomos.

JRA6 (JOINT RESEARCH AGREEMENT) – OPTICON

**F. Garzón.
M. Insausti y J.L. Rasilla.**

Introducción

Dentro del Proyecto Europeo OPTICON, el IAC forma parte de la Acción JRA6 (Joint Research Action 6, VPHGs Development for NIR and Optical Astronomical Instrumentation) junto a instituciones de la ESO, Observatorio de Brena (Italia) y el Centro Espacial de Lieja (Bélgica). Bajo la acción JRA6 se agrupan tres objetivos: el análisis del posible uso de las redes holográficas de volumen (VPHG) en criogenia, usos innovadores de las HPHGs en el rango óptico del espectro y el desarrollo de nuevos procesos y materiales para la fabricación de VPHGs.

Concretamente, el IAC es el responsable del estudio del comportamiento criogénico de las VPHGs siendo su hito final la consecución de VPHGs de grado científico que puedan ser utilizadas en instrumentos criogénicos funcionando en el infrarrojo cercano. El logro de este hito tiene una importante repercusión para el diseño de espectrógrafos infrarrojos ya que las VPHGs tienen una mayor eficiencia que las redes de difracción convencionales y su tamaño no está limitado por fabricación al contrario de las redes usadas hasta el momento lo será importante en el diseño de instrumentación para los futuros grandes telescopios.

Según los resultados obtenidos, las VPHGs analizadas se han comportado bien en las pruebas de supervivencia a ciclos térmicos, además han conservado sus características dispersivas y no se ha detectado un aumento de degradación del frente de onda. Teniendo en cuenta estos resultados un conjunto de redes de grado científico fueron diseñadas con el fin de comprobar los resultados obtenidos con los prototipos, compararlas con las redes actuales del instrumento EMIR y utilizarlas en ese mismo instrumento cuando se encuentre en uso.

Las redes científicas están en proceso de manufactura en CSL/Athol.



Medida criogénica de una VPHG en laboratorio.

Algunos resultados relevantes

- Definición de prototipos de VPHGs.
- Fabricación de prototipos.
- Pruebas de dispersión, eficiencia y error de frente de onda a temperatura ambiente.
- Pruebas de supervivencia en ciclos de caliente a frío.
- Pruebas de dispersión, eficiencia y error de frente de onda a temperatura ambiente.
- Definición de VPHGs científicas.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TELESCOPIOS

ESTUDIOS DE DISEÑO DEL FUTURO TELESCOPIO GIGANTE EUROPEO - ELT (EXTREMELY LARGE TELESCOPE)

M. Reyes, C. Muñoz-Tuñón, J.M. Delgado, H. Vázquez, S. Chueca, M. Núñez, T. Viera, Y. Martín, I. Montilla, E. Hernández, M. Barreto, J.J. Fuensalida, T. Varela, B. García, S. Rueda, J. Calvo y A. Alonso.

A. Schumacher y J. Castro (GRANTECAN S.A.).

ESO (Garching, Alemania), MEDIA (Madrid), JUPASA (Toledo), CIMNE (Barcelona), ITER (Tenerife), UPC (Barcelona), LUAN (Niza, Francia), LAM (Marsella, Francia), Arcetri (Florencia, Italia), FOGALE (Nimes, Francia), TNO (Delf, Países Bajos).

Introducción

Encabezados y coordinados por ESO, un total de 27 centros de astrofísica y empresas del sector tecnológico de Europa, incluyendo el IAC, han firmado un contrato con la Comisión Europea dentro del sexto programa marco europeo (FP6), para realizar estudios de diseño y desarrollos tecnológicos orientados al futuro Telescopio Gigante Europeo (ELT), con el propósito de analizar la viabilidad de conceptos y validar las tecnologías a aplicar. El objetivo del FP6 es coordinar los esfuerzos en investigación y desarrollo europeos y ser la herramienta financiera que permita crear un mercado europeo de ciencia y tecnología. Los estudios a desarrollar abarcan diversos campos relacionados con la astrofísica: control del frente de onda, óptica, mecánica, cúpula y viento, Óptica Adaptativa, operaciones, instrumentación, y caracterización de sitios.

Algunos resultados relevantes

Enero: Finalización de la obra civil del WEB en el OT. IAC.

Abril: Integración definitiva del MASS-DIMM en el ORM. Puesta en funcionamiento de los 4 MASS-DIMM en sus respectivos sitios. ORM, Chile, Argentina, Marruecos.

Mayo: Integración en el OT de la cúpula inflable del WEB, IAC.

Simulaciones del Reconstructor de Fourier en el Simulador de Óptica Adaptativa de ESO para el ELT (OCTOPUS) con obstrucción central, y comparación con otros reconstructores. ESO (Alemania). Integración de DIPSI en APE en el laboratorio de ESO. ESO (Alemania).

Junio:

Finalización del contrato de pruebas en túnel de viento de capa límite de los modelos a escala de la cúpula del ELT. Aachen (Alemania).

Presentación de resultados del WEB, APE, Estudios de cúpula y Viento, Óptica Adaptativa y caracterización de sitios en el Congreso SPIE. Marsella (Francia).

Julio: Primera campaña de medidas en laboratorio con DIPSI integrado en APE. ESO (Alemania).

Octubre: Finalización de la fabricación de la mecánica del WEB. JUPASA (Toledo).

Noviembre:

Simulaciones del Reconstructor de Fourier en el Simulador de Óptica Adaptativa de ESO para el ELT (OCTOPUS), con obstrucción central y araña. ESO (Alemania).

Integración del primer actuador (PACT) del WEB en el banco de pruebas de control del IAC. IAC.

Diciembre:

Primera campaña de medidas en el telescopio VLT con APE y DIPSI. Paranal (Chile).

Pruebas de aceptación en fábrica del WEB, incluyendo el control de ejes. JUPASA (Toledo).

Reunión de Progreso del WP08000, para su finalización. IAC.

Evolución del Proyecto

El Active Phasing Experiment (APE) es uno de los proyectos de más envergadura dentro de los estudios del ELT. Su objetivo es la prueba en telescopio (VLT) y comparación de cuatro técnicas de sensado de frente de onda para cofaseo de espejos segmentados. El IAC es responsable de dos sensores de frente de onda, uno basado en curvatura (DIPSI) y otro, desarrollado con el Laboratorio de Astrofísica de Marsella, basado en coronografía Mach-Zehnder (ZEUS). En enero de 2008 se entregó DIPSI en ESO-Garching, para su posterior integración en APE por parte de ESO en mayo de 2008.

El principal esfuerzo por parte del IAC se ha concentrado en la integración del software del algoritmo de DIPSÍ en ESO, y en la realización de las tres campañas de pruebas de DIPSÍ con APE, de una semana de duración en julio, agosto y septiembre respectivamente. En estas campañas se verificaron los algoritmos para la medida de piston, el algoritmo mono-lambda (piston inferior a pocos cientos de nm) y el algoritmo multi-lambda (piston entorno a 1 micra), en diferentes condiciones de turbulencia atmosférica. Sin embargo, debido a falta de tiempo de laboratorio, no fue posible la verificación del algoritmo de medida de tip-tilt, ni del algoritmo multi-lambda de dos filtros para aumentar aún más el rango de captura, ambos demostrados en simulaciones.

En la imagen se muestra un ejemplo de los resultados de medida de piston, pasando en una sola medida de un piston entre +/-200 nm a uno por debajo de 20 nm rms.

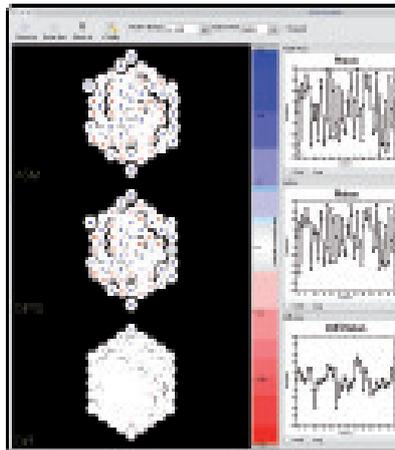


Imagen de resultados de una medida de DIPSÍ en laboratorio. En la parte superior, la configuración inicial del espejo segmentado, con valores de piston que oscilan entre -200 y +200 nm. En el centro la medida de DIPSÍ, donde se aprecia el parecido con la configuración del espejo segmentado. En la parte inferior se muestra la diferencia entre ambas, el resultado de aplicar la corrección medida por DIPSÍ. En una sola iteración el piston queda por debajo de 20 nm rms.

tecnologías para el ELT del sistema de alineado de segmentos (sensores de borde, actuadores y control en tiempo real) sometidos a condiciones de viento real en el OT. El instrumento consta de dos subsistemas mecánicos principales: el simulador de espejo segmentado (HPA) y el simulador de telescopio (TSA). Entre enero y septiembre de 2008 se realizó la fabricación en JUPASA de todos los subsistemas del TSA. En octubre se llevó a cabo el montaje mecánico de todo el instrumento, y entre noviembre y diciembre se integró el sistema de control hidráulico de elevación y todo el sistema de control de los mecanismos de azimut, elevación. El 16 de diciembre se pasaron con éxito las pruebas de aceptación en fábrica del WEB.

En la imagen se muestra el WEB completamente montado en JUPASA, durante las pruebas de aceptación.



Imagen del WEB en JUPASA, completamente montado y con el control de ejes integrado.

Desde el punto de vista del control, una vez recibida la documentación final de diseño de los actuadores, el IAC completó el diseño de arquitectura de control y las simulaciones de prestaciones en lazo cerrado. La electrónica de control se ha probado completamente, incluyendo las interfases con sensores de borde y actuadores. En septiembre se verificaron los actuadores esclavo en JUPASA, integrándolos en un HPA, y en noviembre se llevó a cabo con TNO la integración del primer actuador de posición en un banco de pruebas diseñado por el IAC para la caracterización del sistema y el diseño del lazo cerrado.



Banco de pruebas del actuador y sensor del borde del WEB, para la caracterización del sistema y el diseño del control en lazo cerrado.

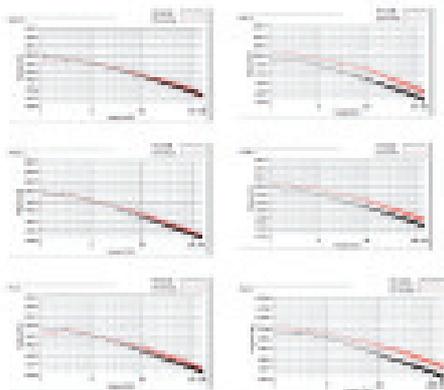
Entre octubre y noviembre de 2008 se realizó la integración de APE en uno de los focos Nasmyth del UT3 del VLT, en Paranal (Chile). Hay que destacar que es el primer instrumento en cuyo desarrollo ha participado el IAC que se integra en un telescopio de 8 m de la ESO. La primera campaña de medidas en diciembre ha dado excelentes resultados para DIPSÍ con datos de una única noche de observación. El pistón residual en lazo cerrado se situó por debajo de 5 nm rms en diferentes condiciones de seeing.

El Wind Evaluation Breadboard (WEB) es otro experimento cuyo propósito es la prueba de

El IAC participa en los diseños de cúpula para el ELT y estudios de efectos del viento en su interior. Una vez cerrados los diseños de los modelos de cúpula esférica y cúpula poligonal, la actividad en 2008 se concentró en los estudios del efecto del viento, tanto mediante simulaciones numéricas en dinámica de fluidos como con pruebas de modelos de cúpula a escala en túnel de viento.

El objetivo de las pruebas en túnel de viento y de las simulaciones ha sido evaluar el grado de protección que ofrecen los diferentes conceptos de cúpula (esférica y poligonal) al telescopio, en cuanto a atenuación de la velocidad media del viento y de la turbulencia en el interior, con diferentes condiciones de pantallas de viento, ventanas de ventilación y ángulos de ataque del viento.

A continuación se muestra el espectro de potencia de velocidad de turbulencia dentro de los dos tipos de cúpula a tres alturas equivalentes al M2, media altura y M1 del ELT. Se puede apreciar que dicho espectro es más parecido al que habría sin cúpula en el caso de la cúpula esférica, lo que significa que la forma poligonal perturba más el flujo entrante.



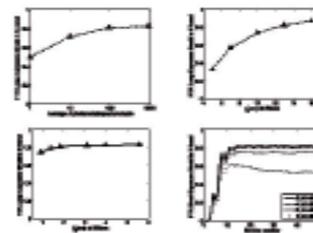
Comparación de la PSD en el interior (rojo) y en el exterior (negro) de la velocidad de turbulencia en la cúpula tipo esférica (izquierda) y la cúpula tipo poligonal (derecha), en función de la altura en el interior: nivel del espejo secundario (arriba), nivel medio de la estructura del telescopio (en medio), nivel del espejo primario (abajo).

En Óptica Adaptativa (AO), el IAC está involucrado en la investigación de algoritmos de reconstrucción que reduzcan la carga computacional, y en la evaluación de plataformas hardware de tiempo real basadas en FPGAs para la implementación de dichos algoritmos. En la primera mitad de 2008 se completó la simulación y pruebas en laboratorio del efecto de la aritmética entera (de las FPGAs) en la resolución de los algoritmos y de todas las etapas de un sistema de Óptica Adaptativa.

Tomando como límite la desviación mínima del fondo de ruido medido en el laboratorio, se ha

evaluado el error que se produce por el truncamiento en los cálculos enteros, demostrando que dicho error estaba por debajo del límite incluso usando sólo 5 bits para representar la parte fraccional. En particular, se analizó el efecto del redondeo en el cálculo del reconstructor en el sistema AO de laboratorio, y los resultados muestran que el error se puede considerar despreciable. Los resultados han sido publicados en el congreso de SPIE.

Se ha continuado con el desarrollo del Reconstructor de Transformada de Fourier (FTR), centrándose el esfuerzo en el caso de Óptica Adaptativa Simple (Single Conjugate, SCAO) y la simulación detallada del ELT. Se han realizado pruebas exhaustivas del FTR con el simulador de AO de la ESO (OCTOPUS), para el caso del ELT de $D=42$ m con 84×84 subaperturas, una obscuración central de $0.28D$. Los resultados en lazo cerrado se muestran a continuación. Se compararon dichos resultados con los de otros reconstructores (clásico y disperso) también probados en OCTOPUS concluyendo que las prestaciones en términos de Strehl son similares, mejorando para el FTR en casos críticos como baja señal.



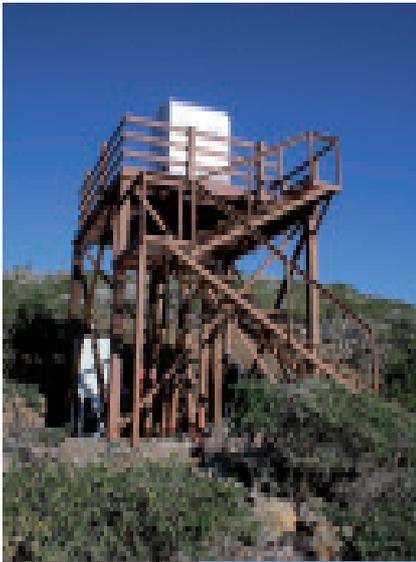
Resultados de las simulaciones del FTR en OCTOPUS. Arriba izquierda: long exposure (LE) strehl en función del flujo de la estrella guía. Arriba derecha: LE strehl en función del parámetro de Fried (r_0). Abajo izquierda: LE strehl en función del tiempo de coherencia de la turbulencia. Abajo derecha: strehl en el tiempo para diferentes casos de falta de registro entre el sensor de frente de onda y el espejo deformable.

Se completó además con buenos resultados la simulación en OCTOPUS de la araña del secundario, cuya anchura divide el dominio de medida en cuatro secciones desconectadas, dificultando la reconstrucción.

En el marco de la caracterización de sitios para el ELT, el IAC ha dedicado muchísimos recursos y un gran esfuerzo en la puesta en funcionamiento de los cuatro instrumentos MASS-DIMM para la caracterización de los sitios candidatos al ELT (Chile, Argentina, Marruecos y ORM). Tras la entrega por parte del IAC de los 4 DIMMS a sus respectivos sitios, en el primer trimestre se realizaron dos tareas principales: el cierre del desarrollo y pruebas del software de toma de medidas y análisis del DIMM; y la puesta a punto de la infraestructura del

sitio del ORM (la Degollada del Hoyo Verde), en concreto la integración de la cúpula, la montura, el instrumento MASS-DIMM y toda su electrónica de control y de comunicaciones. Se contrató un técnico adicional para dar soporte a dicha infraestructura.

Desde abril de 2008 el instrumento se encuentra operando de forma rutinaria en el ORM. De la misma forma, los otros tres sitios entraron en fase de medidas rutinarias entre abril y mayo de 2008, tras actualizar su software de procesado y completar la infraestructura en Aklim (Marruecos) y Macon (Argentina). Desde entonces se están recopilando datos en los cuatro sitios, con instrumentos cuya previa calibración garantizará que dichos datos sean directamente comparables. El IAC se ha encargado de crear un sitio para el almacenamiento común de los datos y establecer los procedimientos de procesado estándar, y ya ha comenzado la comparación de resultados. La campaña de medidas para el sitio del ELT continuará a lo largo de 2009.



El MASS-DIMM del IAC instalado en la torreta en la Degoyada del Hoyo Verde en el ORM, con el telescopio GTC al fondo.

EST: TELESCOPIO SOLAR EUROPEO (THE LARGE APERTURE EUROPEAN SOLAR TELESCOPE) (4E0208)

M. Collados.

A. Calcines, A. Pérez, C. Grivel, E. Hernández, E. Páez, F. Gracia, F. Tenegi, H. Mangharam, H. Socas, J.J. Díaz, J. Peñate, J.L. Rasilla, J. Sánchez-Capuchino, L.F. Rodríguez, R. López e Y. Martín.

Introducción

El Proyecto consiste en la elaboración de un estudio de diseño para el desarrollo del futuro gran Telescopio Solar Europeo EST, que mantenga a Europa en la vanguardia de la investigación en Física Solar.

El resultado del estudio consistirá en un diseño conceptual que demuestre la viabilidad científica, técnica y económica de un telescopio y su instrumentación, optimizados para el estudio del acoplamiento magnético entre la Fotosfera y la Cromosfera solar. Para ello es necesario estudiar en detalle las propiedades térmicas, dinámicas y magnéticas del plasma a diferentes alturas, por medio de imágenes en múltiples longitudes de onda. La instrumentación deberá por tanto tener capacidad de imagen en varias longitudes de onda, espectroscopía y espectropolarimetría. Una de las características principales de la instrumentación del EST es el elevado número de canales en visible e infrarrojo que deberán observar simultáneamente, teniendo en cuenta la eficiencia en el flujo de fotones así como capacidades de diagnóstico relativas a otros telescopios solares, existentes o futuros, terrestres y espaciales. Con este fin, los instrumentos del EST tendrán que estar dotados de una alta resolución espacial y temporal, de manera que puedan generar espectros bidimensionales.

El proyecto involucra a 29 socios entre instituciones científicas y empresas de campos tecnológicos afines, de 14 países diferentes, con el IAC como institución coordinadora. Entre todos ellos se cubre la experiencia necesaria en los campos técnicos y científicos requeridos para realizar este estudio de diseño, optomecánica, control térmico, óptica adaptativa, instrumentación, control, etc.

Algunos resultados relevantes

Febrero:

Fecha oficial de inicio del Proyecto.

Reunión de arranque (kick-off) del Proyecto en Madrid.

Julio: Distribución del primer borrador del documento de requerimientos científicos.

Septiembre: Edición de la página Web del Proyecto.

Diciembre:

Distribución del segundo borrador del documento de requerimientos científicos.

Reunión del Comité Técnico del proyecto para la preparación del fin de fase I.

Evolución del Proyecto

Durante el periodo comprendido entre el arranque del proyecto (1) en febrero de 2008 hasta final de año, las tareas desarrolladas por el IAC como institución coordinadora del Proyecto se han concentrado en gran medida en la organización y planificación de las tareas, esto incluye la preparación de plantillas de documentación, sistema de base de datos, página Web, etc.



*Todos los socios.
Reunión de arranque del Proyecto, febrero, Madrid.*

Para estructurar el trabajo a realizar en los tres años de duración del estudio de diseño objeto de este Proyecto, se ha dividido la planificación en tres fases principales:

- Fase I: Definición de requerimientos y alternativas.
- Fase II: Análisis de trade-off entre las alternativas seleccionadas.
- Fase III: Elaboración y revisión del diseño y las especificaciones finales.

Asimismo las tareas repartidas entre los socios se enmarcan en 11 paquetes de trabajo (Work Packages: WP) con responsables de diferentes instituciones identificados para cada uno de ellos.

Otra tarea responsabilidad del IAC llevada a cabo en este periodo, ha sido la construcción de dos shabar (medidor de centelleo solar) cuya finalidad es la realización de medidas de caracterización de sitio en ambos Observatorios, el OT y el ORM.



Shabar: Fabricación mecánica.

En la primera mitad del año se concentraron además muchos esfuerzos en obtener un borrador del documento de requerimientos científicos, que a su vez dio lugar al documento de especificaciones técnicas elaboradas por el grupo de Ingeniería de Sistemas. Este era el punto de partida para elaborar las alternativas de diseño en cada WP. Durante los meses finales la fase I, el grupo integrante del Comité Técnico tuvo la responsabilidad de recopilar el trabajo realizado en cada WP, revisar y preparar su contenido para ser discutido durante la reunión de Fase I en enero de 2009.



Reunión del Comité Técnico, diciembre, Madrid.

Es de destacar la implicación y motivación de los socios en el avance de las tareas, máxime tratándose de tantas instituciones de distinta naturaleza y pertenecientes a 14 países diferentes.

ASTROFÍSICA DESDE EL ESPACIO

PARTICIPACIÓN DEL IAC EN LAS MISIONES ESPACIALES HERSCHEL Y PLANCK SURVEYOR

(411499 - 411000 – 4E3702 - 4E4202 – 4E2604 – 4E4804- 3E5407)

Misión HERSCHEL

- Instrumento PACS

J. Ceba Nogué.

J.M. Herreros, M.F. Gómez Reñasco y S. Iglesias.

- Instrumento SPIRE

I. Pérez Fournon.

J.M. Herreros y E. Hatziminaoglou.

Misión PLANCK SURVEYOR

- Instrumento LFI

R. Rebolo.

J.M. Herreros, M.F. Gómez Reñasco, S. Hillebrandt, R. Hoyland y R. Rodríguez.

Introducción

Desde el año 1996 el IAC viene participando en la concepción y desarrollo de la carga útil científica de las misiones espaciales Herschel Space Observatory y Planck Surveyor de la Agencia Espacial Europea (ESA). Ambas misiones forman parte del programa Horizon 2000 y se desarrollan en el ámbito de un solo proyecto. Los satélites realizarán sus observaciones en el rango de longitudes de onda del infrarrojo, submilimétrica y milimétrica, desde órbitas similares alrededor del punto de Lagrange L2. El presente concepto de misión contempla lanzar ambos satélites con un lanzador tipo Ariane 5, estando previsto su lanzamiento para abril de 2009.

HERSCHEL es una misión tipo observatorio multi-usuario que explorará el espectro electromagnético en el rango 60-670 micras (480 GHz – 5 THz). En noviembre de 1993 se seleccionó para ser la cuarta misión "piedra angular" en el programa Horizon 2000.

En 1996 PLANCK fue seleccionada como la tercera misión de tamaño medio del programa Horizon 2000. Es del tipo IP (Investigador Principal), de exploración del cielo. Su objetivo principal es obtener nueve mapas de todo el cielo en el rango de frecuencias 30-900 GHz con una resolución y sensibilidad sin precedentes. A partir de estos mapas se podrá cartografiar las fluctuaciones en el Fondo Cósmico de Microondas (FCM), radiación interpretada como el remanente de la fase inicial del Universo que se conoce como Big-Bang.

Participación del IAC

Los grupos del IAC que estudian el Fondo Cósmico de Microondas y el Origen y Evolución de las Galaxias precisan poder acceder a los datos que obtendrán los satélites HERSCHEL y PLANCK para mantener una actividad científica de primera línea en estos campos. A tal fin, los científicos e ingenieros del presente Proyecto son miembros, desde hace más de diez años, de los Consorcios Internacionales que se han formado para proporcionar a la ESA los instrumentos PACS (Photoconductor Array Camera & Spectrograph) y SPIRE (Spectral and Photometric Imaging Receiver) para el satélite HERSCHEL y el instrumento LFI (Low Frequency Instrument) para PLANCK. Estos instrumentos presentan algunos desafíos tecnológicos de primera magnitud que conciernen campostando diversos como las tecnologías de recepción en microondas, sistemas de criogenia o tecnologías de procesamiento y compresión de datos.

El IAC es responsable de suministrar al Consorcio del instrumento LFI de PLANCK:

- el equipo electrónico REBA (incluye las unidades DPU, SPU, DAU y PSU)
- el software de arranque, los controladores de los dispositivos hardware (drivers) y la aplicación de vuelo
- el compresor de a bordo
- el descompresor de Tierra

Además, el IAC realiza el diseño del conmutador de fase de los híbridos de los radiómetros de 33 y 44 GHz, y da apoyo, en estos canales, a la ingeniería de microondas. Por otra parte participa en la integración y verificación del Instrumento, y contribuye al diseño y desarrollo del DPC del LFI (Centro de Control del Instrumento).

El IAC es responsable de suministrar al Consorcio del instrumento PACS de HERSCHEL:

- el equipo electrónico SPU (incluye las unidades SPU-SWL, SPU-LWL, DAU y PSU)
- el software de arranque y drivers de vuelo

También el IAC colabora con los Consorcios que desarrollan los instrumentos PACS y SPIRE de HERSCHEL en la concepción y desarrollo de los ICC (Centros de Control de los instrumentos).

Descripción de los equipos REBA y SPU

El equipo electrónico REBA consta de: dos ordenadores, DPU y SPU, de altas prestaciones específicamente diseñados para satisfacer los requisitos de la misión PLANCK, que realizan las

funciones de control, gestión del tiempo de abordaje, procesado y compresión de datos del instrumento. Una unidad auxiliar que realiza las funciones de interfaz de comunicaciones con el satélite. Una unidad de adquisición de datos (DAU) que vigilará el estado de funcionamiento del equipo REBA. Una unidad de alimentación (PSU) que adaptará el suministro de potencia del satélite a las necesidades específicas del REBA y, el software de vuelo de bajo "Start-up o Boot software" y alto nivel "application software". Este sofisticado paquete de software permitirá inicializar el equipo, controlar y monitorizar el instrumento, procesar y comprimir los datos científicos con un algoritmo de compresión de datos diseñado a medida con el objeto de cumplir con los límites de velocidad de transferencia binaria impuestos por el sistema de comunicación Tierra - satélite.

El equipo electrónico SPU consiste en dos sofisticadas unidades de procesado de señal y compresión de datos, SPU-SWL y SPU-LWL, que incorpora la última tecnología electrónica disponible en el mercado y que permitirá alcanzar las máximas prestaciones de procesamiento demandadas por el instrumento. Una unidad de adquisición de datos pasiva (DAU) que permitirá de forma remota vigilar el estado de funcionamiento del equipo electrónico SPU. Una unidad de alimentación (PSU) que adaptará el suministro de potencia del satélite a las necesidades específicas de la SPU y, el software de vuelo de bajo "Start-up o Boot software". Como resultado de la experiencia adquirida en el satélite ISO, esta unidad ha sido considerada uno de los elementos clave para el buen funcionamiento del instrumento PACS, de ahí su importancia.

El Plan de Desarrollo del Proyecto

A continuación se resume las cinco fases que constituye el plan de desarrollo de los equipos REBA, SPU, software de arranque y librería de controladores de dispositivos (drivers):

Fase I: Fase de diseño preliminar, fabricación, montaje, integración y verificación de los Modelos de Ingeniería (EM) de REBA y SPU. Selección y aprovisionamiento de convertidores DC/DC comerciales, montaje e integración en los equipos. Diseño preliminar y desarrollo de ASICs. Especificación, diseño preliminar, codificación y pruebas funcionales de la versión 1 del software embarcado, incluida librería de funciones.

Fase II: Fase de diseño detallado, fabricación, montaje, integración y verificación de los Modelos Aviónicos (AVM) de REBA y SPU. Diseño y desarrollo de los convertidores DC/DC de vuelo. Diseño detallado y

desarrollo de prototipos ASICs (Application Specific Integrated Circuit). Diseño detallado, codificación y pruebas funcionales de la versión 1 del software embarcado y librería de funciones.

Fase III: Fase de calificación del diseño, fabricación, montaje, integración y verificación del Modelo de Calificación (QM) de REBA. Calificación del Software embarcado de vuelo y producción de la versión 2.

Fase IV:

a: Aprovisionamiento de componentes especiales, magnéticos, ASICs y PCBs con calificación espacio.
b: Fase de aceptación para el vuelo. Fabricación, montaje, integración y verificación de los Modelos de Vuelo y de Repuestos (PFM y FS) de REBA y SPU, incluido software.

Fase V: Fase de integración en HERSCHEL y PLANCK y de preparación para el lanzamiento.

Las Fases I, II, III, IV a y IV b están finalizadas y la Fase V se encuentra en curso.

Simultáneamente y de forma relacionada con estas cinco fases se desarrolla el software de vuelo de la aplicación científica, incluido el compresor, que sigue un modelo de desarrollo conforme a las normas ESA. De la misma manera lo hace el equipo de apoyo EGSE, hardware y software, que actúa de herramienta para permitir el desarrollo, verificación y validación del software, a su vez de proporcionar un entorno operacional representativo de las unidades de vuelo del instrumento y del satélite.

Este desarrollo de realización del software de vuelo se encuentra finalizado y en la actualidad se lleva a cabo su mantenimiento.

Algunos resultados relevantes

Finalizadas con éxito la integración y las pruebas de los instrumentos PACS y LFI en los satélites HERSCHEL y PLANCK respectivamente.

MEMORIA
IAC 2008

Evolución del Proyecto

A lo largo de 2008 se ha dado soporte, en todos los aspectos relacionados con el control, procesado y análisis de los datos, a los usuarios de operaciones del LFI que vienen participando en la integración y pruebas del satélite y, por otra parte, se ha continuado como estaba previsto con el mantenimiento del software de vuelo del instrumento. Por otra parte, a lo largo de todo el año 2008, se ha continuado participando en el DPC del LFI y en los centros de control y procesado ICC de PACS y SPIRE.

145

OPERACIONES DE COMUNICACIÓN ÓPTICA CON OGS (OPTICAL GROUND STATION – ESTACIÓN ÓPTICA TERRESTRE)

A. Alonso.

**P.A. Ayala, J.E. García, J.J. González, D. López,
J.A. Morrison y M. Reyes.**

Introducción

Actualmente las comunicaciones con satélites se basan fundamentalmente en el empleo de microondas ($n \approx 10^9$ Hz). El ancho de banda de las transmisiones usuales impone claras restricciones en el flujo de información manejable mediante estos sistemas. Es probable que la creciente limitación de espacio en las órbitas circumterrestres, así como el incremento en la demanda mundial de las telecomunicaciones signifique la saturación de los sistemas convencionales de microondas en un futuro próximo.

A partir de los años 60, y en previsión del mencionado problema comenzó a investigarse la posibilidad de usar frecuencias ópticas ($n 10^{15} \sim$ Hz) en las comunicaciones entre satélites, y entre satélites y estaciones terrestres. El gran avance registrado en el desarrollo de láseres de alta potencia ha convertido este tipo de comunicaciones en una realidad.

Además de la indudable ventaja del aumento del ancho de banda que permite incrementar el flujo de información, y eliminar las regulaciones restrictivas en el empleo de frecuencias, las comunicaciones ópticas tienen otras ventajas no desdeñables, como son las mayores garantías de confidencialidad en las transmisiones, y la disminución del peso, el volumen y el consumo de energía de los equipos de comunicaciones tanto espaciales como terrestres.

Aunque la tecnología relacionada con las comunicaciones ópticas en el espacio-atmósfera ha experimentado un desarrollo espectacular, la caracterización de los enlaces satélite-tierra está todavía en sus comienzos. Es en este campo, la OGS ha permitido llevar a cabo experimentos de gran importancia, ya que en las campañas iniciales ha demostrado una fiabilidad y una eficiencia superior a la de cualquier sistema desarrollado hasta el momento con el mismo propósito. Los resultados se están analizando en este momento y resultarán fundamentales para la validación de teorías y modelos de propagación de haces gaussianos en la atmósfera.

En 2008, se ha concluido el diseño de un sistema de Óptica Adaptativa para permitir enlaces

coherentes con el satélite TERRASAR-X, y se han llevado a cabo enlaces ópticos con éste satélite y con N-Fire para verificar el funcionamiento de sus terminales ópticos.

En 2009, se supervisará la instalación del sistema de Óptica Adaptativa en la caja de recepción del banco coudé sur. En lo que concierne a la astronomía, el telescopio de la OGS sigue siendo un banco de pruebas de instrumentos desarrollados tanto por la ESA como por el IAC.

Algunos resultados relevantes

Enero–febrero: Enlaces ópticos con el satélite N-Fire (USAF), para analizar la modulación del terminal óptico a bordo.

Junio: Soporte a Synopta GMBH en la campaña de medidas para el diseño del sistema de Óptica Adaptativa de OGS (Task 2 Report: OGS Upgrade Specification and implementation, CCN#1). Soporte al experimento de comunicación cuántica de la Universidad de Viena.

Julio: Actualización del sistema de seguimiento de satélites LEO para incorporar el control del láser Nd:Yag.

Julio–septiembre: Soporte al experimento ROSA: Simulación de un enlace Marte-Tierra con escalado de sistemas de detección.

Junio-noviembre: Entrenamiento anual del equipo de operaciones. Se han llevado a cabo experimentos de enlace con ARTEMIS para medir el patrón de campo lejano en el enlace descendente. Ha concluido satisfactoriamente el entrenamiento del nuevo operador de OGS.

Pendiente histórico: Envío de la documentación entregable del contrato de SMART-1.

Evolución del Proyecto

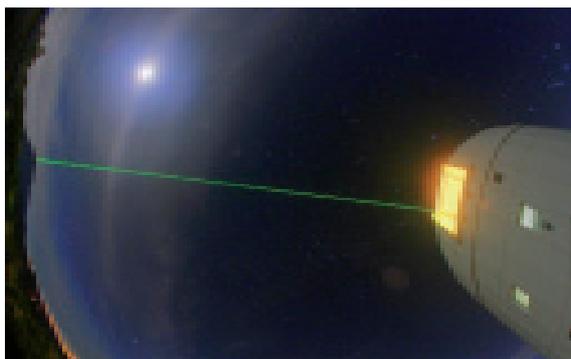
Se ha asistido al personal de la ESA en los trabajos de ajuste y calibración en los sistemas ópticos de la OGS durante sus visitas, y se ha procedido al mantenimiento y reparación de diferentes subsistemas de la estación, y al entrenamiento del equipo de operaciones.

En julio se ha modificado el sistema de seguimiento para incluir el control del láser Nd:Yag y facilitar los enlaces ópticos con satélites de baja cota.

En octubre se realizaron enlaces con TERRASAR-X que sirvieron para validar y depurar el SW modificado del sistema de seguimiento.

En junio se dio apoyo al experimento de enlaces cuánticos con fotones entrelazados de la Universidad de Viena entre OGS y ORM. Entre julio y septiembre se dio apoyo al experimento ROSA (Oerlikon) que simula un enlace descendente Marte-OGS con los detectores escalados entre el ORM y la OGS.

Durante 2008 prosigue la colaboración con el Proyecto AOFPGA para probar un sistema de Óptica Adaptativa en el telescopio de la OGS en el marco del Proyecto EDIFISE.



Calibración del sistema de simulación de terminal óptica para satélites LEO con un retroreflector instalado en el pico del Teide.

(Foto: Daniel López, Programa de Astrofotografía).

OBSERVACIÓN DE BASURA ESPACIAL

M. Serra-Ricart, J. De León y D. López.

Introducción

Este Proyecto es un subcontrato con el Instituto de Astrofísica de la Universidad de Berna (AIUB), Suiza, para realizar las observaciones necesarias para la búsqueda de basura espacial en las órbitas geoestacionaria (GEO) y de transferencia (GTO) con el telescopio OGS ubicado en el OT y que pertenece a la Agencia Espacial Europea (ESA).

Evolución del Proyecto

Durante el año 2008 se finalizaron con éxito las campañas de observación de la órbita de transferencia y seguimiento de objetos catalogados (Subcontrato E/17836-02 del Contrato 17836/01/D/HK ESOC-ESA "Extension of Optical Observation Capability for the Zeiss 1M Telescope" Fase 2). El porcentaje de buen tiempo sigue una tendencia similar a la observada en los últimos años: 2003- 81,35%, 2004-50,19%, 2005-66,66%, 2006-66,47%, 2007-71,5%, 2008-66%.

CONTRATO DE MANTENIMIENTO DE OGS

E. Cadavid, J. Morrison, J. J. González, J. E. García y P. Ayala.

Introducción

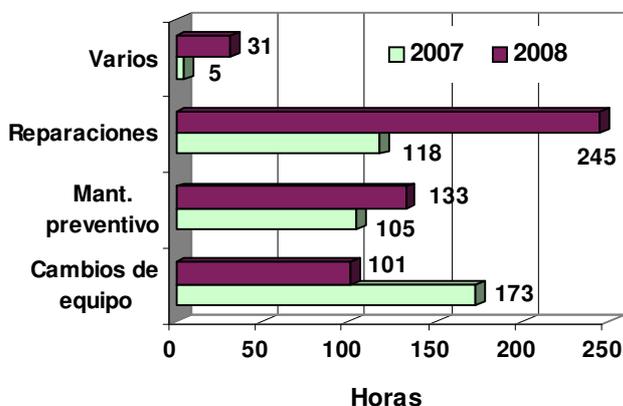
En año 2008 se realizaron las tareas rutinarias de mantenimiento previstas en el contrato con la ESA. En este año se cambiaron los conectores de señales del foco del telescopio, actividad prevista en el plan de actuación del mismo y se reparó el motor de accionamiento de los pétalos.

Evolución del Proyecto

A las tareas relacionadas con el Contrato de Mantenimiento de OGS se dedicaron un total de 510 h distribuidas conforme a los datos reflejados en el Gráfico.

En el apartado de reparaciones hay un fuerte aumento con relación al año 2007. Esto se debe que a lo largo del año tuvimos el cambio de los conectores de foco y el fallo en el mecanismo de apertura de los pétalos. Este último estaba provocado por un cortocircuito en una de las bobinas del motor de accionamiento. Se rebobinó el motor para solucionarlo. A finales del año se presentó un problema en el mecanismo de foco. Después de una revisión realizada por personal del Taller de Mecánica se concluyó que el problema esta ocasionado por el desgaste de los dientes de un engranaje. Estamos intentando localizar uno nuevo en el mercado para sustituirlo o, si no se consigue, se ordenará junto al Taller de Mecánica la fabricación de uno nuevo.

Distribución de trabajos en OGS 2007-2008



MEMORIA
IAC 2008
147

En los cambios de configuración es necesario desconectar los conectores del foco y al reconectarlos un pico de tensión puede dañar el codificador. Para evitarlo el procedimiento manda

cortar la alimentación general del telescopio con las consecuencias que esto trae. Para resolver este problema se propuso a la ESA montar un sistema que permitiría a apagar la alimentación del codificador del foco de forma independiente de la alimentación del telescopio mas se rechazo el cambio.

Cuanto a los cambios de equipo, hubo una reducción de las horas empleadas generada la planificación en el uso del telescopio.

Algunos resultados relevantes

El hito más relevante en 2008 fue el cambio de los conectores de señales y potencia del foco por otros más robustos.

IMaX – UN MAGNETÓGRAFO PARA SUNRISE

V. Martínez Pillet, M. Collados Vera, J.A. Bonet Navarro, I. Rodríguez Hidalgo, B. Ruíz Cobo, J. Marco, E. Ballesteros Ramírez, J. Piqueras y A. Alonso.

Introducción

IMaX (Imaging Magnetograph EXperiment) es uno de los instrumentos del Proyecto SUNRISE, que consiste en el lanzamiento desde la Antártida de un globo estratosférico para un vuelo de larga duración con un telescopio solar de 1 m de diámetro y su instrumentación. El Proyecto se ha desarrollado por un consorcio internacional en el que han participado Estados Unidos (HAO y LMSAL), Alemania (KIS y MPS, el MPS siendo institución IP de SUNRISE) y España (con este Proyecto). IMaX proporcionará datos del campo magnético solar con una calidad sin precedentes: se combinarán una alta cadencia temporal y la precisión polarimétrica preservando la integridad bidimensional de las imágenes. IMaX permitirá, pues, estudiar la evolución y la dinámica de los campos magnéticos solares con unas resoluciones espaciales y temporales jamás alcanzadas desde la Tierra.

La construcción de IMaX la ha llevado a cabo un consorcio de cuatro instituciones españolas con amplia experiencia en la participación en proyectos espaciales como son el IAC (Tenerife, institución IP de IMaX), IAA (Granada), GACE (Universidad de Valencia) y LINES/INTA (Madrid). Este consorcio ha trabajado en la realización de IMaX íntegramente en España y en colaboración con la industria

nacional. IMaX se basa en el empleo de retardadores ópticos de cristal líquido (ROCLs), un desarrollo tecnológico que el IAC ha llevado a cabo en colaboración I+D con la empresa TECDIS Display Ibérica.

Algunos resultados relevantes

Enero–septiembre: Se rediseña y fabrica el sistema de adquisición en IAA y se integra la electrónica de control en INTA.

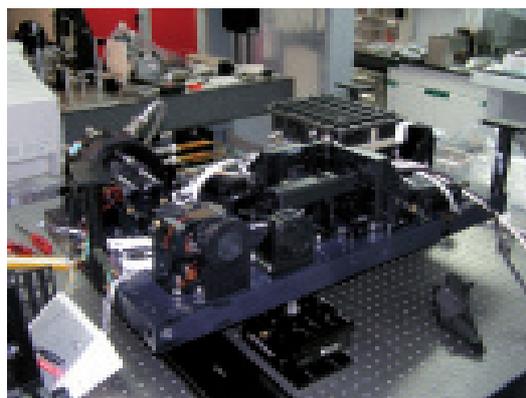
Abril: Óptica integrada.

Julio–diciembre: Integración y verificación del instrumento en INTA.

Noviembre: Comienza la preparación de las observaciones científicas de SUNRISE.

Evolución del Proyecto

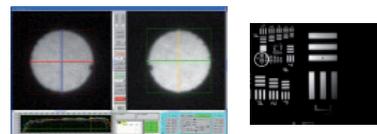
Entre febrero y abril se llevó a cabo la integración del banco óptico de forma satisfactoria.



Integración del instrumento en su banco óptico.

Durante la primera mitad del 2008 se han resuelto los problemas con la alimentación de alto voltaje del etalon y se ha rediseñado e implementado el sistema de adquisición para resolver los problemas surgidos con el diseño original.

A partir de septiembre se completó la integración de la electrónica y el software de control y el 24 de diciembre el instrumento quedó embalado para su envío a MPS (Lindau).



Primera luz de IMaX en el laboratorio. Test USAF se cumple el requerimiento establecido: El instrumento permite resolver 100 km en el Sol.

COSMOSOMAS

E. Cadavid, J. Morrison, J.J. González, J.E. García y P.A. Ayala.

Introducción

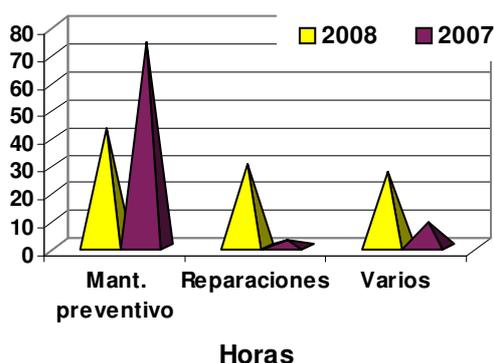
Este año está marcado por la desactivación del experimento COSMOSOMAS. Hasta marzo realizamos labores en COSMO10. Ese mes se solicitó que reactivásemos COSMO15 para realizar unas pruebas sobre la polarización de la radiación de fondo. El experimento se reactivó pero las pruebas no obtuvieron resultados satisfactorios por problemas en el criostato. A finales de junio cesaron las actividades.

Evolución del Proyecto

A lo largo de 2008 se emplearon por parte de Mantenimiento Instrumental un total de 99,5 h, lo corresponde a un aumento del 14% con relación al año anterior.

Esto se debe básicamente a las reparaciones y reformas que hicimos para reactivar COSMO15. En cuanto a las revisiones de mantenimiento preventivo, se realizaron hasta el cese de actividades.

Horas empleadas por MI en las distintas tareas 2007-2008



ARQUEOASTRONOMÍA (310793)

J.A. Belmonte Avilés.
C. Esteban López y N. Miranda Cáceres.

Colaborador del IAC: A. Aparicio Juan.

Y. Abd el Hadi; M. Shaltout (Helwan Obs., Egipto); L. Costa Ferrer (Independiente, España); J.L. Escacena (Univ. de Sevilla); M. Fekri (Univ. Minufiya, Egipto); C. González (UAM); O. González (Museo de la Ciencia y el Cosmos, Tenerife); M. Hoskin (Univ. de Cambridge, Reino Unido); D. Kolev (Inst. de Astronomía, Academia Bulgara); R. Mauricio (Historic Preservation Office, Micronesia); M.A. Molinero, A. Tejera (Univ. de La Laguna); S. Moret, J.L. Pérez Ballester (Univ. de Valencia); M.A. Perera (Cabildo de Lanzarote); R. Schlueter (UNED, España); M. Zedda (Soc. Archeofila Sarda, Italia).

Introducción

Este Proyecto tiene como objetivo fundamental determinar la importancia de la Astronomía como parte integrante de la cultura y de la civilización desde el Paleolítico a nuestros días. El interés del grupo se centra, en especial, en los pueblos del antiguo ámbito Mediterráneo desde el Atlántico al Oriente Medio, con una dedicación especial a España, su entorno geográfico inmediato y el Egipto antiguo. Sin embargo, también se tienen ramificaciones en el área del Pacífico y en Mesoamérica.

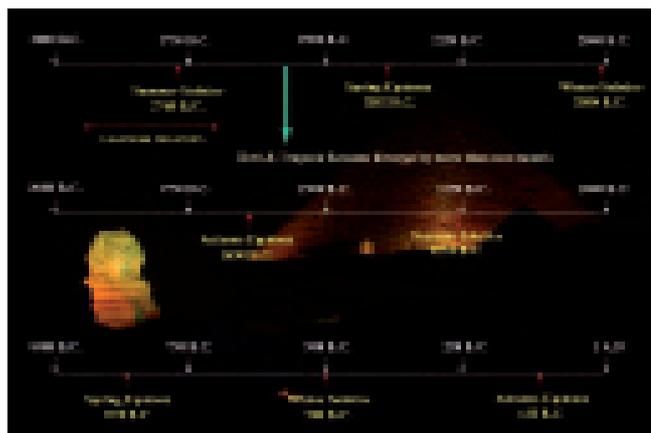
Algunos resultados relevantes

El calendario civil del Egipto antiguo era un calendario vago de 365 días sin años bisiestos, de forma que su día de Año Nuevo, llamado Wepet Renpet, se desplazaba de manera continua sobre el tapiz de las estaciones completando un ciclo en algo más de 15 siglos. Debido a esto, Wepet Renpet coincidía en ciertos momentos con las fechas claves del ciclo anual como solsticios y equinoccios (Ver Fig. 1). Nuestro trabajo sugiere que en estas épocas clave, se produjeron fenómenos sociales, políticos y religiosos sugerentes que llevaron a la erección de grandes monumentos que estuvieran orientados de manera simultánea a Wepet Renpet y al correspondiente fenómeno solar.

Hubo en particular tres momentos clave: 1) la coincidencia con el equinoccio de primavera durante la V Dinastía, momento en que los reyes decidieron

erigir toda una serie de templos solares orientados precisamente a la salida equinoccial del sol; 2) su coincidencia con el solsticio de invierno a principios del Reino Medio, cuando los reyes de las dinastías XI y XII comenzaron a erigir el que, con el paso del tiempo, se convertiría en el templo principal de Egipto, Karnak, orientado de forma simultánea a Wepet Renpet en esa época, a la salida del sol en el solsticio de invierno y, además, perpendicularmente al Nilo, en una combinación de astronomía y topografía absolutamente singular; y (3) la coincidencia nuevamente, por primera vez desde la creación del calendario, tras el paso de un ciclo completo, del solsticio de verano con Wepet Renpet durante el reinado de Ramses II. La orientación de templos como Abu Simbel y numerosos textos astronómicos reflejan claramente esa circunstancia. Estos sugerentes resultados han sido publicados en el volumen de 2008 del *Journal for the History of Astronomy* y defendidos en Rodas en el X Congreso Internacional de Egiptólogos (XICE) y en Granada en el congreso "Cosmology across Cultures" (CAC-SEAC2008).

Diagrama que muestra la evolución temporal de Wepet Renpet (Año Nuevo Egipcio) a lo largo de las estaciones trópicas y de las correspondientes estaciones del Sol (solsticios y equinoccios). Desde la creación del calendario civil, en el período dinástico temprano, se produjeron algunos hitos importantes en esta evolución tal como la concordancia con el equinoccio durante la V dinastía, cuando se erigieron de forma sistemática los primeros templos solares, con el solsticio de invierno, a principios del Reino Medio cuando Tebas y sus alineamientos solsticiales se convirtieron en relevantes, y con el solsticio de verano durante el reinado de Ramses II, cuando el calendario civil y las estaciones trópicas volvieron a coincidir por primera vez desde la creación del calendario. Se podrían adivinar otras concordancias.



compatriota el epigrafista Prof. Magdi Fakri de la Universidad Minufiya, a los que se ha incorporado el astrónomo Yasser Abd el Hadi del Observatorio de Helwan, bajo el auspicio del Consejo Supremo de Antigüedades de la República Árabe de Egipto. Esta sigue siendo por ahora la línea de investigación principal del Proyecto.

Como elemento excepcional del proyecto de investigación arqueoastronómica llevado a cabo en Egipto este año se ha terminado la elaboración de un libro para la editorial del Consejo Supremo de Antigüedades de Egipto con el título «In Search of Cosmic Order: selected essays on Egyptian archaeoastronomy». Los editores científicos de la obra son J.A. Belmonte y M. Shaltout. En él participan en varios capítulos miembros y colaboradores del Proyecto. El libro está terminado tras un gran esfuerzo por parte de autores y editores científicos, y enviado a la editorial y se espera que sea publicado a lo largo del año 2009. Como un esfuerzo complementario al anterior, se presentaron los logros del trabajo arqueoastronómico llevado a

Evolución del Proyecto

Durante el año 2008 se ha continuado la labor desarrollada en la mayoría de las líneas de investigación abiertas en los años anteriores. Adicionalmente se han puesto en marcha nuevas líneas planeadas en el marco del proyecto Orientatio ad Sidera II. También se ha acometido dos proyectos de envergadura como la preparación del libro «In Search of Cosmic Order: selected essays on Egyptian archaeoastronomy» y la organización del Congreso "Cosmology across Cultures". Particularizando, podemos destacar las siguientes líneas de trabajo llevadas a cabo a lo largo del año.

Ha seguido en marcha la línea de trabajo para el estudio arqueoastronómico de los monumentos de la civilización faraónica en Egipto y más allá, en colaboración con el astrónomo egipcio Prof. Mosalam Shaltout del Observatorio de Helwan y su

cabo en Egipto en el X Congreso Internacional de Egiptología celebrado en Rodas en el mes de mayo. Estos congresos trienales son el escaparate de las investigaciones mundiales en egiptología y resultaba por tanto prioritario presentar allí los resultados del proyecto que fueron muy bien acogidos por una comunidad egiptológica no siempre receptiva a nuevas ideas.

En el año 2008 se planeaba llevar a cabo una campaña arqueoastronómica en Sudán con el fin de falsar los resultados obtenidos en el propio Egipto. Para ello se llegó a acuerdos con el Servicio de Arqueología Sudanés. Sin embargo, dada la caótica situación política y social de este país, se decidió posponer sine die esta misión, llevándose a cabo a cambio una nueva campaña en Egipto, en el mes de diciembre, en la que se trabajó en yacimientos aislados o de difícil acceso que no se habían podido incluir en anteriores misiones. Adicionalmente, se

aprovechó la campaña para impartir, por parte del IP de este Proyecto, una conferencia en la sede del Consejo de Antigüedades en el marco de las «SCA Lecture Series». También se aprovechó la misión para una primera toma de contacto con el fin de plantear la viabilidad de llevar a cabo un proyecto de estudio arqueoastronómico de los monumentos coptos (iglesias y monasterios) de Egipto con resultados muy prometedores que abren nuevas expectativas para el futuro. En el mismo ámbito, se finalizó el análisis de los datos de los monumentos funerarios obtenidos en las cinco campañas anteriores en Egipto y se procedió a un estudio en detalle de la iconografía astronómica presente en el llamado Zodiaco de Dandara, junto al egiptólogo J. Lull. Los resultados obtenidos en ambas líneas constituyen sendos capítulos del libro mencionado con anterioridad.

En el marco de la línea abierta en 2006 sobre el estudio de los monumentos megalíticos de Bulgaria en colaboración con el D. Kolev se llevó a cabo en junio una segunda campaña en el país con el fin de medir el resto de los monumentos y completar la muestra. El encargado de llevarla a cabo fue nuestro colaborador C. González. Actualmente nos encontramos en el proceso de reducción y análisis de los datos obtenidos que esperamos completar a lo largo de 2009. En el mismo ámbito mediterráneo, una vez culminado el análisis de los datos de los templos y las necrópolis fenicio-púnicas de las islas de Ibiza y Cerdeña, que complementa al que ya se ha realizado en la Península Ibérica y el norte de África, se ha comenzado a preparar una monografía sobre el tema.

Este año se ha retomado además una de nuestras viejas líneas de trabajo que se tenía un poco abandonada, realizando trabajo de campo en la isla de Gran Canaria en coincidencia con el solsticio de verano. Se observó el fenómeno de la puesta de Sol en varios santuarios aborígenes de alta montaña de la Isla, pudiendo comprobar el magnífico alineamiento solsticial que se produce con el Teide desde los Llanos de Gamona en especial. También se procedió a realizar un estudio preliminar del potencial astronómico de los Altos del Coronadero, uno de los yacimientos más singulares, aislados e inaccesibles de la Isla. Los resultados de esta campaña fueron analizados con rapidez y presentados como comunicación oral en el congreso "Cosmology across Cultures" celebrado en Granada en el mes de septiembre. El IP del Proyecto era chairman del LOC y del SOC de este singular congreso, por lo que su organización ha sido sin lugar a dudas una de las actividades que mayor esfuerzo y dedicación han requerido a lo largo de todo el año, esfuerzo que esperamos se vea

compensado con la publicación de las memorias en las *A.S.P. Conference Series* el año próximo.

Finalmente, se ha iniciado una de las nuevas líneas de trabajo contempladas en el proyecto OAS II, aprobado hace un año por el PNAyA. Se trata del estudio arqueoastronómico del proceso de cristianización de la Península Ibérica. Un primer acercamiento al problema se ha centrado en los monumentos del Prerrománico Asturiano que fueron medidos en su totalidad durante una campaña en el mes de mayo. Sin embargo, la muestra es aun reducida y es de esperar que se complete con nuevas campañas en los monumentos visigóticos, serraleses y mozárabes antes de poder llegar a resultados concluyentes.

CARACTERIZACIÓN DE LOS OBSERVATORIOS DE CANARIAS (7I2301)

C. Muñoz-Tunón.

A.M. Varela Pérez, J.A. Castro Almazán, H. Vázquez Ramio, P. Bonet Márquez y S. Rueda Sáez.

Colaboradores del IAC: J.J. Fuensalida, M. Collados, J.M. Delgado y L.F. Rodríguez.

J. Vernin (Univ. de Niza, Francia), R. Rutten (ING, La Palma), S. Ortolani y C. Bertolin (Univ. de Pádua, Italia), M. Sarazin (ESO, Alemania). Miembros del Proyecto NA2 de OPTICON y del WP12000 del Proyecto "ELT Design Study" del FP6.

Introducción

Hemos continuado la campaña de caracterización en Degollada del Hoyo Verde (DHV), al suroeste del Telescopio GTC, donde estamos desde 2002. Este lugar ha sido preseleccionado para la búsqueda del mejor enclave para albergar un futuro giga telescopio europeo (E-ELT). Las medidas de seeing se realizan con un instrumento que es un híbrido de un Multi-Aperture Scintillation Sensor y un Differential Image Motion Monitor (MASS-DIMM) instalado en la DHV desde principios de 2008. Se realizan medidas sistemáticas con un instrumento idéntico en los otros cuatro enclaves preseleccionados para albergar el futuro Telescopio E-ELT, que son Ventarrones (Andes chilenos), Macón (Andes argentinos) y Aklím (Anti-Atlas, Marruecos).

Junto al MASS-DIMM disponemos de una estación meteorológica automática (AWS), operativa en la DHV desde 2002, que monitoriza los parámetros

meteorológicos estándar, proporcionando datos en tiempo real a través de la Web del Proyecto.

Desde 2004 estos trabajos se gestionan y coordinan a partir de una Red de Cooperación Internacional (Co-ordination and Integration of ENO facilities) dentro de Optical Infrared Coordination Network for Astronomy (OPTICON), en particular actividades de investigación y nuevas técnicas innovadoras relacionadas con el site testing para telescopios gigantes o Extremely Large Telescopes (ELT) se conducen desde un proyecto denominado Joint Research Activity: Site Characterisation of the Canarian Observatories. Más información en <http://www.otri.iac.es/na2/>

Esta Red pretende básicamente hacer disponible la información entre todos los participantes y posibilitar medidas coordinadas de los parámetros asociados a la caracterización astronómica de los Observatorios: seeing y perfil vertical de turbulencia CN2 (necesario para implementar técnicas para compensar los efectos en la degradación de la imagen), meteorología, sismicidad, porcentaje de noches fotométricas, vientos troposféricos, aerosoles, nubes, vapor de agua, ozono, etc.

Se han implementado técnicas estándar conjuntas para medir la turbulencia atmosférica durante la noche; parte del equipo participa en propuestas que han sido pioneras en el diseño y desarrollo de técnicas e instrumentos.

Los miembros del grupo participan activamente en el proyecto del «ELT Design Study» bajo el marco del FP6 (<http://www.otri.iac.es/elt/>) y en subcomités (Site Properties & Operation) del Comité Científico Internacional (CCI) (<http://www.iac.es/eno.php?op1=5&lang=en>).

La lista de paquetes de trabajos y tareas se describen en <http://www.otri.iac.es/files/na2/na2-9GsB0.PDF>. Los documentos correspondientes al primer Informe Anual 2008 del Networking Activity (NA2) dentro del Proyecto OPTICON están enlazados en <http://www.otri.iac.es/na2/en/General Documents>.

Algunos resultados relevantes

Los resultados de la campaña de caracterización en la Degollada del Hoyo Verde manifiestan la excelencia óptica de esta región al suroeste del ORM, definiendo posibles áreas de expansión del mismo. Los valores del seeing son similares a los obtenidos en otros lugares del Observatorio en la última década, apuntando hacia una gran homogeneidad de calidad óptica en el mismo.

Los parámetros de turbulencia atmosférica proporcionados por el MASS-DIMM colocan al ORM en primera posición respecto a los otros enclaves competidores a albergar el Telescopio E-ELT en los que respecta a seeing integrado, seeing de la atmósfera libre, ángulo isoplanático, y al parámetro $Go = ro^2 \tau_0 \epsilon_0^2$, (relacionado con el espacio en el cual un fotón permanece coherente), siendo ro el parámetro de Fried, τ_0 el tiempo de coherencia y ϵ_0 el ángulo isoplanático.

Se ha desarrollado el software de análisis estadístico de datos proporcionados por el MASS-DIMM para uso común de los miembros del WP12000 para la selección del sitio del Telescopio E-ELT.

El IAC ha dispuesto un espacio para almacenar los datos proporcionados por los 4 enclaves seleccionados para albergar el Telescopio E-ELT y que es de acceso restringido a los miembros del WP12000.

Se ha preparado un informe sobre la comparación de medidas del DIMM con el RoboDIMM de los británicos (instalado cerca del Telescopio WHT), que demuestra que el RoboDIMM es insensible a medidas de seeing menores que 0.5" y que éstos valores los está desplazando hacia medidas mayores de seeing por un efecto conocido como "aliasing".

Se ha completado la instalación del primer DIMM completamente automático o DIMMA en el OT, que está previsto sea operativo antes del verano 2009.

Se ha ampliado el número de baterías y de paneles solares para el DIMMA ORM. Los datos preliminares del DIMMA están en buen acuerdo con las medidas proporcionadas por el DIMM. Los datos de seeing y meteorología de DIMMA ORM serán accesibles a través de la página Web del Proyecto.

Se han continuado las medidas con un contador de partículas de aire (incluye polvo local) en el área del Telescopio NOT. Los datos y gráficas se proporcionan en red en tiempo real. Desde septiembre 2008 el equipo está en reparación y calibración.

Se ha ido actualizando la página Web de Proyecto, mejorando algunos problemas de uso y acceso a las bases de datos.

El índice de aerosoles y el espesor óptico de aerosoles que proporcionan en la actualidad los satélites no son una herramienta útil para la caracterización local de la presencia de polvo atmosférico sobre enclaves de orografía abrupta

como Canarias o Mauna Kea (Hawai, EEUU) (Varela et al., *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* 391, 507.).

Las medidas de nubes que proporcionan los satélites pueden ser útiles para caracterización de sitio, pero dependerá fuertemente de la resolución espacial y del centrado del pixel sobre la orografía precisa, especialmente si es abrupta.

Evolución del Proyecto

Medidas del seeing nocturno

Se ha continuado la campaña de caracterización en Degollada del Hoyo Verde (DHV), al suroeste del Telescopio GTC, donde estamos desde 2002. Este lugar ha sido preseleccionado para la búsqueda del mejor enclave para albergar un futuro giga telescopio europeo (42 m) o Telescopio E-ELT. Las medidas y resultados de análisis obtenidos no son aún públicos pero posicionan al ORM en muy buen lugar en el ranking, obteniendo los valores más bajos de seeing (integrado y de la atmósfera libre) y mayores valores de ángulo isoplanático.

Durante el 2008 la mayor parte del esfuerzo ha estado dirigido a la adquisición y reducción de datos de los cuatro sitios candidatos. Las primeras medidas con el MASS-DIMM datan del 24 de abril de 2008 en la zona designada en el mapa como DHV-EELT1.



Mapa de localización de la Degollada del Hoyo verde en el ORM (izquierda) y panorámica aérea del Observatorio (derecha).

Medidas sistemáticas de parámetros meteorológicos

Los parámetros meteorológicos: temperatura del aire y la humedad relativa a 2 m del suelo, velocidad, dirección y ráfagas de viento a 10 m, presión barométrica, presión de vapor, temperatura de suelo y subsuelo, pluviosidad, etc. se han registrado continuamente a razón de un dato por minuto.

Los ficheros de datos, gráficas y estadísticas están disponibles en <http://www.iac.es/project/sitesting/site.html> en "Statistics and Data" - Meteorology. Un enlace Web permite obtener un display de las medidas de meteorología en tiempo real <http://www.iac.es/project/sitesting/onlinepro/wstation.html> (ver Fig. 2). A su vez, los datos se transfieren a una plantilla Web para ser utilizada en la miniview del ORM (<http://catserver.ing.iac.es>) y a una base de datos del IAC.

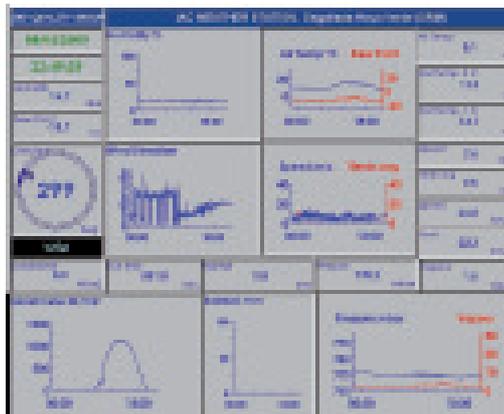


Figura 2: Parámetros meteorológicos proporcionados en tiempo por la estación meteorológica automática (AWS) del IAC en la DHV (ORM).

El contador de partículas de aire (incluye polvo local) instalado en la sala de mantenimiento del Telescopio NOT ha estado operativo hasta el 24 de septiembre de 2008, fecha en la que se envió al fabricante para reparación (sustitución del láser) y



calibración. Este instrumento, Met One Particle Counter de Pacific Instruments, es similar al utilizado en Paranal (<http://www.eso.org/gen~fac/pubs/astclim/paranal/aerosol>) y dispone de un láser que permite contar por dispersión las partículas en suspensión por debajo de 10 micras (PM10), a través de 6 canales centrados en 0.3, 0.5, 1, 3, 5 y 10 micras. El tiempo de muestreo es de un dato/minuto.

Estas medidas se proporcionan en tiempo real a través de la página Web del Proyecto ("Airborne Dust Counter" en <http://www.iac.es/project/sitestesting/site.html>) o a través de la página Web del Telescopio NOT (<http://www.not.iac.es/weather/index.php>). También se puede visualizar el número de partículas en cada canal y la masa total de las últimas 24 horas o de cualquier período de tiempo previamente seleccionado. Como ejemplo ver la Fig. 3 donde se muestran las variaciones del número de partículas entre 0.3 y 10 micras en el mes de abril de 2008. Estos datos serán comparados con medidas de extinción atmosférica proporcionadas por el CAMC (Carlsberg Circle Meridian Telescope) y del Telescopio Mercator en el ORM. Se pretende proporcionar un umbral de seguridad para la operación de los telescopios.

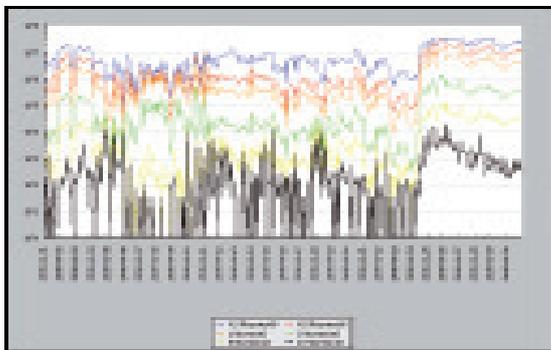


Figura 3: Variación del número de aerosoles entre 0.3 y 10 micras proporcionadas por el contador de partículas del Grupo de Calidad del Cielo del IAC instalado en las proximidades del Telescopio NOT en el ORM.

DIMM Automático (DIMMA)

DIMMA OT

En el 2008 se ha instalado el software del DIMMA del Observatorio del Teide (OT) (ver Fig. 4) cuyo principal objetivo es la obtención continua de medidas



Figura 4: DIMMA en el OT (entre la OGS y el Centro de Visitantes).

de seeing nocturno y de parámetros meteorológicos de modo completamente automático y robótico. Este DIMMA es idéntico al ya existente en el ORM, salvo en la alimentación eléctrica que en el OT está conectado a la red eléctrica a través del Centro de Visitantes y en el ORM se realiza con paneles solares. Los datos se transmiten en tiempo real. Este instrumento ha sido diseñado por miembros del IAC y construido por la empresa Inerza S.A. (más información sobre el DIMMA en las Memorias 2006 y 2007).

DIMMA ORM

A principios de 2008 se amplió el número de baterías y paneles solares para garantizar la autonomía y seguridad del sistema. Diversos problemas técnicos (como la avería de un regulador, problemas mecánicos de la cúpula, etc.) han demorado el funcionamiento rutinario del DIMMA ORM. Actualmente estamos calibrando los datos a partir de la comparación con los valores proporcionados con un DIMM instalado al pie de la torre DIMMA.

El personal de los Servicios Informáticos del IAC junto con los miembros del Grupo de Calidad del Cielo, han elaborado la página Web (http://www.iac.es/site-testing/index.php?option=com_wrapper&Itemid=112) donde visualizar los datos proporcionados por el DIMMA en tiempo real.

Calibración del uso de datos de satélites para caracterización de sitio

Este año se ha publicado el estudio de la calibración de los datos relacionados con aerosoles que proporcionan los satélites (índice de aerosoles o AI y espesor óptico de aerosoles o AOD) y las medidas in situ de extinción atmosférica que proporciona el CAMC, *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, 391, 507. Este trabajo ha sido fruto de una colaboración entre el IAC, C. Bertolin y S. Ortolani.

La principal conclusión es que las medidas que proporcionan en la actualidad los satélites de observación atmosférica (entre los explorados están OMI a bordo de AURA y MODIS a bordo de TERRA y AQUA, de la NASA) no tienen la suficiente resolución espacial para proporcionar medidas fiables de aerosoles especialmente en aquellos lugares de geografía abrupta y con elevados picos, como es el ORM, donde pueden ocurrir procesos locales de drenaje de polvo en altura o efectos locales asociados a la proximidad a la Caldera.

Sin embargo, las medidas de nubes que proporciona los satélites son capaces de discernir el tipo y altura

de nube, lo que se traduce en una buena correlación con las medidas in situ. Prueba de ello son los resultados presentados por Erasmus & Van Rooyen 2006, bajo petición de la ESO, con 7 años de muestreo de medidas de EUTMESAT-ISCCP, obteniendo un 83.7% de noches fotométricas en el ORM. Este valor difiere en menos de un 1% respecto a las medidas proporcionadas por el CAMC. Este valor es similar al obtenido por Erasmus & Staden, 2001, para Paranal (84.6% de noches fotométricas).

También se ha verificado que el acuerdo entre las medidas de satélites y medidas in situ son dependientes no sólo de la resolución espacial sino del centrado del pixel del satélite, especialmente en lugares de orografía abrupta como el ORM. Se han comparado medidas de satélites de alta resolución espacial (1km²) con información in situ proporcionada por el CAMC y por los logs de observación del Telescopio TNG. Éstos dos últimos tienen un acuerdo del 100%, mientras que el acuerdo con las medidas de satélites es del 64% para un pixel centrado en la DHV (donde la mitad del pixel abarcaría la Caldera) y del 86% cuando nos desplazamos al siguiente pixel hacia el sur de la DHV.

Acciones conjuntas para medir los perfiles de turbulencia y de viento

Ver el Proyecto "Desarrollo de Sistemas para Alta Resolución Espacial" en esta Memoria.

Otros

Se ha respondido a consultas requeridas por grupos externos relacionados con la caracterización de sitio y se ha dado apoyo y respuesta a otros colectivos a través del Gabinete del IAC y de la prensa.

Se ha impartido un curso de 20 horas de Iniciación a la Astronomía en el programa Universidad para Mayores del Vicerrectorado de Extensión Universitaria de la Universidad de La Laguna.

Participación en foros científicos: más información en <http://www.iac.es/project/sitestesting/site.html>, en "Bibliography" <http://www.otri.iac.es/na2/>

Web del proyecto: <http://www.iac.es/project/sitestesting/site.html>

ASTROFÍSICA DE PARTÍCULAS (3I2803)

R. García López.

R. Rebolo, A. Herrero Davó, J.M. Rodríguez Espinosa, C. Delgado Méndez, M. Panniello y M.T. Costado Dios.

S. Ting (MIT, Cambridge, EEUU); M. Aguilar Benítez de Lugo, J. Berdugo Pérez, C. Díaz Guinzo, C. Mañá Barrera y M. Mollá (CIEMAT, Madrid); J. Cortina (IFAE, Barcelona) y D. Torres (IEEC, Barcelona).

Introducción

El Proyecto Astrofísica de Partículas del IAC empezó su andadura en 2003 y actualmente participa en dos grandes colaboraciones internacionales: AMS (*Alpha Magnetic Spectrometer*) y los telescopios de radiación Éerenkov MAGIC I y II.

AMS es un detector de partículas diseñado para operar en el espacio, a bordo de la Estación Espacial Internacional. Se espera que esté operativo a partir de 2010 durante al menos tres años para realizar un estudio de alta precisión y estadística del espectro y la composición de los rayos cósmicos primarios en un amplio rango de energía, así como buscar antimateria primordial y materia oscura de forma indirecta.

El diseño y construcción de AMS es responsabilidad de una colaboración internacional, liderada por el Premio Nobel de Física Samuel C.C. Ting (Massachusetts Institute of Technology, EEUU), en la que intervienen institutos de investigación de Alemania, China, Corea del Sur, Dinamarca, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, México, Portugal, Reino Unido, Rumanía, Rusia, Suiza y Taiwán.

Dentro del experimento AMS, se colabora con el CIEMAT (Madrid) en la caracterización del Detector de Radiación Cerenkov (RICH) en lo concerniente a sus capacidades para la identificación química e isotópica de elementos ligeros en los rayos cósmicos, así como en la fabricación de armarios de electrónica para el mismo.

En el IAC se lleva a cabo también parte de la producción de datos Monte Carlo para la colaboración AMS, y se participa en el desarrollo de las herramientas necesarias de calibración y monitorización del detector. De igual modo se trabaja en los análisis de datos Monte Carlo destinados a establecer el análisis estándar para la identificación de elementos ligeros.

El Proyecto forma parte también de la Colaboración MAGIC. Se trata de una colaboración formada por 20 institutos y departamentos universitarios de Alemania, Armenia, Bulgaria, España, EEUU, Finlandia, Italia, Polonia y Suiza. La colaboración cuenta con dos telescopios de 17 m de diámetro (uno de ellos operativo y otro en construcción), diseñados para medir la radiación Cerenkov asociada a cascadas atmosféricas y localizados en el ORM.



Algunos resultados relevantes

Desde el punto de vista científico, merecen especial atención dos de los artículos publicados por la Colaboración MAGIC en la revista Science: "Observation of Pulsed γ -Rays Above 25 GeV from the Crab Pulsar with MAGIC" y "Very-High-Energy gamma rays from a Distant Quasar: How Transparent Is the Universe?".

Uno de ellos recoge la primera observación de pulsos en rayos gamma de muy alta energía en el púlsar de la Nebulosa del Cangrejo, mostrando evidencias de producción de esta emisión en la magnetosfera del mismo. El segundo artículo presenta la primera detección de rayos gamma de muy alta energía procedente de un cuásar, en este caso el radio-cuásar 3C 279 situado a 5 mil millones de años luz, lo que indica una baja presencia de luz de fondo difuso en esa dirección.

En ambos casos, participamos activamente en la discusión del análisis de los datos y de los textos.

Evolución del Proyecto

El año 2008 ha sido un año de transición en el marco de la colaboración AMS. Prácticamente todos los detectores han sido terminados y enviados al CERN para su integración conjunta (a falta del imán superconductor, que llegó durante el mes de diciembre), y para la toma de datos de cósmicos allí. Se ha seguido avanzando en la simulación del detector RICH y participamos en la toma de cósmicos en el CERN. A. Diago realizó un *shift* de toma de datos y ha comenzado a hacer el análisis de los

mismos. En ese contexto, y bajo la supervisión de J. Pochon, ha comenzado a llevar a cabo un estudio preliminar de las capacidades del RICH para la separación isotópica, empezando por familiarizarse con el código FLUKA.



Imagen del detector RICH separado del resto del experimento AMS en la sala limpia del CERN.

El trabajo en AMS ha continuado también con la generación de simulaciones Monte Carlo para la colaboración.

La colaboración MAGIC sufrió una trágica pérdida al fallecer el 10 de septiembre F. Goebel, *project manager* del telescopio MAGIC II, debido a un trágico accidente cuando se encontraba sobre la plataforma que da acceso a la cámara del telescopio. Este fallecimiento causó un profundo dolor en todos nosotros y supuso la cancelación de los actos de inauguración del telescopio (previstos para unos pocos días después), así como la paralización momentánea de las actividades en ambos telescopios y una revisión a fondo de los procedimientos de seguridad de todas las actividades relacionadas con la observación y el mantenimiento de los mismos. Estamos todos muy consternados por esta nueva pérdida, que se suma a la que sufrió nuestro grupo un año antes con el fallecimiento de M. Panniello en otro trágico accidente.

En el seno de la colaboración MAGIC, se ha participado en la toma de datos (*shifts*) con MAGIC I, y J. Becerra y M. Gaug participaron también en la instalación de segmentos del espejo primario del telescopio MAGIC II.

Se ha continuado con el análisis de datos correspondientes al Grupo de Física Galáctica (M.T. Costado) y también del Grupo de Física Extragaláctica (J. Becerra y M. Gaug).

Por su parte, en agosto de 2008 M.T. Costado obtuvo una beca del Área de Investigación del IAC para desarrollar una mejora del software de MAGIC

consistente en optimizar la separación entre rayos gamma y hadrones (que suponen un ruido en nuestras observaciones), y su trabajo se ha ido desarrollando de forma satisfactoria, disponiéndose de una primera versión de este software.

Participamos de forma regular en las reuniones científicas semestrales de la colaboración MAGIC, que tuvieron lugar en abril y octubre en Munich (Alemania). Además de esto, el IP del Proyecto es también el representante del IAC en la colaboración, y ha asistido de forma continuada a las reuniones del *Collaboration Board*. También asistimos regularmente a los *Technical Interchange Meetings* (TIM) de AMS, que tienen lugar en el CERN. R. García López ha participado también en las reuniones del Comité de Finanzas de la colaboración como representante del IAC.

Tanto M.T. Costado como J Becerra participaron en la *Second MAGIC Winter School 2008* para estudiantes y postdocs recientes, que organizó la Colaboración MAGIC en febrero de 2008.

El grupo ha seguido involucrado en la iniciativa Cherenkov Telescope Array (CTA), cuyo objetivo es construir el gran observatorio europeo de rayos gamma del futuro. En particular, R. García López asistió a la reunión celebrada en enero en Barcelona, y A. Herrero ha sido designado persona de contacto en el grupo para todas las actividades relacionadas con CTA.

OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES TELESCÓPICAS DEL IAC (3I1101)

A. Osoz.

A. Pimienta, L. Blanco, E. Curras, N. de Armas, J. Pla, I. Rivero, R. Barrena, A. García, P. Montañés, C. Zurita, L. Chinarro y S. López.

Colaboradores del IAC: G. Gómez, J.M. González, A.Z. Calcines, R. López, M. Insausti, P.L. Pallé, J. Patrón, J. Peñate, J.J. Piqueras, J.L. Rasilla, R. Rebolo, P. Rodríguez, E. Paez, L.F. Rodríguez y M. Serra.

Introducción

Los investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias y de la comunidad astrofísica internacional disponen de acceso a un conjunto de instalaciones cercanas que les permite realizar contribuciones de alto nivel a la investigación científica. Hasta hace muy pocos años la mayoría de estas instalaciones eran de origen extranjero, pero esta situación ha ido

modificándose gradualmente con el tiempo, de manera que el número de las instalaciones del IAC en los Observatorios de las Islas Canarias ha crecido enormemente.

El objetivo de este Proyecto consiste en la gestión de las diferentes instalaciones de que dispone el IAC, la instrumentación propia del centro y parte del tiempo de observación concedido al mismo por otras instalaciones. En primer lugar, es conveniente distinguir entre Instrumentos, Telescopios y Experimentos (ITE). En relación con los instrumentos, se consideran aquellos desarrollados por el IAC que estén en operación en este momento, tales como LIRIS e INTEGRAL en WHT, TIP o TIP-II en VTT o GREGOR, IACUB en NOT, CAIN y FastCam en TCS, CAMELOT en IAC80, etc. Los telescopios incluyen el Telescopio Carlos Sánchez, el IAC80, el MONS, el tiempo reservado para España en la OGS y las noches de servicio CAT en instalaciones extranjeras (INT y NOT). Con respecto a los experimentos, hay tres grupos: el complejo CMB, el laboratorio solar y los pequeños telescopios y experimentos (STARE, EAST, EARTHSHINE, PASS, etc).

Teniendo en cuenta esta variedad de instalaciones, los principales objetivos que se buscan son tres:

1. Lograr que las instalaciones funcionen de forma correcta durante los períodos disponibles para la comunidad astrofísica internacional.
- 2.- Adaptación continua de las instalaciones a las nuevas tecnologías y realización de mejoras que proporcionen a los astrónomos un entorno de trabajo más amigable.
- 3.- Maximizar el beneficio obtenido por los astrónomos usuarios de las ITE.

Algunos resultados relevantes

FastCam consigue la mejor resolución espacial de la historia de tres telescopios: TCS = 0",15, NOT = 0",09 y WHT = 0",07. Además, fue el primer instrumento externo instalado en el telescopio GTC, con excelentes resultados.

Mejora espectacularmente el *seeing* del telescopio IAC-80 tras las reformas realizadas.

Se finaliza CAIN-3, con software en Linux, nueva interfaz y nuevo detector.

Se realizan más noches de servicio en telescopios de OT y ORM que nunca, con casi 100 programas finalizados entre ambos observatorios.

El Proyecto de Astrofotografía consigue 3 APOD en un año.

Aumenta el número de cursos de formación y de seguridad que recibe el personal del Proyecto.

Se actualizan los PC's de control y de usuario de los telescopios nocturnos del OT.

OBSERVATORIO DEL TEIDE (OT)

TELESCOPIO	INSTRUMENTO	INSTALADO	OPERATIVO DESDE	NÚMERO DE AÑOS	
TCS		1972	1972 -	37	
	CAIN	1999	1999 -	10	
	FIN	2004	2004 - 2008	5	
	FastCam	2007	2007 -	2	
IAC-80		1989	1993 -	16	
	CAMELOT	2005	2005 -	4	
	TCP	2006	2006 -	3	
OGS		2009	2009 -		
	SD CCD	1995	1995 -	14	
	CCD	1999	2009 -	10	
MONS		2001	2001 -	8	
	VTT	1972	1972 -	37	
		1986	1988 -	21	
	TIP	1999	1999 -	10	
	TIP-II	2005	2005 -	4	
GREGOR		2009			
STELLA		2009			
STARE		1999	2001 -	8	
CMB	Experimento TF	1984	1984 - 2000	17	
	IAC – Bartol	1994	1994 - 1997	4	
	JBO – IAC Interfer	1997	1997 - 2002	6	
	COSMOSOMAS	1998	1998 - 2008	11	
	QUIJOTE	2009	2009 -		
	VSA	1999	1999 - 2008	10	
	Lab. Solar	MARK-I	1977	1977 -	31
		SLOE	1984	1984 - 1989	6
IRIS		1989	1989 - 1993	5	
TON		1993	1994 - 2002	9	
LOI-T		1994	1994 - 1995	2	
GONG-T		1995	1996 -	13	
ECHO		1999	2000 - 2003	4	
TELAST		2004	2006 -	3	
PASS		2005	2005 -	4	
EAST		2005	2007 -	2	
Earthshine		2009	2009 -		
DIMMA		2009	2009 -		

MEMORIA
2008 IAC

158

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS(OT)

TELESCOPIO	INSTRUMENTO	INSTALADO	OPERATIVO DESDE	NÚMERO DE AÑOS
WHT	LIRIS	2004	2004 -	4
	INTEGRAL	1998	1998 -	11
NOT	IACUB	1992	1992 -	17
DIMMA		2009	2009 -	

Listado de todos los ITE e intervalo de tiempo en el que ha estado funcionando cada uno de ellos.

Evolución del Proyecto

El año 2008 ha sido muy intenso en lo que respecta a desarrollo instrumental, mejoras de las instalaciones y formación del personal. A continuación se resumen los diversos aspectos en los que el proyecto y su personal están involucrados.

Personal del Proyecto: Astrónomos de Soporte (AS), Operadores de Telescopios (Oper) y Técnicos de Operaciones Telescópicas (TOT)

Los AS dedican un mínimo de un 70% de su tiempo a tareas de soporte, estando a cargo de la instrumentación española de ambos Observatorios y de las noches de servicio del CAT en los telescopios del ORM. En la medida de lo posible están presentes en la primera noche de observación de los nuevos astrónomos de los telescopios TCS, IA-C80, IACUB en OGS y NOT e INTEGRAL en WHT, así como en el primer día de instalación de TIP-II.

IAC80	TCS	FastCam OT	FastCam ORM	TIP	INTEGRAL	SERV. NOT	SERV. INT
55	42	10	12	2	19	7	19

Jornadas que los AS han permanecido en los Observatorios durante 2008. Aunque no se refleja en la tabla, en ocasiones hubo más de un AS en dichas observaciones, fundamentalmente en telescopios del ORM.

En 2008 ha habido un incremento considerable en el número de noches de servicio realizadas por los astrónomos de soporte del IAC en telescopios del ORM. En total, han sido 22 noches completas y 4 medias noches, en los telescopios INT (con WFC e IDS) y NOT (con ALFOOSC en modo imagen o espectroscopía y con FastCam). Se recibieron 100 propuestas de observación, con un factor de sobrepetición entre 1,3 y 2,6. Finalmente, se consiguieron realizar completamente 37 de dichos programas, mientras que otros 22 se hicieron de forma parcial.

En lo que respecta a los telescopios del OT (IAC-80 y TCS), se han dedicado entre 400 y 500 horas a programas rutinarios y de ToO en el IAC-80 y 48 noches para observaciones de servicio (24 en cada telescopio). En tiempo CAT se concedieron 286 horas de tiempo rutinario a diversos programas, mientras que el resto de las horas han ido para programas fuera de CAT, que han sido más de 30 a lo largo de 2008. Las observaciones han corrido a cargo de operadores, TOT y astrónomos de soporte.

Además de la página Web de novedades (<http://www.iac.es/telescopes/Novidades/Novidades.htm>) los astrónomos de soporte disponen de su propio boletín de noticias, GAS-News, desde donde ofrecen periódicamente información sobre las instalaciones del IAC. (http://www.iac.es/telescopes/news/GAS_news_web.htm?flash=1).

Por otro lado, los operadores de telescopios y los TOT se encargan de controlar los telescopios, instrumentos y experimentos del IAC en el OT, ofreciendo servicio todas las noches y días del año. Ambos colectivos han asumido mayores responsabilidades, elaborando manuales y procedimientos, ayudando en la instalación de instrumentos, encargándose de la gestión de algunos experimentos, creando nuevas aplicaciones informáticas y continuando con el proyecto de Astrofotografía, entre otras cosas.

FastCam

FastCam (<http://www.iac.es/proyecto/fastcam/>) es un instrumento desarrollado por el IAC y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) con el objetivo de obtener imágenes de muy alta resolución espacial o temporal en el rango visible en telescopios terrestres. FastCam se basa en la técnica conocida como *lucky imaging*, que consiste en obtener series de miles de imágenes de un objeto empleando tiempos muy cortos de exposición (entre 30 y 50 milisegundos). Algunas de estas imágenes no están significativamente alteradas por la turbulencia atmosférica y, esencialmente, se encuentran limitadas por difracción. En cada serie de observación de un objeto, típicamente varios miles de imágenes, se identifican y seleccionan esas imágenes de características excelentes, y las resultantes de varias series se combinan hasta alcanzar la sensibilidad deseada.

El instrumento dispone de un detector L3CCD Andor DU-897 512 x 512 de muy bajo nivel de ruido y muy rápida velocidad de lectura, con varias ópticas que se pueden intercambiar para muestrear el límite de difracción en diversas bandas con telescopios de 1,5 a 4,2 m de diámetro. Incorpora un sistema de transmisión y evaluación rápida de imágenes utilizando FPGAs (Field Programmable Gate Array)

desarrollado por el IAC y un software propio elaborado para el procesado eficiente de decenas de miles de imágenes.

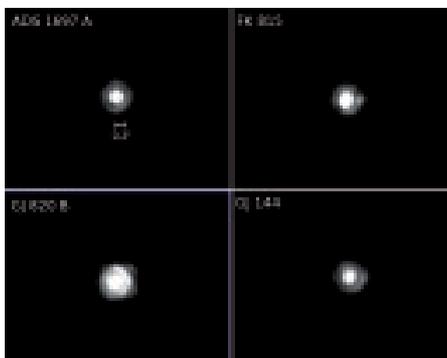
Tras numerosas observaciones en el telescopio y después de ofrecerlo al personal del IAC durante unas noches en marzo, FastCam es, desde septiembre de 2008, instrumento de uso común en el telescopio TCS. Durante 2008 se ha usado en 28 noches, obteniéndose siempre valores de *seeing* por debajo de 0,2 segundos de arco. Sin embargo, también se ha desplazado a otros telescopios con igual éxito en las observaciones. En los meses de mayo, julio y octubre se instaló en los telescopios WHT (4 medias noches y 2 noches enteras) y NOT (8 noches). Hay que destacar que la mejor resolución alcanzada en cada uno de los tres telescopios (TCS, NOT y WHT) trabajando en la banda I (850 nm) está cerca del límite teórico de difracción de cada uno: 0,15, 0,09 y 0,07 segundos de arco, respectivamente. Por ejemplo, en el telescopio TCS, usando una escala de píxel de 31 mas/píxel, se detecta de forma rutinaria el primer anillo de Airy en estrellas brillantes. En los telescopios WHT y NOT se obtienen resoluciones similares en las bandas R y V. Adicionalmente, FastCam se convirtió en mayo en el primer instrumento externo instalado en el telescopio GTC (una noche de observación), con grandes resultados tanto en las imágenes individuales como en las combinadas de los 24 segmentos entonces disponibles.

Además de una serie de mejoras del instrumento que lo han hecho más robusto y versátil (nuevos ordenadores, ruedas de filtros, óptica, etc.), se han iniciado dos proyectos para conseguir que se disponga de un instrumento compacto y de última generación.

Instalaciones e instrumentos

Las actuaciones en las ITE durante 2008 han sido numerosas, con el fin de mantenerlas perfectamente operativas e incluso con sus prestaciones mejoradas.

En el telescopio IAC-80 están en marcha una serie de reformas conducentes a mejorar los resultados del mismo. En primer lugar, durante este año se ha conseguido solucionar el problema del mal *seeing* que sufría el telescopio. La solución ha llegado actuando en dos frentes diferentes: la sustitución de las ballestas del espejo primario, lo que permite un mejor alineado, y la mejora de los soportes del espejo secundario. Tras estas reformas el *seeing* ha experimentado una mejora espectacular, obteniéndose incluso valores por debajo del segundo de arco. Otra de las reformas en marcha es la nueva caja de guiado del telescopio, que estará lista en el primer trimestre de 2009. El nuevo sistema, diseñado y fabricado en el IAC, dispondrá de un campo más amplio para la búsqueda de estrellas guía, que además será bidimensional, a semejanza del telescopio TCS, y con una interfaz de usuario fácil de usar. Esto, unido a una nueva cámara de guiado más sensible, hará que se puedan encontrar más estrellas que antes pero de manera que el astrónomo usuario deba emplear menos tiempo en ello. Finalmente, sigue en marcha el Proyecto de nuevo espectrógrafo, MERLIN, que estará funcionando en el primer semestre de 2009. Para ello, se ha diseñado un equipo portainstrumentos que se acoplará en el telescopio IAC-80 y que será lo suficientemente versátil como para que permita una instalación sencilla de nuevos instrumentos en el futuro. MERLIN consta de un sistema de Óptica Adaptativa (AO-L), un espectrógrafo con guiado



Cuatro imágenes de estrellas obtenidas con el telescopio TCS en las que se puede observar el primer disco de Airy en banda I.

MEMORIA
2008 IAC

160



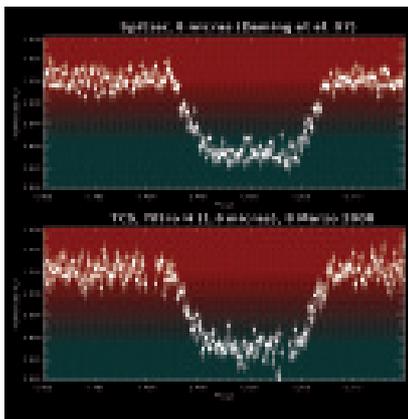
Izquierda: FastCam instalado en los telescopios TCS (arriba izquierda), WHT (arriba derecha), NOT (abajo izquierda) y GTC (abajo derecha).

Abajo: La estrella triple HU66 ABC observada con el telescopio GTC. Empleando el mejor 10% de 1000 imágenes y todos los segmentos se obtiene una imagen limitada por difracción en I (850 nm). Las separaciones son de 0,19" y 0,9".



(SGS) y una cámara (STL-11000). Además de todo ello, en verano se procedió al aluminizado de los espejos del telescopio.

Las reformas más importantes del telescopio TCS, además de FastCam y de diversos cambios en la sala de control, han sido para CAIN, que ha llegado a su tercera versión. Por un lado, se observó que el detector había degenerado bastante, de manera que tardaba un tiempo inaceptable en llegar al régimen de linealidad tras el inicio de las exposiciones, lo que afectaba a las imágenes. Debido a las características del diseño, no se pueden instalar detectores diferentes, por lo que se optó por sustituir el detector por otro igual. Este nuevo detector, a pesar de tener un mayor número de píxeles en malas condiciones, ofrece una respuesta mucho mejor que el anterior, lo que se ha notado en la calidad de las imágenes. Por otro lado, se ha procedido a migrar CAIN del entorno Unix a Linux. Este proceso, que ha presentado numerosas dificultades y que ha llevado doce meses de trabajo, ha conseguido unos resultados finales perfectos, con una interfaz de usuario muy mejorada y con la posibilidad, que antes no existía, de poder realizar la observación, la visualización y la reducción en el mismo ordenador, con las ventajas que ello supone. Todo ello ha ido acompañado de mejoras y nuevas versiones del paquete propio de reducción de los datos de CAIN-3 en IRAF y de la modificación del modo en que CAIN graba los datos, pasándose al promedio en lugar de a la suma, lo que facilitará la tarea de los astrónomos.



La calidad de CAIN se puede apreciar en esta comparación Spitzer con observaciones realizadas por R. Alonso et al.

Por otro lado, la ruptura del detector de FIN ha motivado que se tome la decisión de no instalar más este instrumento.

En otro orden de cosas, durante 2008 se ha llevado a cabo un proceso de renovación, medidas y limpieza de todos los filtros disponibles para CAIN-3, IACUB y CAMELOT. Además de los 24 filtros que se han

adquirido, se dispone de nuevas y más precisas medidas de las curvas de transmisión de todos los demás (<http://www.iac.es/telescopes/tcs/filtros.htm>).

En cuanto al resto de las ITE, conviene destacar la instalación temporal durante el verano de dos nuevos instrumentos en el Laboratorio Solar, todo ello gracias a la ayuda inestimable de operadores y TOT. Uno de ellos, GOLF-NG (una especie de Mark-I más potente) es un prototipo instrumental que se pretende proponer como instrumento espacial, lo que ha supuesto un gran reto para el equipo investigador del Laboratorio Solar. Los operadores y TOT también se han involucrado mucho durante 2008 en el funcionamiento diario de los experimentos COSMO10, COSMO15 y VSA, del grupo de fondo cósmico de microondas. Además de todo ello, por primera vez los AS han procedido a montar y desmontar completamente INTEGRAL en el telescopio WHT, lo que ha redundado en un mejor conocimiento del instrumento y de sus propiedades. Algo similar ha sucedido con TIP-II en VTT.

Dentro del proceso continuo de mejora de la documentación a disposición de los astrónomos, durante 2008 cabe destacar:

- Manual y nueva Web de INTEGRAL.
- Mejoras en el manual de CAIN-3.
- Manual y nueva Web de CAMELOT.
- Manual en español e inglés de TIP-II.
- Nueva versión del manual de uso del telescopio MONS.
- Diccionario inglés-español para astrónomos extranjeros.
- Numerosos documentos de apoyo de uso interno.

Formación y seguridad

La formación continua del personal a cargo del Proyecto es una de las prioridades del mismo desde hace ya unos años, y en este sentido 2008 ha sido muy intenso. Todos los operadores, TOT y AS han asistido a numerosos cursos organizados por la FREMAP, entre los que se pueden destacar los de Primeros Auxilios, de prevención de riesgos laborales y de prevención de incendios. Adicionalmente, se han organizado otros cursos:

- Líneas de vida.
- Trabajos en altura y caídas a distinto nivel.
- Prevención de riesgos in itinere.
- Óptica.

Además de ello, los astrónomos de soporte han impartido un seminario impartido al resto del personal sobre el uso de la instrumentación del OT, Astronomía de posición y reducción de imágenes, se ha realizado

la reunión anual para la revisión del plan de emergencias y varios operadores y TOT han acompañado a los AS al ORM como parte de su formación. Uno de los AS y el JOT asistieron al congreso SPIE de instrumentación astrofísica y una de los AS asistió a un congreso sobre Observatorio Virtual.

En cuanto a la seguridad, se han realizado varias visitas de control y revisión por parte del personal de la mutua, tanto a las nuevas instalaciones (Earthshine, DIMMA, etc.) como a las antiguas. A raíz de ello, se ha generalizado el uso de cascos en las cúpulas, se ha informado al personal sobre las características de la ropa que el proyecto adquirirá a partir de ahora, se han adquirido crampones y gafas de sol, se han instalado emisoras en los telescopios y se han comenzado a aplicar numerosas normas de seguridad, además de prohibirse determinado material que generaba riesgos inútiles.

Servicios informáticos

Como viene siendo habitual, se han realizado numerosas actuaciones informáticas, algunas ya descritas, tanto en hardware como en software.

El cambio más importante ha venido con la sustitución de los PC's de control y usuario de los telescopios TCS e IAC-80, viejos modelos 386 y 486, por nuevos ordenadores encargados a fabricar ad hoc y para los que sí hay repuesto. Estos PC's constituían el punto más débil de las instalaciones, por su edad y por la falta de recambio adecuado. Además de ello, se han renovado varios ordenadores, monitores, discos, impresoras.

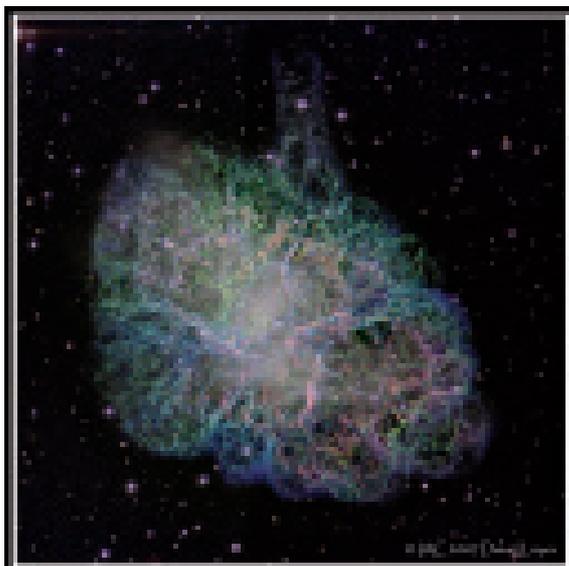
Gracias a la financiación de infraestructuras, han comenzado los trabajos para conseguir que la salida de todas las instalaciones españolas al exterior sea de 1 Gb, aumentando considerablemente la velocidad.

Las mejoras en cuanto a software tienen tres puntos principales además de lo indicado en secciones anteriores: el conversor de coordenadas ecuatoriales a horarias del telescopio MONS (http://www.iac.es/telescopes/MONS/conv_ecu-hor_v3.html), el inicio del programa de observaciones para la generación de un simulador de tiempos de exposición para CAMELOT y CAIN-3 y el inicio de las reformas de la interfaz de CAMELOT.

Astrofotografía y divulgación

El proyecto de astrofotografía ha continuado realizando y publicando observaciones durante 2008. La parte más visible de ello es la Imagen Astronómica del Mes (IAM, http://www.iac.es/telescopes/IAM/IndexAstrofoto_esp.htm), presentando su ficha mensual por cuarto año consecutivo. A partir de esas fichas se creó el calendario que se distribuyó a principios de 2008. Destacar que tres de las *Astronomy Picture of the Day* de 2008 (27 de febrero, 30 de junio y 17 de diciembre) procedían de imágenes tomadas para la IAM con el telescopio IAC-80, mientras que éstas y otras imágenes de la IAM se aportaban al grupo de Galería de Imágenes de la SEA, otra aparecía en un número especial de la revista *National Geographics* y una más en la revista *Astronomía*.

Otras contribuciones en cuanto a la divulgación han consistido en diversos artículos (informe anual del NOT, Caos y Ciencia, AstroNewsLetter, etc.) y un audiovisual sobre el telescopio TCS.



Imágenes de M1 (arriba) y MG7169 (derecha) tomadas dentro del programa de Astrofotografía.

ÁREA DE INSTRUMENTACIÓN

Corresponde al Área de Instrumentación el soporte tecnológico, la elaboración y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, para el cumplimiento de los fines y objetivos del Instituto.

El Área de Instrumentación se responsabiliza de:

- El desarrollo de nueva instrumentación para la observación astronómica.
- El mantenimiento de la instrumentación astronómica existente.
- La utilización de las capacidades tecnológicas en otros campos de la ciencia o de la técnica que favorezcan el desarrollo del entorno.
- La capacitación de personal técnico.
- Generar y ceder tecnología.

INFRAESTRUCTURA

El Área de Instrumentación dispone de unos medios humanos y materiales estructurados en tres grupos: Proyectos, Ingeniería, Producción y una Secretaría.

El primer grupo lo componen los gestores de **Proyectos**, actualmente 8 titulados superiores. La **Ingeniería** está estructurada en 4 Departamentos: Electrónica, Mecánica, Software y Óptica; la componen 43 titulados superiores de las diferentes especialidades de Ingeniería (Industrial, Telecomunicaciones, Informática, Aeronáutica) y de Ciencias (Físicas y Matemáticas). **Producción**, con 4 titulados superiores, 1 titulado medio y 23 técnicos, se estructura en: Taller de Mecánica, Taller de Electrónica, Gabinete de Delineación Técnica y Servicio de Mantenimiento Instrumental. **Secretaría**, compuesta por 3 personas.

INGENIERÍA

Ingeniería está estructurada en 4 Departamentos: Electrónica, Mecánica, Software y Óptica; la componen titulados superiores de las diferentes especialidades de Ingeniería (Industrial, Telecomunicaciones, Informática, Aeronáutica) y de Ciencias (Físicas y Matemáticas).

MEJORA DE LAS CAPACIDADES

Departamentos y laboratorios

Como todos los años, en paralelo a la actividad dentro de los proyectos, se han realizado algunas mejoras al equipamiento de los laboratorios. A continuación se mencionan brevemente junto con los aspectos más relevantes de la actividad departamental en la participación en los proyectos del Área.

Departamento de Electrónica. Durante el año 2008 la actividad del Departamento se ha centrado en la integración y puesta a punto de los sistemas de adquisición de datos y de control para el Proyecto OSIRIS, instrumento científico de Primera Luz para el telescopio GTC. El instrumento, integrado en su totalidad el pasado año, concluyó con éxito la fase de pruebas de laboratorio y se ha instalado con éxito en el telescopio. Grandes esfuerzos se han realizado también en el Proyecto WEB, que evaluará los sistemas de control de espejos segmentados en relación a su respuesta respecto al viento, y el Proyecto QUIJOTE, que implementa un telescopio de microondas con capacidad de medir la polarización del Fondo Cósmico de Microondas.

Este año el Departamento ha continuado sus actividades encaminadas a la utilización de la lógica reconfigurable (FPGA) en la instrumentación astrofísica, y especialmente en el campo de los procesados complejos de tiempo real realizados "sin programa", técnica en la que el IAC es pionero. Concretamente se realizó y presentó en el congreso SPIE, celebrado en Marsella, una evaluación teórica de la solución que requeriría el sensado de frente de onda para las estrellas láser de un telescopio supergigante, así como los resultados de laboratorio el los que se evaluaba el efecto de la aritmética entera en un sistema completo de Óptica Adaptativa de lazo cerrado.

Durante el año 2008, y con vistas al desarrollo del Proyecto QUIJOTE, que instalará en el Observatorio del Teide un telescopio e instrumentación para medir la polarización de la radiación de Fondo de Microondas, se procedió a dotar al Laboratorio de Electrónica de un Analizador Vectorial de Microondas, del fabricante Agilent, capaz de alcanzar los 50 GHz.

También se realizó la adquisición de una mesa óptica de 2500x1200 mm que se instaló en la Sala Apantallada, al objeto de albergar en su superficie

los montajes de laboratorio requeridos para las pruebas de los sistemas de Óptica Adaptativa con FPGA (AOconFPGA). Fueron adquiridas igualmente las luminarias que permitirán renovar la iluminación de esta sala y hacerla regulable en intensidad, así como un conjunto de fuentes de luz láser para los montajes de laboratorio.

Durante 2008 se procedió a sustituir por obsoleto el sistema de control de acceso a los Laboratorios del Departamento de Electrónica, uniformizándolo con los laboratorios de Óptica y de Detectores (LISA), de forma que pueda gestionarse remotamente el acceso a los mismos y que el usuario disfrute de la comodidad de utilizar un único código para el acceso a todos ellos.

Departamento de Software. Al igual que en 2007, el Departamento ha centrado sus esfuerzos principalmente en el Proyecto OSIRIS, que fue instalado en el telescopio GTC a finales de año, y ha requerido la dedicación de más del 50% del Departamento. EMIR, que desde el punto de vista de software tiene mucho en común con FRIDA, es el siguiente proyecto con más actividad del Departamento, seguido por IMAx, QUIJOTE y en menor medida GREGOR, SIDE y las reformas de CAIN. HERSCHEL/PLANCK ha seguido en fase de mantenimiento después de la entrega del modelo de vuelo el año pasado y ha requerido unas intervenciones urgentes, dado la fase en la que se encuentra, pero mínimas. IMAx también superó la fase de integración del instrumento y a primeros de 2009 está integrándose con el telescopio y el resto de sistemas. Como nuevo Proyecto este año se puede mencionar el EST (European Solar Telescope) donde el Departamento participa en su diseño.

Departamento de Óptica. Durante el año 2008 los proyectos instrumentales para los grandes telescopios han absorbido la mayor parte de la actividad del personal del Departamento. Durante este año OSIRIS ha sido instalado en el telescopio GTC después de un año de pruebas y correcciones y el espectrógrafo de GREGOR fue integrado en su mesa óptica en el telescopio. Se ha mantenido la actividad en proyectos como EMIR, EDIFISE, la adaptación de UES o SIDE y ha habido un aumento de actividad importante en proyectos nacientes como el Telescopio Solar Europeo EST en donde se es responsable del diseño del espectrógrafo y se ha asumido el diseño óptico del telescopio, así mismo se ha iniciado el diseño de la pre-óptica de HARMONI y ha asumido el diseño y fabricación del sistema de fibras y el seguimiento de la fabricación de la óptica de ESPRESSO, espectrógrafo para el foco combinado incoherente de VLT. Asimismo el Departamento mantuvo su presencia en los desarrollos: APE, SCIDAR y DIPSI para el futuro telescopio ELT.

La inversión en el Laboratorio de Óptica durante el año 2008 se basó en continuar con la renovación del material optomecánico básico de dicho Laboratorio.

El Laboratorio de Óptica y su equipamiento también fue requerido por parte de otros grupos y proyectos para la realización de determinadas pruebas y medidas. En particular: el Proyecto IMAX requirió la medida del error de frente de onda de una placa de diversidad de fase, Gert Rasking del telescopio MERCATOR solicitó la medida del error de frente de onda y de eficiencia en reflexión del recubrimiento un espejo de test para el futuro espectrógrafo Hermes y la empresa Sariki solicitó el arreglo de un haz de fibras de iluminación de sus equipos. El equipamiento requerido ha sido el interferómetro Zygo, el espectrofotómetro Cary-5 y la bancada clase 100 de la Sala Limpia.

Departamento de Mecánica. Como en 2007, el Departamento ha seguido centrando sus esfuerzos en los grandes proyectos instrumentales del telescopio GTC, OSIRIS y EMIR, manteniendo su involucración en FRIDA, GREGOR, LIRIS, y para el telescopio IAC-80 en la nueva Caja de Adquisición y Guiado y en el espectrógrafo MERLIN. Asimismo el Departamento ha mantenido su presencia en los estudios de desarrollos para el futuro proyecto europeo (ELT), SCIDAR y WEB, y junto con GRANTECAN S.A., en el contrato del estudio del sistema de soportes de los espejos del primario del telescopio ELT, participando además en el nuevo consorcio europeo del instrumento CODEX, futuro instrumento del telescopio ELT y ESPRESSO, precursor del anterior para la VLT. Finalmente, el Departamento ha comenzado a participar en nuevos proyectos, como NAHUAL, para el telescopio GTC, HARMONI futuro instrumento del telescopio ELT y en el telescopio EST (European Solar Telescope), así como en dos actividades dentro del FP7 (7º Programa Marco Europeo), "Advanced Cryogenic Nodes" y "Cryostat of High Thermal Stability".

En cuanto a equipamiento, el Laboratorio de Mecánica ha mejorado su infraestructura para el almacenamiento y manipulación de componentes. Se ha ampliado la dotación de herramientas de uso general, incluyendo calibres, así como una cuba de ultrasonidos. Para la sala de criogenia, integrada en el Laboratorio de Óptica, aunque de propósito general, se ha ampliado la dotación de hardware de vacío y criogenia, adquiriéndose nuevos armarios para su traslado a la Sala Limpia de la Sala de AIV a principios del próximo año. En la sala de CAD/CAE se han sustituido las pantallas de los ordenadores, por pantallas TFT de 24".

Departamento de Gestión de Proyectos. El Departamento de Proyectos concentra su actividad en la gestión e ingeniería de sistemas de los proyectos instrumentales del Área. El mayor porcentaje de tiempo está dedicado a los instrumentos del telescopio GTC (OSIRIS, EMIR, NAHUAL), y a los estudios de diseño de grandes telescopios (ELT, EST). También desde el Departamento se lleva la gestión de la mayoría del resto de proyectos instrumentales del Área, en concreto EDIFISE, OGS, LIRIS, IMAx, QUIJOTE, HERSCHELL-PLANK, ESPRESSO, LGS. A su vez se llevan a cabo tareas menores de gestión o ingeniería en otros proyectos como FRIDA, GTC Óptica Adaptativa, Laboratorio de Calibración, Sala AIV, Óptica Adaptativa con FPGA. De cara a la mejora y estandarización de la gestión de proyectos, se ha continuado con la evaluación de herramientas de control de configuración, gestión de requisitos y se ha adquirido un servidor para facilitar el compartir la información de planes y recursos de los proyectos.

Puede observarse que el grueso del tiempo de Ingeniería está dedicado a los Proyectos, quedando una cifra levemente superior al 10% para los demás temas identificados. En Organización y Gestión, un 6%, se incluye la Gestión de los Departamentos y el tiempo dedicado a los Laboratorios, al estudio o realización de trabajos internos, o a la compra, recepción y puesta en marcha de equipos para los Departamentos o Laboratorios, al Comité de Empresa, la atención a visitas, etc. El tiempo dedicado a la Organización y Gestión de la Ingeniería ha sido prácticamente igual el registrado en el año pasado.

En cuanto a la Formación, 4% es el tiempo dedicado actividades formativas formales de carácter general, como cursos, congresos, ferias, y no incluye la formación específica que se pueda adquirir durante el desarrollo de un proyecto instrumental. Este valor es levemente superior al registrado el pasado año, debido esencialmente a la asistencia al congreso bianual de la Sociedad SPIE, que es la referencia mundial en instrumentación astrofísica.

El 1% dedicado a Servicios por parte de Ingeniería, incluye principalmente el tiempo dedicado a la resolución de consultas técnicas, tanto internas como externas al IAC y la asistencia a Mantenimiento Instrumental, y es sensiblemente inferior al registrado el pasado año.

A continuación, en el Gráfico II, se puede ver el reparto de tiempos entre los diferentes proyectos, de un total acumulado de poco más de sesenta mil horas de Ingeniería.

ACTIVIDAD

Este apartado describe el desglose de las actividades de Ingeniería durante 2008.

El siguiente gráfico (Gráfico I) muestra la distribución del empleo del tiempo en la Ingeniería según el tipo de actividad, esto es, dedicación a Proyectos, Formación, Servicios, y Organización y Gestión Interna.

Gráfico I

Distribución por actividad

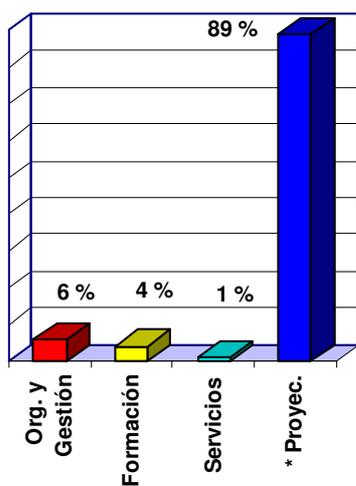
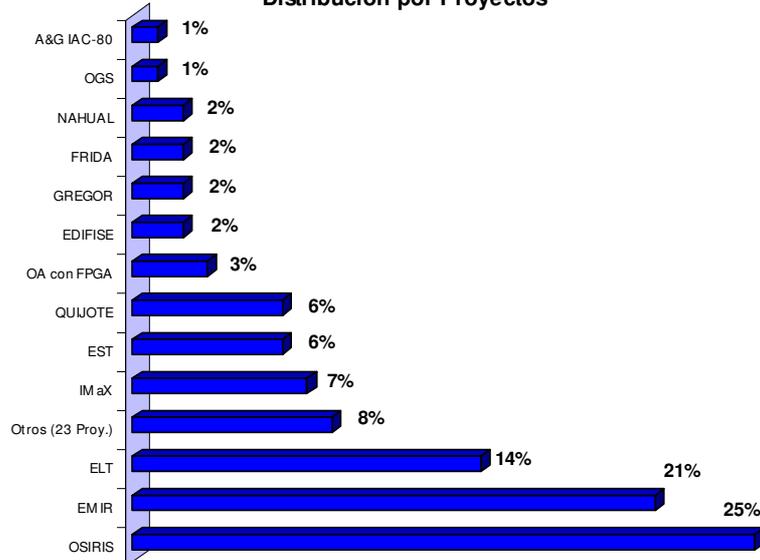


Gráfico II

Distribución por Proyectos



* Ver Gráfico II

Se ha identificado individualmente a los proyectos que ocupan más del 1% del tiempo total de Ingeniería dedicado a los mismos, englobando los restantes en una sola barra (OTROS –23 Proy.) que alcanzan en total el 8% del esfuerzo disponible, y se reparte entre 23 actividades. Dentro de este apartado se engloban principalmente las actividades en SIDE, ESPRESSO, y las reformas y adaptaciones de la cámara CAIN, que suman cada uno más de 400 horas de trabajo durante 2008.

Siguiendo con la tendencia ya registrada en años anteriores, los esfuerzos se han concentrado en los proyectos de instrumentos para el telescopio GTC, y en los desarrollos tecnológicos orientados a telescopios supergigantes (ELT). OSIRIS con un 25% representa un valor similar al del año pasado y EMIR con un 21% ha crecido dos puntos porcentuales respecto al año anterior. Entre ambos emplean más de un 46 % de la capacidad total.

NAHUAL, OGS, Óptica Adaptativa con FPGA, FRIDA e IMAX mantienen unos niveles de actividad similares a los del año anterior, así como EDIFISE y GREGOR, aunque este último ha duplicado su actividad debido a la integración del espectrógrafo responsabilidad del IAC.

Cabe citar expresamente el inicio en el año 2008 de las actividades encaminadas a la elaboración de una propuesta de Telescopio Solar Europeo (EST), que ha supuesto ya en este año un 6% del esfuerzo de Ingeniería disponible. El mismo porcentaje ha sido dedicado al Proyecto QUIJOTE.

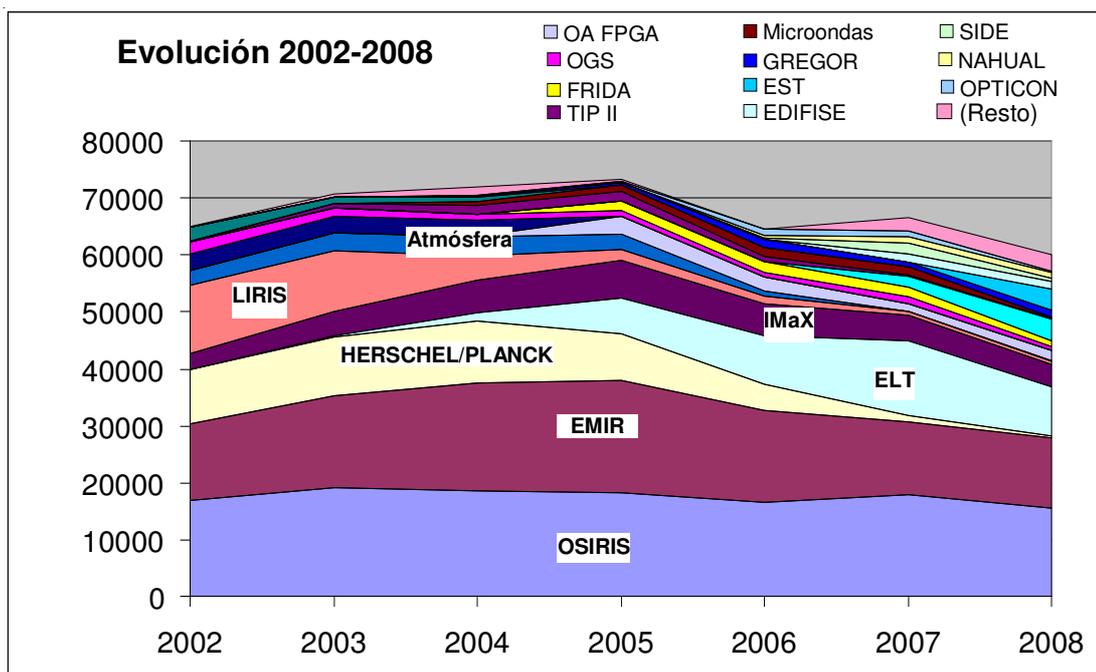
El empleo del tiempo de Ingeniería disponible puede verse también desde una perspectiva multianual, con ayuda del gráfico (Gráfico III) que representa la evolución del tiempo de dedicación a los diversos proyectos desde el año 2002 al 2008, ambos inclusive. En esta gráfica se hacen constar identificados independientemente los proyectos que en este periodo utilizaron más del 0,5 % del tiempo total, mientras que los demás se han agrupado en el epígrafe "Resto", el cual supone un 1,6% del total.

El aumento de horas hasta 2005 y la disminución que se aprecia hasta 2008 se debe a las diferencias entre incorporaciones y bajas de personal de Ingeniería.

El gráfico (Gráfico III) muestra claramente la gran dedicación a OSIRIS y EMIR, que han utilizado casi la mitad (49,2%) del tiempo de ingeniería de los siete años representados. Se observa varios proyectos que terminan efectivamente como LIRIS, las actividades de Caracterización Atmosférica y el satélite HERSCHEL/PLANCK, y el arranque con energía de QUIJOTE y del Telescopio Solar Europeo (EST). También se muestra un cierto descenso en las actividades de desarrollo para el telescopio ELT y en Proyecto IMAX.

La siguiente tabla (Gráfico IV) muestra, esquemáticamente, la dedicación de los ingenieros a los principales proyectos durante 2008. El tono más oscuro de la casilla indica un mayor número de horas dedicadas a ese proyecto y la letra "G" indica que es el encargado de la gestión. Las líneas en blanco reflejan una baja por incapacidad laboral temporal durante todo el año.

Gráfico III



En aspectos **electrónicos** o para el personal del Departamento de Electrónica, la formación ha consistido en:

- Congresos: IV Southern Programmable Logic Conference (Bariloche, Argentina) y "IFAC-Triennial Event of the International Federation of Automatic Control" (Seul, Corea del Sur).
- Cursos: "FPGA Xilinx" (Madrid); "FPGA" (Univ. de La Laguna); "Analizador de Redes de Microondas" (IAC) y "Project Management: Skill for success" (Londres, Reino Unido).

En aspectos de **software** o para el personal del Departamento de Software, la formación ha consistido en:

- Curso: "Twincat Programmable Logic Controller y Numerical Control Interpolation (Beckhoff)" (Barcelona).
- Seminario: "Desarrollos actuales y tendencias de la tecnología en la automatización y soluciones en aplicaciones mediante la utilización de la tecnología de Beckhoff" (Barcelona).

Además de esta formación formal, miembros del Departamento de Software también han empleado un tiempo de formación en conocer el sistema de control del telescopio GTC, Python y Programación en Java.

En aspectos **ópticos** o para el personal del Departamento de Óptica, la formación ha consistido en esencialmente en las acciones multidisciplinares antes mencionadas, especialmente el congreso de la sociedad SPIE y el curso de Óptica Adaptativa, a los que también asistió gran número de personas de otros Departamentos.

Asímismo A. Calcines, F. Gracia y M. Insausti asistieron en Stansted (Reino Unido) a un curso de diseño óptico introductorio usando el programa Zemax, como curso de formación externa.

En aspectos **mecánicos** o para el personal del Departamento de Mecánica, la formación ha consistido en:

- Congreso: "VIII Congreso Internacional de Mecánica Computacional (WCCM8)" (Italia).
- Cursos: "Axiomatic Design for Complex Systems", "Tribology: Friction Wear and Lubrication" (EEUU); "System Engineering Workshop" (Reino Unido); "Fundamentos Ópticos e Instrumentación", "Administración Intralink V9", "Usuarios de Intralink V9" y "Actualización Wildfire 4" (IAC).

En aspectos relacionados con la **gestión de proyectos, gestión de recursos humanos o calidad**, ha habido las siguientes actividades formativas:

- Cursos: "Systems Engineering for Technology-Based Projects and Product Developments" y "Project Management: Skill for success" (Reino Unido); "Ingeniería de Sistemas" (Madrid); "Gestión Integral" (IAC); y "Software de control TwinCat PLC y NCI" (Barcelona).

Finalmente, hay que mencionar que al igual que otros años, los presupuestos de formación también han permitido las visitas a los Observatorios del IAC para que las personas recién incorporadas o becarios los conozcan.

En cuanto a los aspectos económicos, este año el IAC ha invertido unos 89.000 € en dar formación a sus ingenieros y gestores, lo cual supone un incremento del 80% respecto al año anterior, que se explica por la presencia este año del ya mencionado congreso bianual de la sociedad SPIE. Una parte de este importe ha sido sufragado por el presupuesto del Área y el resto por los proyectos instrumentales y por la convocatoria de "Formación Continua" financiada por el Ministerio de Administraciones Públicas.

Este año se ha aplicado por primera vez el procedimiento de formación del IAC, que comienza detectando las necesidades de formación, mediante una serie de entrevistas individualizadas de cada persona con su mando inmediato para obtener una lista priorizada de necesidades, la cual se coordina en la Comisión de Formación del IAC con los diversos departamentos y servicios del mismo. Como resultado global se obtiene un calendario de cursos que son programados a lo largo del año y cuya asistencia es ofrecida al conjunto del centro, pero especialmente a quienes dicha carencia de formación les fue detectada.

Este procedimiento de formación contempla también la redacción de formularios de expectativas de cada curso antes del mismo, y de satisfacción al final, de forma que exista una documentación sobre la que basar decisiones posteriores respecto a los criterios organizativos y los demás parámetros relevantes.

En general, las actividades de formación han sido bien valoradas por los asistentes. La estadística total, obtenida a partir de las estadísticas de satisfacción realizadas por el Área de Instrumentación, muestra los siguientes valores:

Aspecto	Valoración* (de 1 a 5)
- Contenido	3,4
- Duración	3,5
- Profesor	4,0
- Aplicabilidad de los conocimientos	4,0
Valoración global	3,7

La comparación con los valores obtenidos en 2007 muestra un resultado que levemente mejora la aplicabilidad de los conocimientos a que se refieren los cursos, y un poco inferior en los demás temas.

La tabla completa con todos los detalles de las actividades de formación, sus valoraciones y los comentarios que algunos asistentes han hecho, se encuentra en la Secretaría del Área donde puede ser consultada para la organización y planificación de futuras actividades formativas.

También se ha seguido con la política de dejar una copia del material formativo en el Archivo Documental para conservar y difundir el conocimiento entre los miembros del Área.

PERSONAL

Las altas han sido las siguientes:

- Departamento de Electrónica. No experimentó bajas ni nuevas incorporaciones durante 2008, aunque merece la pena destacar la obtención de contrato indefinido por parte de R. Hoyland y J.M. Delgado, quienes venían ejerciendo como interinos en las referidas plazas, la reincorporación de H. Chulani durante los meses de abril-junio, y la obtención de contrato en el Proyecto EST por parte de Y. Martín, la cual venía trabajando en el proyecto de Desarrollo de Tecnologías para E-ELT.

- Departamento de Software: se han incorporado J. Rosich, en mayo, para trabajar en el desarrollo del software del Proyecto OSIRIS y UES; y J.M. Pérez Menor se ha incorporó en abril de 2008 para participar en el Proyecto FRIDA.

- Departamento de Óptica: se ha incorporado A. Calcines, contratada dentro del Proyecto EST.

- Departamento de Mecánica: se han incorporado D. Sosa Cabrera, en agosto, para trabajar en NAHUAL, S. Santana Tschudi, en septiembre, para trabajar en ESPRESSO; y N. Vega Reyes, en octubre, para participar en el Proyecto EMIR.

- Departamento de Gestión de Proyectos: se ha incorporado C. Grivel-Gelly, para trabajar en el Proyecto EST.

Han causado baja en el Área: Y. Padilla (Dpto. de Software); P. Saavedra, S. Becerril, (Dpto. de Mecánica). En excedencia L. Peraza y P. Redondo Caicoya (Dpto. de Mecánica).

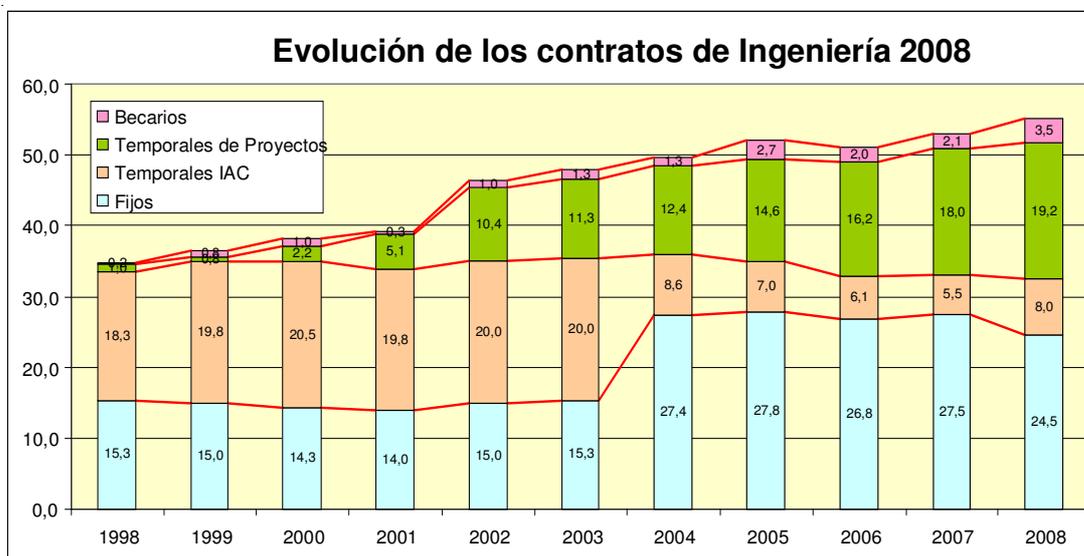
Evolución de los contratos

En el gráfico siguiente (Gráfico V) se muestra la evolución de los contratos de Ingeniería y los becarios de proyectos desde el año 1998. Es de destacar el incremento continuado desde el 2000 de los contratos en Proyectos a cargo de financiación externa, y el resultado del proceso de consolidación que terminó en 2004, gracias al cual, muchos contratados temporales pasaron a ser fijos. El incremento de personal, principalmente debido a la contratación realizada a partir de la financiación de proyectos, es de algo más de dos personas por año.

En el año 2008 se produce un descenso en el número de contratos fijos existente, debido a las excedencias solicitadas por el personal.

Dentro del programa de becas de verano, hemos recibido 6 estudiantes o recién titulados, y también hubo varios becarios de proyectos y estudiantes que realizaron su proyecto fin de carrera o una estancia en prácticas como parte de sus estudios académicos. Más adelante se menciona con detalle el trabajo de cada uno de ellos.

Gráfico V



BECARIOS

Este año al igual que otros se ha dado la oportunidad a varios estudiantes o recién licenciados de disfrutar de una beca para la realización de un estudio o trabajo en el Área de Instrumentación que en algunos casos ha servido para la realización posterior del proyecto fin de carrera.

Becas de verano

Los 6 becarios seleccionados este año estuvieron en el IAC entre los meses de julio a septiembre.

- M. López Marrero (Ingeniero Electrónico por la Universidad de La Laguna). Colaboró en el Laboratorio LISA (Laboratory of Imaging and Sensors in Astronomy) con la automatización de los mecanismos del banco óptico y con rutinas de procesado, utilizando la plataforma LABVIEW.
Supervisor: *J.J. Díaz García*.

- S. Peña Luque (Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Málaga). Colaboró con el Proyecto FASTCAM realizando la recopilación y el análisis de los datos obtenidos en las múltiples campañas de observación, desarrollando para ello un conjunto de rutinas MATLAB que permiten extraer los parámetros estadísticos principales de cada uno de los cubos de imágenes de corta exposición que típicamente arroja el sistema de adquisición de datos de FASTCAM.
Supervisor: *L.F. Rodríguez Ramos*.

- J.L. González Bravo (Estudiante de Ingeniería Informática en la Universidad de La Laguna). Colaboró activamente en el seno del Proyecto IMAx que tiene por finalidad la construcción de un instrumento para la observación de los campos magnéticos solares mediante cámaras para el análisis de la polarización solar. Dicho instrumento se encuentra en desarrollo en el IAC y próximamente será lanzado en globo desde el Ártico. Durante su estancia su tarea principal consistió en el desarrollo de dos librerías Java completas para el manejo de paquetes de datos estructurados y descritos utilizando XML.
Supervisor: *J. Marco de la Rosa*.

- L. Fontanillo Fontanillo (Estudiante de Ingeniería Informática en la Universidad de Salamanca). Colaboró en el Proyecto OSIRIS que tiene por finalidad la construcción de una cámara y espectrógrafo de resolución intermedia en el rango visible para el telescopio GTC. Las tareas que realizó durante su estancia consistieron en participar en el desarrollo del software para el control distribuido en tiempo real del dispositivo de enfoque del detector del instrumento.
Supervisor: *J.C. López*.

- A. Jalal (Estudiante Erasmus de Ingeniería Informática en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid). Colaboró en el Proyecto QUIJOTE-CMB, que tiene por finalidad la construcción de un telescopio de microondas para la caracterización de la polarización del Fondo Cósmico de Microondas. Durante su estancia participó en el desarrollo de una herramienta software de análisis y validación de datos, realizada con MS-Access y LabView.
Supervisor: *F. Gómez Reñasco*.

- N. Vega Reyes (Ingeniero Industrial por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria). Colaboró en el Proyecto EMIR. Durante su estancia trabajó en las pruebas funcionales y de prestaciones criogénicas del prototipo de la rueda de grismas, así como en la puesta en operación y caracterización criogénica del criostato de pruebas multipropósito de EMIR, EMCTS.
Supervisor: *V. Sánchez de la Rosa*.

Estancias en prácticas

- S. Yamouni, estudiante en prácticas del Instituto Superior de Mecánica de París (SUPMECA) estuvo desde marzo a agosto del colaborando en el desarrollo mecánico del Proyecto QUIJOTE.
Supervisor: *R. Hoyland*.

- R. Bierent, estudiante en prácticas del Instituto Politécnico Nacional de Grenoble, tuvo una estancia en prácticas de abril a agosto colaborando en el Proyecto QUIJOTE.
Supervisor: *F. Gómez Reñasco*.

Proyectos Fin de Carrera

- M. López Marrero (Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad de La Laguna). Realizó su proyecto fin de carrera en el tema "Recuperación de fase a partir de imagen PSF de FASTCAM", El resultado de este trabajo fue presentado en el Congreso de SPIE'08 en la ciudad de Marsella, ya que permite calcular de forma relativamente simple las deformaciones estáticas de un telescopio.
Supervisor: *L.F. Rodríguez*.

- I. de Fuentes Arteaga (Estudiante de Ingeniería Técnica Mecánica). Esta realizando su proyecto de fin de carrera basado en el diseño conceptual y análisis de la estructura soporte de la reconfiguración del espectrógrafo de dispersión cruzada UES para el telescopio GTC. El proyecto contempla el diseño de los posibles soportes mecánicos para los componentes ópticos según el nuevo diseño óptico. Se define una base estable y se contemplan diversas opciones de configuración

y sistemas móviles. También se incluye el cierre en una cámara o contenedor refrigerado que garantice la estabilidad de la temperatura mejor que 0,01°C. Supervisor: *R. López*.

- A. Pérez García (Estudiante de Ingeniería Técnica Industrial, de la Universidad de La Laguna). Terminó su proyecto fin de carrera en el Departamento de Mecánica. El proyecto consistió en la realización del diseño detallado del mecanismo del sistema de cierre de la ventana del criostato del instrumento EMIR. Supervisor: *J. Pérez Espinós*.

- Á. García Mato, estudiante de Ingeniería Superior Industrial, de la Universidad de Vigo) Terminó su proyecto fin de carrera en el Departamento de Mecánica. El proyecto consistió en la puesta a punto de criostatos y diseño de infraestructuras criogénicas y de verificación del instrumento EMIR, centrado básicamente en la puesta en operación y

caracterización criogénica del criostato de pruebas multipropósito de EMIR, EMCTS. Supervisor: *V. Sánchez de la Rosa*.

Otras becas

- J.J. Piqueras (Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad de Cartagena). Se incorporó como becario al Departamento de Electrónica para formarse en el diseño y desarrollo de sistemas de lógica reconfigurable (FPGA), realizó dichas actividades hasta el mes de julio, en el que fue contratado para trabajar en el Proyecto IMAX. Supervisor: *L.F. Rodríguez*.

- Y. Padilla Michel (Licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad de Guadalajara, México). Obtuvo una beca del IAC, en el Departamento de Óptica, dentro de su programa de formación en desarrollo tecnológico. Supervisor: *J.L. Rasilla*.

PRODUCCIÓN

Producción se estructura en: Taller de Mecánica, Taller de Electrónica, Gabinete de Delineación Técnica y Servicio de Mantenimiento Instrumental.

TALLER DE MECÁNICA

Mejoras en infraestructura

Durante el año 2008 las mejoras en infraestructura realizadas en el Taller de Mecánica se enfocaron hacia el aumento de las prestaciones de la maquinaria existente.

En relación con Metrología Dimensional se calibró y verificó la máquina de medir por coordenadas y se compraron diversos micrómetros digitales para medir diámetros interiores y un durómetro portátil. Para mantener los productos adhesivos que se utilizan en condiciones adecuadas se adquirió una nevera.

Respecto a la maquinaria de desbaste se reemplazó el cabezal del centro mecanizado H-400 y se verificó el funcionamiento de las distintas máquinas CNC, continuando con acciones encaminadas a mejorar el sistema CAD/CAM en estas máquinas.

Formación

El personal del Taller de Mecánica asistió a los cursos:

- Primeros auxilios.
- Almacenamiento.
- Equipos de manejo de materiales y condiciones de seguridad.
- Riesgos y medidas preventivas en almacenes.

- Manejo de Nitrógeno Líquido.
- Curso básico de prevención.
- Curso de Seguridad en operaciones de mantenimiento.
- Riesgos y medidas preventivas en el puesto de operador de puentes grúa.
- Riesgos y medidas preventivas en el puesto de soldador.
- Soldadura.
- Formación en los procedimientos: electrodo revestido y M.A.G.
- Mecanizado con fresa con Pro/Engineer.
- Carretillas elevadoras.
- MCOSMOS Y CNC y SCANPAK para máquinas de medir por coordenadas (nivel 1).
- Formación y actualización del funcionamiento y proceso de órganos de selección.

Asistencia a los seminarios de:

- Digitalización con sensores láser.
- Metrología dimensional de grandes volúmenes.

Asistencia a las Ferias:

- Salón Internacional de la Seguridad.
- Bienal de la Máquina-Herramienta.

También se visitaron los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos.

El porcentaje dedicado a este capítulo representa el 3,6% del total de actividad.

MEMORIA
IAC 2008

171

Actividad

La actividad desarrollada por el taller de mecánica durante el año 2008 ha estado relacionada con trabajos solicitados por Proyectos, Departamentos y Servicios del IAC:

- Proyecto OSIRIS - 1.794 h. (14,87%)
- Proyecto EMIR - 1.721 h. (14,2%)
- Proyecto Operaciones de las Instalaciones Telescópicas - 439 h. (3,6%)
- Proyecto ELT - 339 h. (3,3%)
- Proyecto GREGOR - 384 h. (3,1%)
- Departamento de Óptica - 368 h. (3%)
- Taller de Mecánica - 9,6% del total de horas en tareas de mantenimiento y conservación de las instalaciones y maquinaria. El resto de horas trabajadas en el, que representa un 25,83%, se emplearon en Proyectos como: FASTCAM, Sismología Solar y Estelar, Mantenimiento Instrumental, Estudio Anisotrópico de Fondo Cósmico, etc.

TALLER DE ELECTRÓNICA

Mejoras en infraestructura

Para adaptarse a la Normativa de Soldadura sin plomo se adquirieron:

- 5 Estaciones de soldadura para sobremesa WELLER WD100T y accesorios correspondientes.
- Una estación de soldadura/Rework de aire caliente WELLER Mod. WHA3000P y accesorios.
- Una estación de soldadura para SMD/Rework MRF Mod. MX-500DS-21 y accesorios.

Para facilitar los trabajos con cables para criogenia se adquirió un equipo RT2S Magnet Wire Stripper.

También se compraron herramientas de soporte tales como un multímetro y sonda amperimétrica, un carro para montaje de armarios, y útiles para taladro, motor fresador y mesa de cruz.

Respecto a la Seguridad y Salud y con vistas a mejorar los niveles de iluminación general se compraron 10 pantallas de 2 x 58W, y 5 de 2 x 58W.

Respecto a los puestos de las mesas de trabajo se adquirieron 5 lámparas Waldmann ESD STE136A, 2 lupas Waldmann ESD SNL 319A, y una lámpara Waldmann ESD SNE136.

Formación

El personal del Taller de Electrónica asistió a un curso sobre Técnicas de Soldadura y uno de los técnicos recibió un curso de Telemecanique.

Actividad

- Proyecto OSIRIS. Trabajos de AIV: armarios de control, sistema de refrigeración por agua glicolada y sistema de aire seco.
- Montaje PCB TCC-ITFC v.1: Soldadura BGA y Soldadura SMD a través de subcontratación en el IUMA (Las Palmas G/C).
- Realización y montaje de 4 Tarjetas "TF AdpaterCard", realizadas en el IAC mediante Ploter Fresadora LPKF Protomat S-100 ELT WEB. Realización del armario del controlador esclavo y sus cableados externos. Rack de control del perturbador y sus cableados externos.
- Cuadros eléctricos de alimentación de línea.
- Proyecto QUIJOTE-Montaje PCB: Detector Amp PCB.
- Soporte en la fabricación de elementos de micro-mecánica para Microondas mediante Ploter LPKF Protomat S-100.
- Proyecto IMAX. Soporte técnico y verificación de masas y tierras y realización de cables de H.V., realizados en el INTA (Madrid).
- Proyecto LIRIS. Soporte técnico en el ORM a la Unidad de MicroSwitches (HOME's) del módulo de ruedas de pupilas.
- Soporte Técnico en el ORM a la unidad de motores de la rueda de entrada.
- POLARÍMETROS. Cables de comunicación.
- ELT Tecnologías. Reparación MASS: reparación y sustitución de componentes SMD.
- Estudio de la RCM. Cableados y conexiones unidad de control.
- EDIFISE. Cables.
- Departamento de Óptica. Cables.
- Proyecto EMIR. Elaboración de cableados externos del criostato EMCTS. Integración de la electrónica en armario de control del criostato EMCTS en la Sala AIV. Cableados de sensores de criogenia.
- EDIFISE. Cables.

GABINETE DE DELINEACIÓN TÉCNICA

Mejoras en infraestructura

Para mejorar el mobiliario y en prevención de riesgos laborales se han renovado las sillas de trabajo.

Formación

El personal del Gabinete de Delineación Técnica asistió a los siguientes cursos:

- Proceso de los órganos de selección.
- Administrador de Intralink V9.
- Usuarios de Intralink V9.
- Actualización de Wildfire 4.
- Autocad V2008.

También se visitaron los Observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos.

Por último, señalar la continuidad en la formación interna, consistiendo ésta en la realización de ejercicios prácticos con nuestros propios manuales, lo cual ha resultado de una gran ayuda. Se continúa avanzando en el dominio con ProEngineer Wildfire, y aunque los avances son notorios, continuamos trabajando de Autocad.

Actividad

Los proyectos que han requerido servicio de Delineación Técnica han sido: OSIRIS, EMIR, Gregor, Fondo Cósmico, ELT/WEB, Lisa, Shabar, FastCam, PLANCK, Dpto. de Óptica, Mantenimiento Instrumental, IAC-80. Cabe destacar que los trabajos realizados a los cinco últimos han estado relacionados con diseños.

La empresa GRANTECANS.A. actualizó un volumen considerable de planos referidos al grupo cableado, estructura, torre de M3 y rotador Nasmyth.

También se han realizado trabajos colaborando en los proyectos de fin de carrera de dos alumnos de ingeniería, uno relacionado con EMIR (Sistema de cierre de la ventana de entrada) y otro para el Departamento de Mecánica (Diseño y análisis mecánico de la estructura soporte de un espectrógrafo de dispersión cruzada).

SERVICIO DE MANTENIMIENTO INSTRUMENTAL

Introducción

En el año 2008 el Servicio de Mantenimiento Instrumental, como en los años anteriores, realizó las labores normales que tiene asignadas. Como hechos más relevantes debemos citar las mejoras en equipos, formación y la participación en el sistema de control de la nueva caja de A&G del telescopio IAC-80. Tanto en esta instalación como en el telescopio TCS seguimos con la actualización de los equipos informáticos. En esta línea procedimos la substitución del PC de Control del telescopio IAC-80 y adquirimos seis nuevos PC's para los de control (2), substituir los de usuario (3) y el del TCP (Tromsoe CCD Photometer). En este año también cabe destacar el inicio de los trabajos en el DIMMA.

Algunos resultados relevantes

- Mejoras en la formación con respecto a la Seguridad e Higiene. En particular se realizaron cursos sobre

trabajo en altura y extinción de incendios.

- Reparación del mecanismo de los pétalos del OGS.

- Los trabajos en el sistema de control de la nueva Caja de A&G del telescopio IAC-80.

Mejoras en infraestructura

En 2008 se realizaron las siguientes inversiones:

- Adaptación del antiguo despacho de técnicos como Sala Limpia Clase ISO8 (antigua clase 100.000) en la que podrán realizarse tareas tales como reparación de criostatos y montajes de sistemas de vacío.

- Compra de dos llaves dinamométricas.

- Adquisición de una caja metálica para transportar el SFO.

- Adquisición de dos juegos de suspensión para la grúa del taller.

- Adquisición de un armario para cargas pesadas para la Sala Limpia de MI.

- Adquisición de una sierra de calar para uso en el OT.

- Adquisición de dos termómetros digitales de mano con rango -250 a 400 grados centígrados.

- Adquisición de dos balanzas electrónicas para uso como dinamómetro en el OT.

- Adquisición de un tanque de ultrasonido.

- Compra de un carro soporte para transportar criostatos.

- Ampliación de las líneas de aire comprimido en el Taller de la Sede Central.

- Modificaciones en la parte eléctrica e instalación de una línea de alimentación trifásica a 380V en el Taller de la Sede Central.

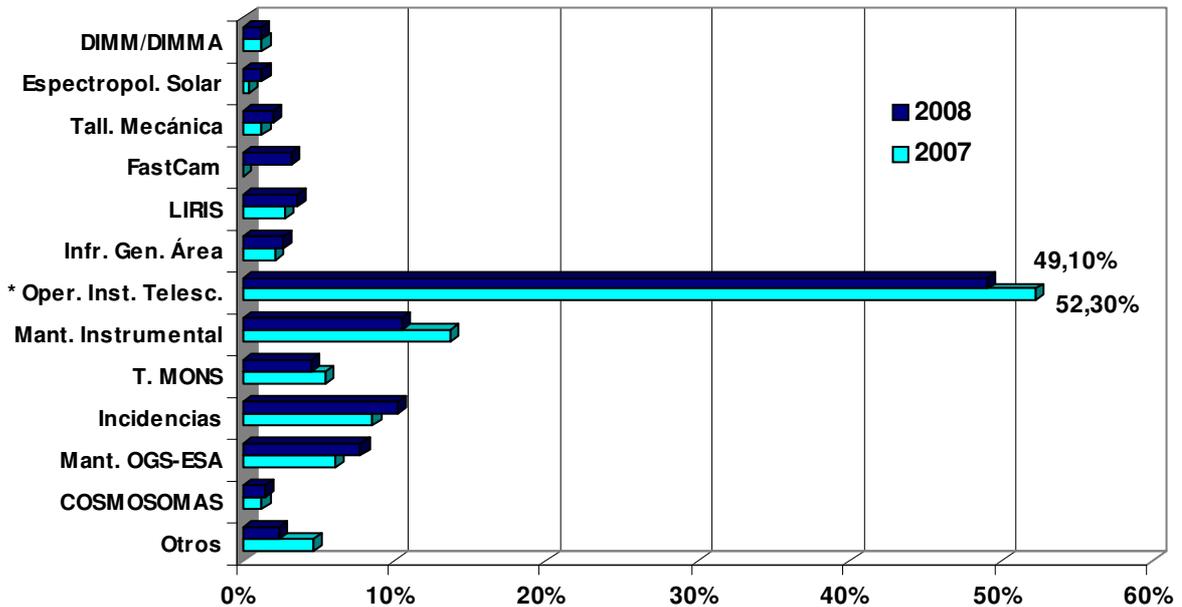
Actividad

Durante el año 2008 se facturaron un total de 6.566 h. distribuidas entre diversos Proyectos. En el Gráfico VI podemos ver esta distribución comparada con el año 2007. No hay cambios muy relevantes de un año al otro a excepción de FastCam por la necesidad de atender la instalación de ese instrumento en el ORM (telescopios NOT, WHT y GTC). En el telescopio TCS estos trabajos están incluidos en los cambios de equipo normales.

Proyecto Operación de las Instalaciones Telescópicas del IAC. Es la actividad que corresponde a la mayor dedicación del taller con un 49% del total. En el Gráfico VII se aprecia como se distribuyeron los trabajos por las diversas instalaciones.

Gráfico VI

Dedicación de Mantenimiento Instrumental a los diversos proyectos en 2007 y 2008



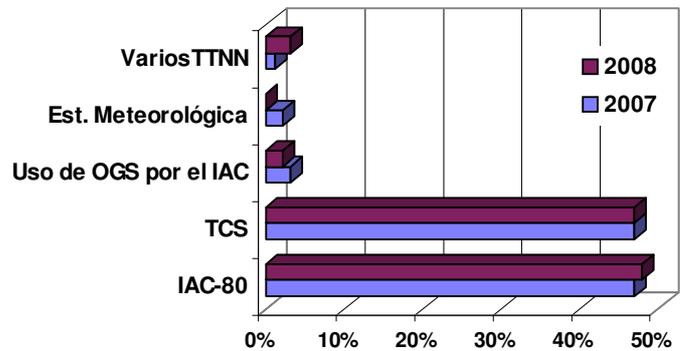
Ver Gráfico VII

Gráfico VII

En el Gráfico VIII se puede ver la distribución de trabajos en las más importantes (Telescopios IAC-80 y TCS).

Distribución de trabajos en las distintas Instalaciones Telescopicas

En el telescopio IAC-80, vemos un ligero aumento de los cambios de equipo debido a las pruebas realizadas que culminaron en la mejora del alineado del mismo.



La cámara CCD siguió presentando un problema de mal contacto en el cableado provocado por unos conectores defectuosos, la solución que se va a aplicar es cambiar la tarjeta donde van montados los mismos.

fiabilidad del instrumento el JOT decidió retirarlo de servicio de forma definitiva.

En lo que se refiere a mejoras, este año seguimos trabajando en sistema de control de la nueva Caja de Adquisición y Guiado del telescopio IAC-80. Se hicieron pruebas de funcionamiento simulado en telescopio del software y del cableado que va de la sala de control a control de mecanismos instalado en el pupitre en la cúpula. También se corrigieron algunos pequeños problemas y ya tenemos todo preparado para la integración con la mecánica.

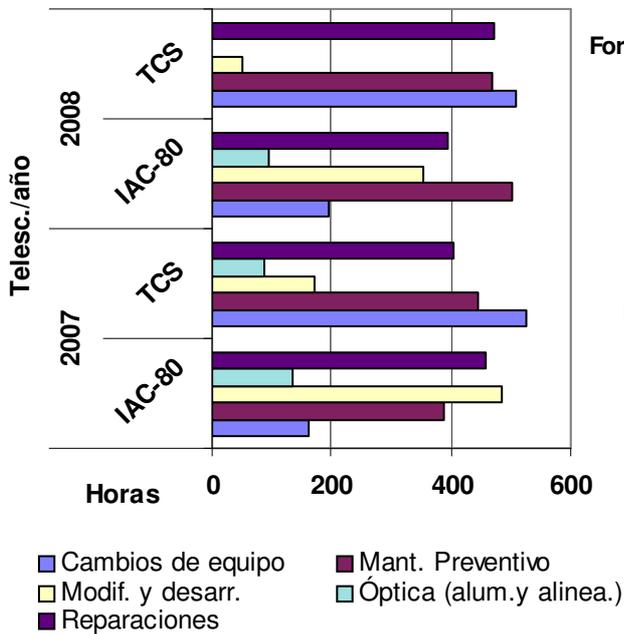
Un aspecto importante este año fue la actualización del hardware de los telescopios. Después de las pruebas realizadas el año pasado se adquirieron dos PC's, tipo Pentium 3, para junto con el ya existente substituir los PC's de control de ambas instalaciones. Tras estos cambios los dos telescopios funcionan perfectamente.

En el telescopio TCS seguimos con las pruebas de FIN. Pese a ya tener resuelto el principal problema al final se rompió el detector, del cual ya no había repuestos en el IAC. Dada la baja

Conjuntamente se compró un Pentium 4 y probamos el funcionamiento del software de usuario en el mismo. También aprovechamos el nuevo PC para realizar unas pruebas para substituir el ordenador del TCP, que no son conclusivas ya que hay

Gráfico VIII

Dedicación de Mantenimiento Instrumental en los telescopios IAC-80 y TCS



problemas con la versión del sistema operativo LINUX. En función de los resultados se adquirieron otros tres Pentium IV para utilizarlos como PC's de usuario (en los telescopios IAC-80, TCS y uno de repuesto). Estos PC's se instalarán en el primer trimestre de 2009. En cuanto al del TCP seguimos trabajando en su puesta en funcionamiento junto al SIC.

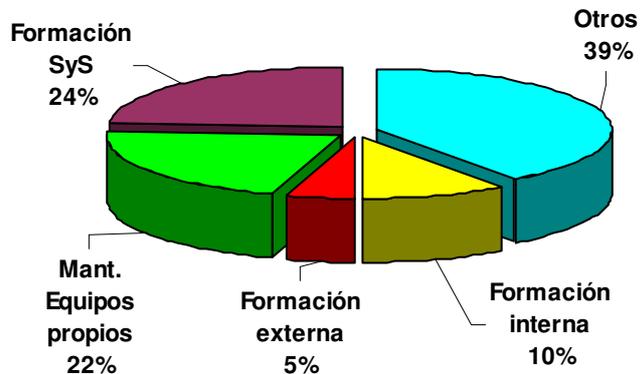
El propio servicio consumió 688 h. en el Gráfico IX se muestra como se repartió este tiempo a lo largo del año. Este año se bajó el tiempo dedicado a la formación técnica y en particular lo que se llama Formación externa donde hay que hacer una serie de puntualizaciones:

- Se canceló la participación del personal en las ferias MATELEC y SIMO (esta última se anuló).
- No se consiguieron los cursos previstos en las fechas en que podríamos realizarlos.
- Parte de las horas que se utilizaron en la Caja de A&G del telescopio IAC-80 fueron dedicadas a la formación en el software LabView.

Del tiempo utilizado en el mantenimiento de equipos propios se dedicó la mayor parte a la puesta a los montajes de una bomba Scroll y de una bomba turbomolecular para la Sala de AIV. Se utilizamos algunas horas en la puesta a punto de la Planta de Aluminizado para aluminizar espejos de la Pirámide. También se cambio el sistema de fijación a los telescopios de SFO y la preparación de una caja para transportar este instrumento.

Gráfico IX

Horas empleadas a lo largo de 2008 en actividades internas de Mantenimiento Instrumental



Otras actividades

Este año participamos en la instalación de FASTCAN en los telescopios WHT, NOT y GTC, actividad esta que consumió 208 horas. Es previsible que a lo largo de los próximos años tengamos que dedicar más tiempo a la misma.

También empezamos a responsabilizarnos por el mantenimiento del DIMMA en el ORM, y en el futuro en el OT. En el caso del ORM la instalación dispone de un sistema alimentación eléctrica por placas solares que exigirán una formación para poder realizar el mantenimiento del mismo.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Actividad

Tal y como es habitual en este Laboratorio, la actividad se centro en calibrar equipos y mantener al día los requerimientos necesarios para hacer frente a la auditoría anual al que es sometido por la ENAC (Entidad Nacional de Acreditación), y que fue superada sin incidencias.

Se calibraron equipos a BINTER CANARIAS, MAESSA e INGENIERÍA DE PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN, S.L.

Mejoras en Infraestructura

Aparte de la calibración anual de todos los patrones utilizados en las calibraciones se adquirió una maleta especial para el transporte del calibrador FLUKE 5320A.

ACCIONES DE APOYO TECNOLÓGICO

Este apartado hace referencia a los trabajos que se realizan para empresas tanto públicas como privadas, o para empresas vinculadas al IAC que solicitan trabajos no acordados. Como más relevantes destacar los siguientes:

- Por parte del **Laboratorio de Calibración:**

Para **BINTER CANARIAS**. Calibración de 3 multímetros y 1 fuente grelco.

Para **MAESSA**. Calibración de 2 pinzas amperimétricas.

Para **IPC TÉCNICO**. Calibración 1 pinza amperimétrica y 1 multímetro.

- Por parte del **Taller de Mecánica:**

Para **GRANTECAN S.A.**: Mecanizado de paneles de conectores. Preparación de la brida de CanariCam.

Para **THEMIS S.L.** Fabricación de diversas máscaras para observación. Fabricación de soporte de aleación de aluminio anodizado negro. Fabricación de piezas con acabado en anodizado negro.

- Por parte del **Gabinete de Delineación Técnica:**

Para **GRANTECAN S.A.** Actualizar 366 planos de Autocad.

- Por parte del **Servicio de Mantenimiento Instrumental:**

Para **THEMIS S.L.** Eliminar capas de aluminizado de tres espejos.

SALA DE ARMADO, INTEGRACIÓN Y VERIFICACIÓN (AIV) (4E2501)

E.J. Cadavid, V. Sánchez, J.A. Morrison, J.J. González, J.E. García, P.A. Ayala y S. Medina.

Evolución del Proyecto

En 2008 se realizaron las siguientes actividades y compras:

- Se extendieron las salidas de agua glicolada a casi todas las arquetas de ambas salas.
- Se instalaron manorreguladores y llaves de corte en todas las salidas de aire comprimido de los cuadros de las paredes.
- Se compraron dos mesas rodantes con 1,2x0,8 m para trabajos en la Sala de AIV.

En el apartado de seguridad y salud se realizamos las siguientes actividades:

- Se procedió el calibrado de sensores portátiles de nivel de oxígeno, al utilizarlos se comprobó que no estaban funcionando correctamente siendo devueltos al proveedor.
- Completar la señalización de riesgos y EPIs de la Sala de AIV.

- Se compraron los cubrecables para proteger los cables y mangueras que van por el suelo en la Sala de AIV.

- Se señaló por medio de carteles la carga máxima de la plataforma hidráulica de la Sala de AIV tanto como la distribución de cargas aceptable.

- Se adquirieron postes con cintas y barreras para delimitar zonas de trabajo en la Sala de AIV para evitar problemas de seguridad.

Otras cuestiones que afectaron la Sala de AIV fueron:

- Perdidas de aceite de los puentes grúa. Este problema se viene arrastrando desde el inicio de las operaciones. Se acordó una nueva visita con la empresa responsable de la obra, para finales de año pero se ha retrasado hasta principios de 2009.

- Se revisó el protocolo de uso de la Sala de AIV y se pasó al Jefe de Producción para su tramitación. Este es el documento base donde se especifican las reglas de uso y las diversas medidas de seguridad que son de obligatorio cumplimiento por los usuarios.

- Se averió el mecanismo de movimiento del rotador. El problema estaba en el controlador maestro. Se envió al fabricante que nos remitió otro nuevo. Una vez instalado el sistema seguía bloqueado más en este caso el problema e, falló en controlador del esclavo. Después de algunas pruebas decidimos

desmontar el motor controlado por el esclavo y el sistema ya se movía mas no permitía controlarse desde la terminal de forma correcta. Como el sistema era necesario para las pruebas de OSIRIS se dejó tal como estaba.

- Durante las prueba los ingenieros del Departamento de Óptica descubrieron que la programación funcionaba desde que se dividiese por 100 el valor que se deseaba introducir. Con esa restricción se realizaron las pruebas de OSIRIS que terminaron en diciembre y se programó el inicio de la reparación para principios de 2009.

ÓPTICA ADAPTATIVA CON FPGA

L.F. Rodríguez Ramos, T. Viera, Y. Martín y J.J. Piqueras.

Introducción

La lógica reconfigurable (FPGA Field Programmable Gate Array) utiliza software de alto nivel para la descripción de hardware y síntesis de circuitos, lo que facilita apreciablemente el desarrollo de sistemas hardware, constituyendo por lo tanto una poderosa herramienta que ha sido empleada en el IAC con éxito en varias aplicaciones. Esta técnica de realización de sistemas electrónicos digitales presenta como especial característica la facilidad de desarrollo, ya que la mayor parte del mismo se realiza con potentes herramientas informáticas de ayuda a diseño, incluyendo simulación. También ofrece un elevadísimo nivel de integración física, ya que en un único circuito integrado pueden incorporarse millones de puertas, lo que conduce a sistemas de dimensiones físicas extremadamente pequeñas.

Todas las prestaciones aludidas las presentan como especialmente adecuadas para resolver los problemas que aparecen en el diseño de sistemas de Óptica Adaptativa para telescopios grandes y, sobre todo, supergigantes, por lo que se ha propuesto y demostrado la utilización de las mismas con esta finalidad. Especialmente cabe destacar la utilización del procesado "sin programa", en el que el tiempo que los procesadores convencionales utilizan para recuperar el programa y decodificarlo, sencillamente se ahorra.

El objetivo del presente desarrollo consiste en la realización de un sistema completo de Óptica Adaptativa de laboratorio, que como característica especial tiene la realización de la TOTALIDAD del procesado en el interior de un único chip FPGA.

Algunos resultados relevantes

En septiembre de 2008 se procedió a mejorar apreciablemente el montaje del sistema de Óptica Adaptativa de laboratorio mediante la instalación de una única mesa óptica para todo el conjunto, lo cual redujo sensiblemente las vibraciones naturales que se observaban en el sistema debido a que éste se dividía entre dos mesas, una de las cuales era convencional. Dicha mesa óptica fue adquirida al fabricante Kinetic Systems y tiene casi tres metros cuadrados de superficie.

Durante la primera mitad del año se desarrolló un sistema para la medida de las perturbaciones estáticas del frente de onda, encaminado a identificar de forma simple las principales aberraciones del conjunto de espejos que forman un telescopio, todo ello a partir de la imagen obtenida mediante «Lucky Imaging» que ofrece el Proyecto FastCam, la cual responde muy exactamente a la respuesta impulsional (Point Spread Function, PSF) del telescopio. Esta actividad constituyó el proyecto de fin de carrera de M. López Marrero, y fue presentada como póster en el Congreso Internacional de SPIE en Marsella.

También durante el año se profundizó en el estudio de las consecuencias de la utilización de aritmética entera, común entre los sistemas de lógica reconfigurable, en el sistema de control de Óptica Adaptativa. Dichas conclusiones fueron también presentadas en el Congreso SPIE y pueden resumirse en que los efectos quedan por debajo de las demás limitaciones del sistema.

Por otra parte, habiendo observado mediante simulaciones que el cálculo de los desplazamientos de los centroides que requiere el sensor de frente de onda de tipo Shack-Hartmann arroja los mejores resultados cuando se realiza mediante correlación, se desarrolló en la segunda mitad de 2008 la implementación de dicho cálculo mediante FPGA, lo cual permite realizarlo en tiempo real incluso a la velocidad máxima de la cámara de 500 imágenes por segundo.

En abril de 2008 se hizo pública la licitación para el suministro del simulador de atmósfera y telescopio denominado IACAT, la cual se adjudicó en septiembre a la empresa LIDAX, S.A. Tras la firma de contratos y comienzo del Proyecto, se mantuvo en diciembre una reunión de PDR en la que se fijaron las líneas maestras del suministro, especialmente en lo que se referente a las placas de fase que se utilizarán para la simulación de la atmósfera.

EXPERIMENTO QUIJOTE-CMB (3I2607, 3E5407)

J.A. Rubiño.

J.M. Herreros, M.F. Gómez, C. Gutiérrez de la Cruz, S. Hildebrandt, R. Hoyland, R. Rebolo y M. Tucci.

L. Piccirillo, R. Watson, R. Davis y R. Davies (Jodrell Bank, Reino Unido); M. Hobson, R. Saunders y K. Grainge (Cavendish Astrophysics Group, Reino Unido); E. Martínez-González, J.L. Sanz, P. Vielva y D. Herranz (IFCA, Cantabria).

Introducción

El Experimento Quijote CMB (Q-U-I Joint TEnerife Cosmic Microwave Background) es un proyecto internacional de colaboración científica y tecnológica liderado por el IAC. El consorcio de instituciones que define, desarrolla y financia el Proyecto está formado por el Instituto de Física de Cantabria, la empresa IDOM Ingeniería y Consultoría S.A., las Universidades de Cantabria, Manchester y Cambridge, y por el IAC.

El principal objetivo de QUIJOTE es medir y caracterizar la polarización de la radiación de Fondo Cósmico de Microondas (FCM) y de otros procesos físicos galácticos y extragalácticos que emiten en el rango de frecuencias de microondas entre 10 y 30 GHz.

El experimento ha sido concebido para alcanzar la sensibilidad necesaria para detectar una componente de ondas gravitacionales primordial si ésta tuviera una razón tensorial a escalar de 0.1. Dicha componente de ondas gravitatorias deja su impronta en el espectro de potencias de la polarización del FCM en forma de los denominados "modos-B". La detección de dichos modos-B con esa amplitud abriría un camino extraordinario para esclarecer la física de la época de inflación.

Para alcanzar los objetivos científicos del Proyecto se deberán construir cinco mapas del cielo que cubrirán un área de unos 10.000 grados cuadrados con un grado de resolución espacial, y con un nivel de sensibilidad de 3-4 micro-K por haz tras un año de operación con el primer instrumento, el de bajas frecuencias, de 11 a 19 GHz, y 1 micro-K por haz tras dos años de observación con el segundo instrumento en la frecuencia de 30 GHz.

Estas medidas de polarización de la radiación del FCM serán las más sensibles obtenidas para caracterizar la polarización de la emisión sincrotrón y anómala de nuestra Galaxia, complementarán a baja frecuencia y corregirán de contaminación

galáctica las que obtenga el satélite Planck cuyo lanzamiento está previsto para abril de 2009.

Desde el año 1996 el IAC viene participando en Planck de forma activa en la concepción y desarrollo de la carga útil científica, y en la definición y planificación de la ciencia que se realizará a partir de su lanzamiento. Su objetivo principal es obtener nueve mapas de todo el cielo en el rango de frecuencias 30-900 GHz con una resolución y sensibilidad sin precedentes. A partir de estos mapas se podrá cartografiar las fluctuaciones de la radiación de fondo cósmico de microondas, radiación interpretada como el remanente de la fase inicial del Universo que se conoce como Big-Bang.

El Proyecto QUIJOTE abarca la instalación en el Observatorio del Teide de un edificio y cubierta móvil que albergará dos telescopios de microondas, los cuales dispondrán en su plano focal de dos instrumentos independientes. QUIJOTE se controlará de forma local desde el propio OT o remota desde la sede central del IAC, en La Laguna, y por Internet desde cualquier parte del mundo.

Ambos instrumentos consisten básicamente en un array de polarímetros, con amplificadores con tecnología HEMT de muy bajo nivel de ruido, enfriados a temperaturas de 20 °K. El experimento hará uso de la tecnología más moderna en el campo del control y de la instrumentación de microondas.

Una medida tan precisa de polarización del Fondo Cósmico requiere una instrumentación novedosa en el campo de microondas. En el IAC y dentro del Proyecto QUIJOTE se ha desarrollado un nuevo modulador polar que tiene prestaciones únicas en términos de aislamiento entre las dos polarizaciones ortogonales, pérdidas de inserción y ancho de banda. Su principio se deriva de la conocida "half-wave-plate" por lo que el modulador gira sobre un eje determinado, el control de su posicionamiento y velocidad, el procesamiento de las señales de microondas, así como su sistema de adquisición de datos, son fundamentales para su éxito como instrumento.

Un reto de esta instrumentación es que pretende funcionar a temperaturas de 20 °K (-253°C) lo cual complica su control, sin embargo, el diseño está basado en una ingeniería conocida con lo que se espera completar e instalar toda la instrumentación en los plazos requeridos por el Proyecto.

Para conseguir resultados competitivos con los proyectos en curso llevados a cabo por el resto de la comunidad científica especializada, el experimento deberá estar totalmente operativo en el tercer trimestre de 2009.

Algunos resultados relevantes

Entrega al IAC del primer telescopio.

Entrega de los amplificadores de bajo ruido (LNA), moduladores polares y OMTs.

Realizadas las medidas de los parámetros "S" con resultados muy satisfactorios en los moduladores polares.

Evolución del Proyecto

El experimento se realiza en de dos fases. Una primera fase, ya financiada y en desarrollo, en la que se instalará el edificio, el primer telescopio y el primer instrumento. Este primer instrumento incluirá 5 polarímetros operando en las distintas bandas de frecuencia: 2 polarímetros a 10-14 GHz (16 canales), 2 polarímetros a 17-20 GHz (16 canales) y 1 polarímetro a 30 GHz (2 canales). Ver Figuras 1 y 2.

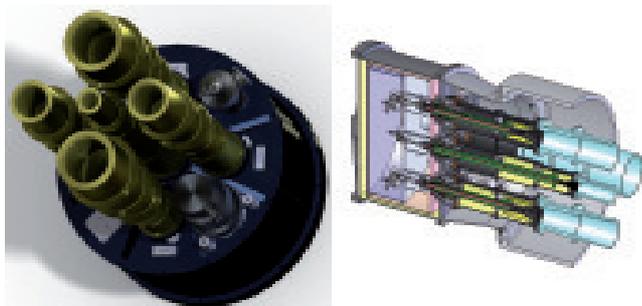


Figura 1 (Izquierda). Conjunto plano focal del primer instrumento.

Figura 2 (Derecha). Corte del conjunto plano focal del primer instrumento.

El diseño propuesto de telescopio consiste en un reflector con montura alt-acimutal de configuración óptica "Offset Gregorian Dragone", de 2,5 m de diámetro de primario y 2,0 m de secundario. Con la capacidad de movimiento ilimitado en el eje vertical y la limitación en el eje horizontal entre el cenit y el horizonte queda cubierto todo el campo celeste posible, con la única salvedad de la limitación que impone la altura del edificio que lo protege. El telescopio soportará los siguientes modos de operación: Apuntado de un objeto celeste puntual. Seguimiento de un objeto celeste puntual. Barrido de un área del cielo para la observación de un objeto celeste no puntual. Ángulo de elevación fijo entre 70 - 95° y movimiento indefinido a velocidad angular constante inferior a 30 rpm en acimut. El telescopio estará formado por los siguientes componentes. El conjunto pedestal. La estructura soporte: formada por la horquilla y la barquilla. Los reflectores primario y secundario, con sus monturas y sistemas de alineación, y el escudo de radiación electromagnética. Ver Figuras 3, 4, 5 y 6.



Figura 3. Pedestal del telescopio.



Figura 5. Montaje del reflector primario.



Figura 5. Alineado de los reflectores.



Figura 6. Conjunto de elevación del telescopio.

La solución adoptada para el edificio y cubierta móvil consiste en dos cubiertas semicilíndricas móviles, de longitud 7.5 m, que se abren en la dirección norte-sur, alejándose lo necesario en la configuración abierta como para no interferir con la observación de las antenas. Estas dos cubiertas se abren y cierran guiadas en unos carriles dispuestos a una altura de unos 3.7 m. Estos raíles se encuentran separados entre sí 7.5 m, de manera que las antenas queden holgadamente alojadas entre ellos. Con esta configuración, se plantea desplazar las cubiertas 13.5 m a norte y sur respectivamente para dar lugar a la configuración abierta o de observación. De este modo, el edificio ocupará una superficie en planta de 7.5 x 42 m². En la configuración cerrada, estas cubiertas se juntan cerrando un volumen bajo ellas, volumen en el cual se albergan las dos antenas. Este volumen central cerrado se completa con las paredes verticales dispuestas alrededor de las antenas hasta la altura de 3.7 m de los raíles. Así, entre la posición abierta y cerrada de las cubiertas, aparecen sendos vanos de 6 m, que no tienen otra utilidad que alejar las cubiertas en la posición de observación. Con la separación existente entre raíles de 7.5 m, es posible crear un espacio de 45 m² en cada uno de ellos. Dadas las necesidades de espacio para oficinas y operaciones por un lado y para salas técnicas por el otro, se plantea cerrar uno de esos vanos dando lugar a dos espacios: 35 m² para la sala de operaciones y oficina. 10 m² para la sala técnica. Las antenas serán amarradas a sendas zapatas dispuestas en el centro del vano de cada una de ellas. Ver Figura 7.



Figura 7. Edificio y cubierta móvil del Experimento QUIJOTE CMB.

La segunda fase de QUIJOTE constará de un segundo telescopio, idéntico al primero, con un segundo instrumento. Este segundo instrumento constará de 19 polarímetros idénticos operando a 30 GHz (38 canales), dispuestos dentro de un criostato en condiciones de vacío y a temperaturas criogénicas (aproximadamente 20 °K). La energía de refrigeración necesaria será suministrada por un enfriador de helio (gas) en ciclo cerrado. La radiación entra en el criostato a través de 19 bocinas receptoras, alineadas en el plano focal del telescopio, que

alimentan a los 19 moduladores polares. Estos moduladores rotan alrededor de su eje a una velocidad de 2400 rpm. A la salida de cada modulador se dispone un OMT (Orthogonal Mode Transition) que divide la señal entrante en 2 modos polares lineales ortogonales. Un conjunto de amplificador-receptor (FEM-BEM) se encarga de amplificar las dos señales ortogonales, que se transmiten mediante cables semi-rígidos a través del chasis del criostato para su posterior procesamiento en el exterior. Ver Figuras 8 y 9.



Figura 8 (Izquierda). Conjunto plano focal del segundo instrumento.
Figura 9 (Derecha). Corte del conjunto plano focal del segundo instrumento.

La Fase I del Proyecto está en curso estando prevista su finalización a principios de 2009. Se está procediendo a la fabricación y montaje del edificio en el OT, se prevé su conclusión en febrero de 2009. El primer telescopio ha sido fabricado y enviado al IAC. El primer instrumento con 5 polarímetros operando en las distintas bandas de frecuencia (2 polarímetros a 10-14 GHz, 2 polarímetros a 14-20 GHz y 1 polarímetro a 30GHz) está siendo integrado y verificado, y está prevista su entrega en el primer trimestre de 2009.

Se ha definido un entorno de desarrollo de software. Para ello se han adquirido unos componentes hardware y software con las mismas características funcionales que el sistema de control del telescopio y del instrumento con el objeto de realizar un prototipo software que permitirá desarrollar las especificaciones software detalladas del experimento además servirá para entender y averiguar las limitaciones técnicas de las nuevas tecnologías empleadas en el Proyecto.

En relación a las actividades de ingeniería de microondas se ha comprobado satisfactoriamente el nuevo diseño de modulador polar mediante simulaciones de elementos finitos realizadas con el software de diseño electromagnético "CST Design Studio". Ver Figuras 10 y 11. También han sido exitosas las medidas de los parámetros "S", realizadas en Universidad de Cantabria sobre los moduladores. Ver Figura 12.

En relación a las actividades de Fase II, que se desarrolla de forma simultánea con la primera, se ha definido el segundo instrumento y elaborado los requisitos de la especificación. Se elaboraron las prescripciones técnicas para la licitación de la ingeniería de detalle, compras, fabricación e integración final del conjunto opto-mecánico. Se adjudicó el contrato a la empresa IDOM Ingeniería y Consultoría, S.A. El diseño está finalizado y pendiente de su revisión.

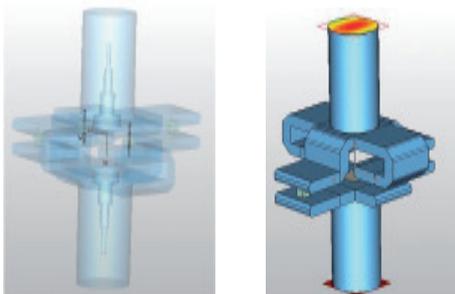


Figura 10 (Izquierda). Interior del circuito de microondas del modulador con los micro-elementos dentro del circuito.

Figura 11 (Derecha). Modelo del circuito de microondas del modulador. En la parte superior se ve el campo electromagnético usado para alimentar el modulador para la simulación.

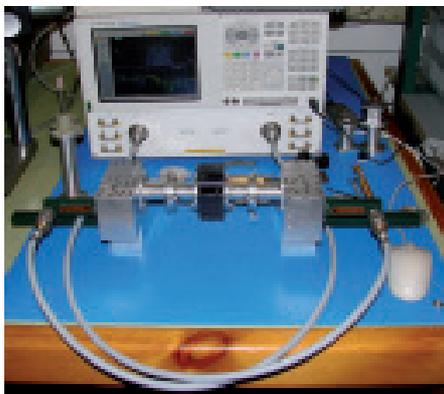


Figura 12. Medidas de parámetros "S" de microondas del modulador de banda 10-15GHz. En la foto se aprecia el analizador de redes vectorial PNA y dos separadores de polarización ortogonal lineal OMTs a cada lado del modulador.

SIMULADOR DE ROTADOR NASMITH-CASSEGRAIN

Durante el año 2008 se desestimó la idea de fabricar un simulador de rotador Nasmith-Cassegrain específico para la Sala de AIV del IAC por resultar económicamente inviable, según el presupuesto presentado por Tekniker, que fue la compañía responsable del diseño y fabricación del simulador

de rotador Nasmyth actualmente en servicio en el Área de Instrumentación.

Como resultado de lo anterior se decidió estudiar las capacidades de los diferentes dispositivos existentes en el mercado. Tras consultar con varios fabricantes las especificaciones detalladas de los mecanismos comerciales que cumplen la función de rotadores, se llegó a la conclusión de que existía al menos una marca que podía cumplir la mayor parte de las prestaciones especificadas para el simulador N-C del IAC, se decidió entonces solicitar una prórroga para los fondos destinados a este Proyecto, con el fin de sacar a licitación pública el suministro.

SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME (FP7)

V. Sánchez de la Rosa y J. Pérez Espinós.

- WP 06000

V. Sánchez.

ESO: S. D'Odorico, J.L. Lizon, M. Casali (KOM).

UKATC: D. Montgomery, A. Woodcraft.

ASTRON: L. Venema.

- WP 09000

J. Pérez.

ESO: A. Manescau, H. Dekker, J.L. Lizon, O. Iwert.

Introducción

Dentro del Séptimo Programa marco europeo, FP7, en las actividades de preparación para la construcción del telescopio E-ELT (European Extremely Large Telescope) y coordinados por el ESO, el Área de Instrumentación del IAC está participando en los siguientes paquetes de trabajo:

- WP 06000, Network 1: "Advanced Cryogenic techniques for ELT Observatory"

- WP 09000, Task 09200: "Development of a large detector cryostat of high thermal stability"

Además, M.R. Zapatero Osorio del Área de Investigación del IAC, está participando en el WP 06000, en el Network 3, "Ultra-accurate Wavelength Calibration Techniques of Cosmic Sources Spectra".

Evolución del Proyecto

WP 06000, Network 1

El coordinador por parte de la ESO es S. D´Odorico y el gestor de éste paquete de trabajo es D. Montgomery. Las actividades realizadas durante este año por parte del IAC en el contexto de este paquete de trabajo han sido:

- Asistencia al KOM, celebrado en el UKATC, el 15 de abril. En dicha reunión se acordó que la próxima reunión se celebraría en la sede de la ESO, a lo largo del mes de julio, pero no se llegó a celebrar.
- Como resultado del KOM se identificaron una serie de acciones, asignándole al IAC la realización de un informe del uso de ciclos cerrados convencionales (en adelante CCC´s), con compresor de He, tipo Gifford-MacMahon, de cara a identificar el impacto de esta solución en el diseño del telescopio E-ELT, así como la participación en la generación conjunta de una base de datos de mecanismos criogénicos utilizados en instrumentos astronómicos.
- Identificación de principales fabricantes de CCC´s utilizados en instrumentos astronómicos y modelos disponibles en el mercado, así como proveedores de componentes de la instalación de He en telescopios.
- Contacto, recopilación y estudio de documentación de las soluciones implementadas en los telescopios VLT, GTC y GEMINI.
- Comienzo de la generación del informe acordado en el KOM.
- Participación en la audioconferencia celebrada el 15 de diciembre, de cara a preparar el SOW de este paquete de trabajo.

WP 09000, Task 09200

El gestor de este paquete de trabajo es A. Manescau. Las actividades realizadas durante este año por parte del IAC en el contexto de este paquete de trabajo han sido:

- Asistencia al KOM, celebrado en la ESO, el 20 de febrero. Como complemento al viaje, realización y asistencia a la primera reunión de trabajo de la tarea 9200, el 21 de febrero.
- Estudio y análisis del funcionamiento del criostato del detector de HARPS (diseño de la ESO) tomado como referencia para el desarrollo de la tarea referida.

- Desarrollo de un modelo de EF para simular y predecir el comportamiento de dicho criostato, y por ende, del detector (dicho modelo está completado a la espera de incorporar y/o modificar una serie de condiciones de contorno no suministradas todavía).
- Participación en la reunión de progreso (por videoconferencia) celebrada el 5 de noviembre.

CONTROLADOR DE DETECTORES

J.J. Díaz.

Introducción

El IAC ha identificado la necesidad del diseño de un controlador de detectores propio para cubrir sus necesidades. Al amparo del Proyecto FastCam se ha iniciado la tarea de desarrollo con el fin de posibilitar, a costes razonables, generar la versión de este instrumento en su versión para ser instalada en el telescopio GTC.

Evolución del Proyecto

- Se ha identificado la necesidad de desarrollar un controlador en el IAC y se han iniciado los trabajos para identificar las características que este debe cumplir al tiempo que se determinan las tecnologías aplicables. La aplicación guía para el inicio del desarrollo está basada en la aplicación a FastCam.
- Se ha identificado socios colaboradores, se cuenta ya con un acuerdo con la Universidad de Cartagena, para distribuir las tareas y posibilitar el desarrollo.
- Se han realizado varias reuniones, por teleconferencia y con asistencia a la Universidad de Cartagena, para intercambiar opiniones y poner al tanto al grupo externo al IAC de los planes de desarrollo, las capacidades, características y modo de operación de un controlador de detectores, así como los modos de funcionamiento de los detectores a operar.
- Se han establecido unas líneas básicas y una distribución de tareas para proceder con el desarrollo.
- Se ha procurado la financiación para la Universidad de Cartagena en colaboración con el IAC.

OFICINA DE TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN (OTRI)

OFICINA DE PROYECTOS INSTITUCIONALES Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN (OTRI)
(7E0307, 7E0407, 7E0507, 7E0607, 7E0707, 7E1606, 7E2007, 7E2308, 7E4402, 7E3405, 7E3605, 7E3705, 7E3805, 7E3905, 7E5207, 7E5707)

J. Burgos, J.P. García Coello, S. Jiménez, B. Peyró, J. Quintero, M. Regás y A. Sosa.

Introducción

Las Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI), repartidas por todo el territorio nacional, son unidades adscritas a universidades, centros públicos de investigación, centros de innovación y tecnología, fundaciones universidad-empresa, así como algunas asociaciones empresariales y similares. Estas oficinas fueron creadas por el Plan Nacional de I+D+i con objeto de lograr una mayor integración de los elementos del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Industria, y un mejor aprovechamiento de los recursos a disposición de la I+D y la Innovación.

La OTRI del IAC viene desarrollando su actividad desde 1989, y desde hace años ha pasado a desempeñar también un papel destacado en relación con ciertos proyectos institucionales que el IAC mantiene con el entorno científico internacional para el desarrollo de grandes infraestructuras científicas, la potenciación de los observatorios de Canarias, y en beneficio de una mayor coordinación de la comunidad astrofísica europea. En esta línea de trabajo destaca durante el 2008 nuestra participación en los proyectos OPTICON (Optical Infrared Coordination Network for Astronomy) y HELAS (European Helio-and Asteroseismology Network), que se mencionan en apartado específico dentro de esta Memoria, así como los proyectos de "Mejora de las instalaciones del OT y ORM y acceso a las mismas", "Acciones Complementarias de Infraestructuras", financiados por el Ministerio de Educación y Ciencia. También es de destacar el estudio de impacto socio-económico en relación con la posible

ubicación del European Extremely Large Telescope (E-ELT) que se está realizando. Del mismo modo, durante el 2008 se inició en el IAC el Estudio de Diseño del European Solar Telescope. Este proyecto, coordinado por el IAC, y participado por otras 28 instituciones europeas, cuenta con un apoyo importante por parte de la OTRI para su gestión, y se lidera también un paquete de trabajo orientado a estudiar las implicaciones socio-económicas de este nuevo telescopio, de forma análoga a lo que se está desarrollando para el E-ELT.

Las distintas líneas de actuación y principales servicios que la OTRI presta de forma habitual a sus usuarios se muestra a continuación. Se destacan aquellos proyectos o líneas de trabajo que de manera especial se han gestionado durante el 2008 desde esta Oficina.

Algunos resultados relevantes y actividades

Durante el año 2008, en el marco de estos servicios, la OTRI ha llevado a cabo actividades de muy diversa índole que se resumen y agrupan en seis grandes bloques:

1.- Proyectos de I+D de financiación externa. Información, asesoramiento y gestión

Como viene ya siendo habitual, esta Oficina ofrece información y asesoramiento sobre las convocatorias regionales, nacionales e internacionales de apoyo

Área de actuación y/o de gestión	Actividades realizadas en 2008
1. Asesoramiento de calidad	- Asesoramiento sobre calidad de la investigación científica.
2. Asesoramiento de gestión de proyectos	- Asesoramiento sobre gestión de proyectos de investigación científica. - Asesoramiento sobre gestión de proyectos de investigación científica. - Asesoramiento sobre gestión de proyectos de investigación científica.
3. Asesoramiento de gestión de recursos humanos	- Asesoramiento sobre gestión de recursos humanos. - Asesoramiento sobre gestión de recursos humanos. - Asesoramiento sobre gestión de recursos humanos.
4. Asesoramiento de gestión de infraestructuras	- Asesoramiento sobre gestión de infraestructuras. - Asesoramiento sobre gestión de infraestructuras. - Asesoramiento sobre gestión de infraestructuras.
5. Asesoramiento de gestión de tecnología	- Asesoramiento sobre gestión de tecnología. - Asesoramiento sobre gestión de tecnología. - Asesoramiento sobre gestión de tecnología.
6. Otros	- Asesoramiento sobre gestión de otros servicios.

a la I+D de mayor interés para el centro, y participa muy activamente en la elaboración de propuestas, y en el ulterior seguimiento y justificación de los proyectos aprobados, en estrecha colaboración con todas las Áreas del IAC. Este servicio se presta no sólo al personal propio del centro, sino también a usuarios externos, a través de las listas de distribución de información y de la página Web de la OTRI.

En el marco de esa colaboración con las distintas Áreas del IAC para la elaboración y presentación de proyectos, se apoyaron y gestionaron durante el 2008 un total de 54 nuevas propuestas, por una cuantía superior a los 8,9 M€, de las cuales, en el momento de redacción de esta Memoria, 21 han sido ya concedidas, por un total de 2,1 M€, 10 se encuentran aún en proceso de evaluación, 21 han sido denegadas y 2 renunciadas.

Gráfico I

Número de solicitudes de financiación externa Programa de financiación 2008



Programas de financiación cuyos resultados se pide	Solicitudes presentadas	Solicitudes aprobadas	Solicitudes denegadas o renunciadas	Solicitudes en evaluación	Presupuesto aprobado hasta la fecha
Subprograma I+D 2008	21	4	17	4	21.000.000
Subprograma I+D 2008 (Acciones Integradas)	2	2	0	0	2.100.000
Subprograma I+D 2008 (Proyectos I+D)	19	2	17	4	18.900.000
Subprograma I+D 2008 (Acciones Complementarias Plan Nacional)	7	7	0	0	11.000.000
Subprograma I+D 2008 (Acciones Marie Curie)	8	8	0	0	10.000.000
Subprograma I+D 2008 (Acciones Integradas. MICINN)	2	2	0	0	2.100.000
Subprograma I+D 2008 (Recursos Humanos. MICINN)	4	4	0	0	10.000.000
Subprograma I+D 2008 (Infraestructuras. Acceso y Mejora)	2	2	0	0	2.100.000
Subprograma I+D 2008 (Infraestructuras I+D)	1	1	0	0	2.100.000
Subprograma I+D 2008 (Séptimo Programa Marco. Infraestructuras)	3	3	0	0	10.000.000
Subprograma I+D 2008 (Séptimo Programa Marco. Acciones Marie Curie)	8	8	0	0	10.000.000
TOTAL	54	21	33	4	89.200.000

2.- Proyectos de Infraestructura científica y técnica en el IAC

2.1. Fondos FEDER para infraestructura científica

MEMORIA 2008 IAC

184

La OTRI del IAC ha seguido gestionando y coordinando durante este año las ayudas aprobadas para co-financiar con Fondos FEDER la ejecución de varios proyectos de infraestructura científica.

En relación con los proyectos financiados bajo la convocatoria FEDER 2004, para actuaciones dentro del periodo 2005-2007, dos de ellos de equipamiento y uno de construcción, se procedió a realizar las justificaciones de gastos periódicas durante 2008. Estos proyectos han concluido ya en su totalidad:

- Equipamiento para la integración de instrumentación astrofísica
- Mejora de las comunicaciones y ancho de banda

entre los Observatorios y el IAC
 - Ampliación del Área de Investigación y Biblioteca en la Sede Central del IAC

2.2. Mejora y acceso a los Observatorios de Canarias

Desde finales del 2005 se gestiona desde la OTRI un programa de ayudas para costear los gastos de observación de los astrónomos que visitan las instalaciones telescópicas del ORM y del OT, y a los que se les ha concedido tiempo bajo CAT (Comité de Asignación de Tiempo). Del mismo modo, este programa, auspiciado por el Ministerio de Educación y Ciencia, financia de manera importante la mejora del equipamiento disponible en estos Observatorios.

En concreto, durante el 2008, se han podido completar las siguientes mejoras de infraestructura gracias a este nuevo Proyecto:

- Haces de fibras y microlentes para espectroscopía (ORM)
- Filtros para instrumentación Astrofísica (OT)
- Sistema de respaldo de almacenamiento de datos ORM-CALP
- Equipamiento informático para el OT
- Equipamiento para actuaciones de campo (OT)
- Sistemas de refrigeración de CCDs (OT)

Por su parte, un total de 186 astrónomos, principalmente de la comunidad astrofísica nacional (aunque también de Alemania, Francia, Reino Unido, Bélgica, Italia, Suecia, Suiza, EEUU y Austria), se han beneficiado durante el 2008 de las bolsas de viaje que ha financiado este programa. Estos astrónomos han podido así acceder a los telescopios de Canarias, una vez se les ha concedido tiempo bajo CAT, contando con una ayuda de hasta 300 € en concepto de viaje, y con todos los gastos de alojamiento y manutención cubiertos. Los siguientes gráficos, Gráficos II y III, muestran los telescopios a los que han accedido estos investigadores, así como el número de noches de observación concedidos.

Gráfico II

Bolsas de viaje / telescopio 2008

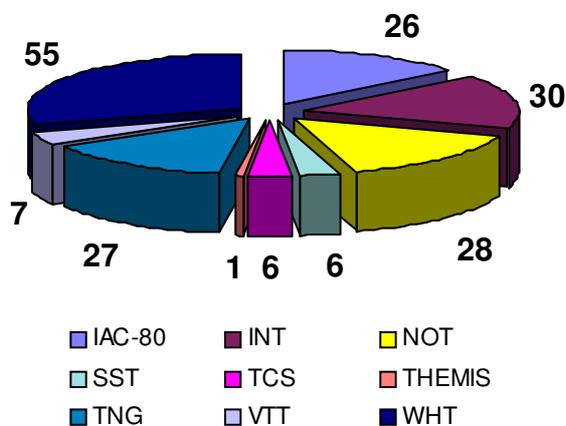
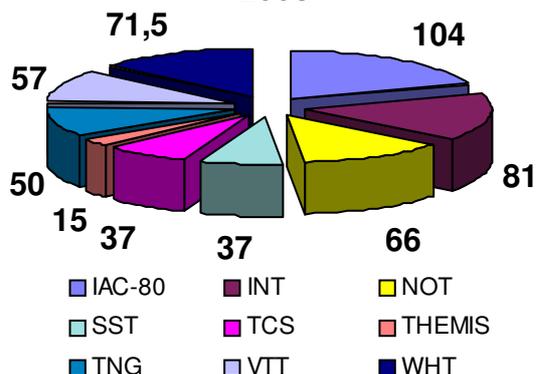


Gráfico III

Nº de días-noches / telescopio 2008



Este programa de ayudas seguirá vigente hasta el 2009. Las actuaciones de mejora ya aprobadas que se ejecutarán en ese nuevo periodo, y por un presupuesto total de 814.000 €, son:

- Simulador de frente de onda para óptica adaptativa
- Espejo deformable
- Simulador rotador Nasmyth-Cassegrain
- Adquisición de datos para FastCAM
- Detector de alta eficiencia cuántica en la banda R-Z

Por su parte, el Programa de Acceso para el 2009 será gestionado directamente desde el Área de Investigación.

En noviembre de 2008 tuvo lugar una visita de control por parte del Ministerio en relación con estas ayudas. Se levantaron actas de verificación completamente satisfactorias en relación con la ejecución de las distintas actividades.

Por otra parte, a mediados de 2008 se realizó una nueva petición de fondos al Ministerio de Ciencia e Innovación, para extender estas ayudas durante el 2010, y para proponer nuevas mejoras de equipamiento e infraestructura. La propuesta para el OT fue denegada y se renunció a la propuesta de financiación para el ORM al ser insuficiente la financiación propuesta para acometer las mejoras previstas.

2.3. Línea de Media Tensión para el ORM

A finales de noviembre de 2006, en el marco del Programa Nacional de Equipamiento e Infraestructuras del MEC, el IAC obtuvo también financiación para ejecutar un proyecto de mejora de la línea de media tensión en el ORM, con objeto de preparar este emplazamiento para la instalación de posibles telescopios futuros. Durante el 2007 se llevó a cabo el proyecto básico y durante el 2008 se ha ejecutado el mismo en su totalidad.

2.4. Las infraestructuras europeas en ESFRI

El IAC, a través de la OTRI, sigue participando en todas aquellas iniciativas y actuaciones relativas a la actualización del Roadmap del "European Strategic Forum on Research Infrastructures".

MEMORIA
IAC 2008
185

3.- Organización y prestación de servicios desde la OTRI

La OTRI del IAC dedica todos los años una pequeña parte de su tiempo a evaluar y mejorar su sistema de gestión y atención al usuario para adaptarlo a las nuevas necesidades y actividades que se encomiendan a esta Oficina, y para tratar de ofrecer siempre un mejor servicio.