



GRAN TELESCOPIO CANARIAS (GTC)

Ciencia con el GTC



El mayor telescopio del mundo reunió en Granada a la Astronomía internacional

Investigadores en Astrofísica nacionales y extranjeros se reunieron en Granada, del 6 al 8 de febrero de 2002, con motivo del "I Congreso Internacional de Ciencia con el GTC". Organizado en el Palacio de Congresos de Granada por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) y la empresa pública GRANTECAN, que gestiona la construcción del Gran Telescopio CANARIAS (GTC), la reunión acogió a más de 180 participantes. El congreso albergó foros de debate para discutir, a la luz de los últimos resultados científicos, las principales líneas de investigación del que será el instrumento más avanzado para la observación astronómica y el más potente impulsado por España.

I^{er} CONGRESO INTERNACIONAL



Participantes en el I Congreso Internacional de Ciencia con el GTC.

COMITÉ DE HONOR

Pedro Álvarez (GRANTECAN, España)
Stanley Dermott (U Florida)
José Guichard (INAOE, México)
Ramon Marimon (MCYT, España)
Rafael Rodrigo (IAA, España)
Francisco Sánchez (IAC, España)
Silvia Torres- Peimbert (UNAM, México)

COMITÉ CIENTÍFICO

Jordi Cepa Nogué (IAC)
José Cernicharo (IEM)
Miguel Chávez (IANOE)
Luis Colina Robledo (IEM)
Víctor Costa Boronat (IAA)
José Franco (IA-UNAM)
Francisco Garzón López (IAC)
Fred Hamann (UFI)
Artemio Herrero Davó (IAC)
Casiana Muñoz Tuñón (IAC)
José M. Rodríguez Espinosa (IAC)
Charles M. Telesco (UFI)
José M Vilchez (IAA)

COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL

Victor Costa (IAA, Jefe/Chair)
José M. Rodríguez Espinosa (GTC)
Soledad Acosta (GTC)
Maite Goldar (GTC)
Isabel Márquez (IAA)
Josefa Masegosa (IAA)
Verónica Melo (IAC)

PATROCINADORES

IAC, GRANTECAN, IAA, CSIC, Ministerio de Ciencia y Tecnología, ACS, Empresarios Agrupados, SCHOTT, CESA, NTE, VTD e Iberia.

CONFERENCIANTES INVITADOS

Matthew Bershady (Wisconsin-Madison)
Joss Bland-Hawthorn (AAO, Australia)
Carlos Eiroa (UAM, Madrid)
Jesus González (IA-UNAM, México)
Elisabeth Lada (U Florida, Gainesville)
Stephen Smartt (IOA, Cambridge)
Dieter Lutz (MPIA, Garching)
Guy Monnet (ESO, Garching)
Manuel Peimbert (IA-UNAM, México)

Más información: <http://www.iac.es/proyect/scigtc>.

IAC NOTICIAS, Suplemento especial GTC

Director del IAC: *Francisco Sánchez*
Jefe del Gabinete de Dirección: *Luis A. Martínez Sáez*
Jefa de Ediciones: *Carmen del Puerto*
Entrevistas: *Natalia R. Zelman y José Manuel Abad*
Transcripción: *Eva Untiedt*
Traducción: *Natalia R. Zelman y Sara Gil*
Redacción: *Sara Gil, Natalia R. Zelman y Carmen del Puerto*
Confección: *Carmen del Puerto*
Asesoramiento científico: *Luis Cuesta y José Miguel Rodríguez Espinosa*
Directorio y distribución: *Ana M. Quevedo*
Diseño original: *Gotzon Cañada y Carmen del Puerto*
Diseño del cartel del Congreso: *Ramón Castro*
Edición digital: *M.C. Anguita*
Fotografías: *Luis Cuesta, Servicio Multimedia del IAC (SMM) y otros*
Tratamiento digital de imágenes: *Gotzon Cañada y SMM.*
Edita: *Gabinete de Dirección del IAC*
Preimpresión e Impresión: *Producciones Gráficas*
Depósito Legal: *TF-335/87 ISSN: 0213/893X.*

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en esta revista, citando como fuente al autor y al Instituto de Astrofísica de Canarias.



EL MAYOR TELESCOPIO DEL MUNDO REUNIÓ EN GRANADA A LA ASTRONOMÍA INTERNACIONAL

El 'I Congreso Internacional de Ciencia con el GTC' acogió a más de 180 científicos

Investigadores en Astrofísica nacionales y extranjeros se reunieron en Granada, del 6 al 8 de febrero de 2002, con motivo del «I Congreso Internacional de Ciencia con el GTC». El congreso, que acogió a más de 180 participantes, se celebró en el Palacio de Congresos de Granada, organizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) y la empresa pública GRANTECAN, que gestiona la construcción del Gran Telescopio CANARIAS (GTC).

El GTC será, cuando entre en funcionamiento en el 2004, el mayor telescopio del mundo, con sus 10,4 m de diámetro, y estará instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla canaria de La Palma. El GTC es una iniciativa pública española, aunque cuenta con el apoyo de EE.UU., a través de la Universidad de Florida, y de México, a través del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y del Instituto de Astronomía de la Universidad Autónoma de México (IA-UNAM), con la financiación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Estos acuerdos internacionales prevén la participación de estos países en el tiempo de observación del telescopio.

El "I Congreso Internacional de Ciencia con el GTC" se sumó a las actuaciones dirigidas a la comunidad nacional cuya finalidad es la preparación para el uso del instrumento español de observación astronómica más ambicioso planteado hasta la fecha: el telescopio de 10 m, GTC.

Este Congreso contó para su organización con el patrocinio, no sólo del Ministerio de Ciencia y Tecnología, sino también de varias empresas, todas ellas implicadas en la construcción del GTC, y con la colaboración del IAA como anfitrión, especialmente de Víctor Costa, Pepa Masegosa e Isabel Márquez.

"Momento importante"

Según **José Miguel Rodríguez Espinosa**, Director Científico del GTC y miembro del Comité Científico Organizador del congreso, "éste era un momento importante en el desarrollo del proyecto". "La construcción del GTC -añade- progresa normalmente y está próxima su integración en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Al mismo tiempo se han establecido acuerdos importantes de participación en el GTC con México y la Universidad de Florida, en virtud de los cuales se fijan ciertos porcentajes de utilización conjunta de tiempo de observación. Era un buen momento para hacer una puesta en común y plantearnos el trabajo que haremos en el futuro con el GTC".

Esta fue la primera ocasión en la que las tres comunidades a las que dará servicio el GTC se reunían para presentar las actividades científicas de sus miembros, y según Rodríguez Espinosa "quedó claro el énfasis que España, México y Florida ponen en el GTC como herramienta fundamental que les permitirá hacer observaciones que avancen significativamente la frontera de la ciencia".



De izquierda a derecha, Asunción Jodar (Concejala de Relaciones Institucionales del Ayuntamiento de Granada), Rafael Rodrigo (Director del IAA), Ramón Marimón (Secretario de Estado de Ciencia y Tecnología), Francisco Sánchez (Director del IAC) y Emilio Lora Tamayo (Vicepresidente del CSIC), en un momento de la inauguración del congreso.



El congreso albergó foros de debate para discutir, a la luz de los últimos resultados científicos, las principales líneas de investigación del que será el instrumento más avanzado para la observación astronómica y el más potente impulsado por España. Durante los días del congreso se presentó el estado actual del GTC y sus instrumentos científicos. Hubo sesiones dedicadas a otros grandes proyectos y sesiones para la revisión de las actividades astronómicas.

Los objetivos principales del congreso fueron: primero, familiarizar a la comunidad astronómica a la que el GTC dará servicio con el estado actual del proyecto y plantear las expectativas científicas del GTC y sus instrumentos; segundo, promover el intercambio de ideas y fomentar la colaboración entre astrónomos de las comunidades a las que servirá el GTC, que pueden dar lugar a futuros proyectos de observación con el GTC; y tercero, explorar las ideas sobre nueva instrumentación que podrá desarrollarse en un futuro para el GTC.

Asimismo, hubo contribuciones tanto orales como murales sobre temas de relevancia para el GTC, como, por ejemplo, desarrollos instrumentales, sistema solar, discos protoplanetarios y protoestelares, objetos de baja masa, formación estelar, astronomía estelar, astronomía galáctica y extragaláctica, abundancias químicas, el universo primordial y cosmología.

Ciencia española

En el acto de inauguración, el entonces secretario de Estado de Ciencia y Tecnología, **Ramon Marimon**, destacó la repercusión internacional del congreso, que atrajo la atención de numerosos centros de investigación en Astrofísica de todo el mundo, y resaltó el gran apoyo que el Estado ha aportado al GTC.

Para Marimon, este telescopio gigante constituye un «gran avance de la Astrofísica» y responde al destacado papel de España en esta área de la investigación científica. «Este congreso –añadió– hará más eficiente el trabajo del telescopio, una vez comience su actividad, y contribuirá al aprovechamiento de su instrumentación científica».

Muestra del interés internacional que ha suscitado el GTC, una iniciativa española financiada por el Esta-

do y el Gobierno de Canarias, es –según Marimon– la contribución al proyecto de instituciones de otros países como EEUU y México, señalando la necesidad de mantener y acrecentar las relaciones internacionales de los equipos de investigación españoles con los de otros países, y puso como ejemplo la celebración de esta reunión, debido a que es fundamental para la evolución del conocimiento científico el intercambio de opiniones y pareceres. La ciencia no puede avanzar sólo sobre la base de la experimentación y la observación; requiere, además, que cada paso en el conocimiento sea difundido y debatido.

Con respecto a la política científica española en materia de Astrofísica, el secretario de Estado subrayó

el impulso que el Gobierno ha ejercido sobre los programas científicos nacionales, como el GTC, al tiempo que mantiene activos otros en los observatorios astrofísicos de Canarias, que constituyen el *European Northern Observatory* (ENO), y establece contactos beneficiosos con otros organismos de investigación internacionales, como es el caso del ESO (*European Southern Observatory*, Observatorio Sur Europeo).

Acompañaron al Secretario de Estado, por orden de intervención, la Concejala del Ayuntamiento de Granada, Asunción Jódar; el Director del IAC, Francisco Sánchez; el Director del IAA, Rafael Rodrigo; y el Vicepresidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Emilio Lora Tamayo.

Máquinas del tiempo

Según **Francisco Sánchez**, "el Gran Telescopio Canarias está resultando ser el gran aglutinador, el estímulo, la gran herramienta para la Astrofísica española, una ciencia plenamente consolidada en nuestro país, aunque gracias a telescopios de otros y al cielo de España, sobre todo al de Canarias. El GTC es un primer paso, muy arriesgado, pero muy emocionante, de lo que puede ser el futuro de esta rama de la ciencia en España. Arriesgado tanto por el GTC, como por la juventud de astrónomos españoles, no sólo los reunidos en este congreso, sino por tantos otros que están en los mejores sitios del mundo tratando de hacer la mejor ciencia y, también, queriendo volver."

"Con este plantel no hay que ser demasiado optimista, pero yo lo soy –subraya Francisco Sánchez–, para poder imaginar cómo la astronomía española es la locomotora de la Astrofísica de este siglo en Europa.



Maqueta y paneles del GTC.



Vamos a entrar, si por fin nuestros políticos nos lo permiten, en el Observatorio del Hemisferio Sur y vamos a formalizar el observatorio del Hemisferio Norte. Con estos dos pilares y con esta capacidad y entusiasmo de los astrónomos en nuestro país, creo que el futuro, que a mí personalmente tanto me ha preocupado siempre, es bastante optimista."

"El siglo XXI va a ser -añadió- un siglo muy importante para la ciencia y, desde luego, para la Astrofísica. La observación seguirá siendo la piedra de toque fundamental. Por muy maravillosa que sea una teoría o un modelo, tienen que ser contrastados con la observación. Y la observación es un reto tecnológico: los astrofísicos queremos ver lo más profundo que podamos en el Universo, es decir, lo más primitivo que podamos ser capaces de retroceder en el tiempo, porque los telescopios son las únicas y auténticas máquinas del tiempo."

"Éste es el panorama -advierte-, y en él resultan clave los sitios de observación. Todos los estudios prospectivos señalan que hay que emplazar los mejores telescopios, los telescopios gigantes, en los mejores sitios del planeta, y también hay que salir al espacio para aquellos estudios que no se pueden hacer en tierra."

"Pero un país sólo no puede afrontar estos grandes proyectos; es necesario hacerlo en cooperación y Europa tiene en tierra dos observatorios: el de Chile, en el Hemisferio Sur, organizado a través del ESO, y el de Canarias, en el Observatorio Norte Europeo. En estos momentos se está planteando en la comunidad científica europea si conviene aglutinar en una sola macro organización todas las facilidades en tierra, o si conviene, por el contrario, mantener el ESO como está y formalizar el ENO como un consorcio de instituciones científicas, porque ya en el área europea de investigación se está dando una cooperación abierta de todos."

"Y en este contexto -explica- es fundamental que España termine de entrar de una vez en ESO. Cientos de astrofísicos españoles llevamos años queriendo tener abierto el sur. Los grandes medios del ESO tienen que ser aprovechados por nuestros astrofísicos y, a la inversa, esta organización del Hemisferio Sur está coja si le falta España. Somos el único país importante dentro de la ciencia europea que todavía no está en ESO, muy poco comprensible cuando está constatado que, en estos momentos, la astrofísica es la rama de la ciencia comparativamente más productiva en nuestro país."

"Simultáneamente, hay que apretar el acelerador para que el ENO sea el observatorio fundamental de los grandes telescopios, que requieren unas condiciones muy exigentes que se cumplen en nuestros observatorios, el Observatorio del Roque de los Muchachos y el Observatorio del Teide, con el aliciente de que se trata de territorio europeo. Más aún, están situados en una de las regiones ultra periféricas que la Unión Europea quiere apoyar."

"En mi opinión -concluye Francisco Sánchez-, se dan todas las condiciones políticas, económicas, científicas y tecnológicas para que la astrofísica española tenga un gran papel en este siglo tanto en lo que tiene que ver la observación en tierra como en toda la especulación y toda la teoría del Cosmos."



Ramón Marimon, Rafael Rodrigo y Francisco Sánchez, durante la rueda de prensa.

Rafael Rodrigo indicó que era sumamente importante "aprovechar la oportunidad y hacer una reflexión, ser críticos en cuanto al desarrollo de la Astronomía en nuestro país y animar a la comunidad científica a que presente proyectos, a que sea más ambiciosa en sus objetivos científicos, ya que tenemos un Programa Nacional principalmente dedicado a eso".

En cuanto al auge de la Astronomía española en los últimos 20 años, Rodrigo afirmó que "si la Astronomía española ha tenido un auge importante en estos últimos años, creo que va a seguir subiendo tras la puesta en marcha del GTC, es decir, va a ser un gran instrumento, no sólo como telescopio, sino también gracias a la instrumentación que lleva asociada. Esto permitirá a los astrónomos españoles acceder a las herramientas más punteras del mundo. Si ya hemos aprendido a hacer buena ciencia, con buenos instrumentos en nuestras manos lo vamos a seguir haciendo mucho mejor. GTC va a ser un nuevo impulso".

Los instrumentos del GTC

El Gran Telescopio CANARIAS estará equipado con una instrumentación avanzada que aprovechará al máximo sus posibilidades científicas. La primera generación de instrumentos, ya en desarrollo, fue presentada precisamente en el transcurso del I Congreso "Ciencia con el GTC".

Gran parte del aprovechamiento científico de un telescopio depende de la elección y calidad de sus instrumentos, que son responsables de analizar la luz concentrada por el telescopio y guardarla en forma digital para que después el investigador pueda trabajar con ella durante el tiempo necesario. Con el desarrollo de la instrumentación científica, que plantea siempre difíciles retos tecnológicos, se pretenden satisfacer ade



más las demandas y exigencias de las investigaciones que, sin esta instrumentación, serían irrealizables.

Inicialmente, el GTC estará dotado de dos cámaras-espectrógrafo que permitirán obtener imágenes y estudiar la composición de la luz de los objetos observados: OSIRIS y CANARI-CAM. Pero pensando en el futuro, se está desarrollando ya el primero de la denominada segunda generación: EMIR. Este instrumento, de altas prestaciones y gran dificultad tecnológica, permitirá observar los objetos con temperaturas medias. También se presentó el desarrollo de ELMER, un instrumento óptico más sencillo que los anteriores y de propósito general que garantizará las operaciones científicas el Día Uno.

En los nuevos instrumentos destaca la utilización de los sistemas ópticos más avanzados y de detectores —el elemento que capta la imagen final tomada por el instrumento—, que los dotarán de mayores capacidades de observación que los instrumentos actuales en otros telescopios.

El conjunto de estos instrumentos permitirá contemplar la formación y evolución de las galaxias en la infancia del Universo y aclarar dudas sobre los lejanos cuásares, las enanas marrones, los planetas fuera de nuestro Sistema Solar o la composición del medio interestelar, que ocupa la mayor parte del espacio.

El telescopio prevé el desarrollo de nuevos instrumentos que se irán instalando sucesivamente para completar su rendimiento en el futuro.

Apoyo internacional

En la clausura del 'I Congreso Ciencia con el GTC' se puso de manifiesto el interés de la comunidad científica internacional por el Gran Telescopio CANARIAS (GTC) en las intervenciones de los ponentes de las instituciones extranjeras participantes en la construcción y operación de este telescopio.

Entre estas instituciones está la Universidad de Florida, que firmó un acuerdo de participación con el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Esta universidad aportará el 5% del presupuesto del telescopio y ha mostrado su intención de aumentar a un 10% su aportación final al proyecto.

El IAC también tiene suscrito otro acuerdo con el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional de México (IA-UNAM), conjuntamente con el Instituto de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), ambos financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT). Estas instituciones mexicanas participarán con otro 5% en el presupuesto del telescopio.

En las páginas siguientes se recogen declaraciones de los científicos que fueron ponentes en este congreso internacional de Ciencia con el GTC, cuyo programa se dividió en doce sesiones temáticas. Las declaraciones se presentan según orden de intervención y enmarcadas en la sesión correspondiente.

REUNIÓN DEL COMITÉ DE SEGUIMIENTO DE LA UTILIZACIÓN DEL GTC

En el 2002 se constituyó el "Comité de Seguimiento de la utilización del GTC", un órgano creado con la finalidad de supervisar y regular el uso del GTC y compuesto por autoridades y astrónomos de España, del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM), del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica de México (INAOE) y de la Universidad de la Florida (U. FI). Este Comité se reunió, aprovechando la coyuntura del congreso, el 5 de febrero en Granada.

Participantes en la reunión:

Ramon Marimon, Secretario de Estado de Política Científica y Tecnológica y Presidente de GRANTECAN.

José Miguel Ruano, Consejero de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias y Vicepresidente del Consejo de Administración de GRANTECAN.

Francisco Sánchez, Presidente de este Comité y Director General del Instituto de Astrofísica de Canarias.

José Guichard, Vicepresidente de este Comité y Director General del INAOE.

Eduardo Battaner, Catedrático de Astrofísica de la Universidad de Granada.

Stanley Dermott, Director del Departamento de Astronomía de la Universidad de la Florida.

Rafael Guzmán, Profesor del Departamento de Astronomía de la Universidad de la Florida.

Carlos Martínez, Coordinador del Área de Instrumentación del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Pere Lluís Pallé, Coordinador del Área de Investigación del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Rafael Rebolo, Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Rafael Rodrigo, Coordinador del Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica.

Silvia Torres, Directora del IA-UNAM.



El GTC estará equipado con una instrumentación focal que aprovechará al máximo sus posibilidades. La primera generación de instrumentos incluye un espectrógrafo de baja resolución con sistema de imagen (OSIRIS) y una cámara en el infrarrojo térmico (CANARI-CAM). También se está preparando ELMER, un instrumento de propósito general, y EMIR, un instrumento de segunda generación que estará dotado con los mayores avances para la investigación en el infrarrojo cercano.

De todo ello se habló en la primera sesión del congreso, que empezó con una conferencia de **José Miguel Rodríguez Espinosa**, Director científico del GTC. En las siguientes charlas se presentó la instrumentación del nuevo telescopio: CARARI-CAM, OSIRIS, ELMER y EMIR. Las ponencias estuvieron a cargo de los investigadores principales de cada proyecto.

CANARI-CAM: la cámara para el infrarrojo

CANARI-CAM hará que el GTC funcione como una máquina para observar la formación estelar, ya que podrá "detectar" el calor de las estrellas. Tendrá la capacidad de obtener imágenes de objetos lejanos para analizar su forma y su estructura y, a continuación, analizar la composición del objeto. De este modo desempeñará las funciones que en otros telescopios realizarían al menos tres instrumentos distintos. Además, contará con unos detectores que permitirán captar luz infrarroja con una longitud de onda de entre 8 a 25 micras.

Este instrumento está siendo diseñado y construido por la Universidad de Florida con la participación del IAC. **Charles Telesco**, que lidera el equipo que construye este instrumento, presentó la ponencia titulada "CANARI-CAM: la cámara multimodo en el infrarrojo medio del GTC".

"El propósito de esta cámara -explica Telesco- es trabajar con las longitudes de onda más grandes en las que puede operar el GTC. Hacerlo con un telescopio tan grande como éste nos permitirá hacer ciencia muy excitante". En estas longitudes de onda se puede observar la radiación emitida por los objetos más fríos del Universo, como las estrellas en formación o



José Miguel Rodríguez Espinosa

los planetas en torno a estrellas lejanas.

CANARI-CAM cuenta con distintos modos de observación. Uno es el espectroscópico, que permite estudiar individualmente las distintas longitudes de onda. Esto ayudará a saber de qué están hechas las estrellas, los planetas y las nubes en las que se forman ambos. Otro modo es el coronográfico, que nos permite bloquear la luz de una estrella, para de este modo poder detectar la luz, mucho más débil, de los planetas que pudieran orbitar en torno a ella. El modo polarimétrico nos permite dividir la luz en sus distintas componentes de polarización.

"Será un instrumento con múltiples aplicaciones, que nos permitirá, además, tomar imágenes espectacularmente bellas", señala Telesco. Algunas de estas aplicaciones, además de la búsqueda de planetas y enanas marrones, serán el estudio de los discos circunestelares – donde se forman los planetas – y el de las galaxias activas.

OSIRIS: el espectrógrafo sintonizable

OSIRIS (*Optical System for Imaging and low Resolution Integrated Spectroscopy*) es una cámara y espectrógrafo para el visible que podrá obtener imágenes de los objetos más lejanos del Universo, a miles de millones de años-luz; esto equivale a "viajar" miles de millones de años hacia el pasado, a las épocas más tempranas de la creación del Universo, cuando se supone que se formaron las primeras galaxias. Podrá obtener imágenes directas del cielo y realizar espectroscopía de varios objetos a la vez.

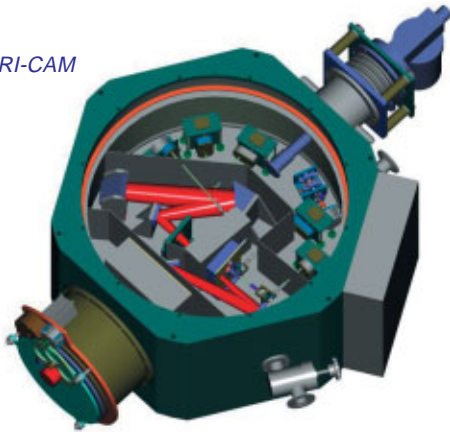


Charles Telesco

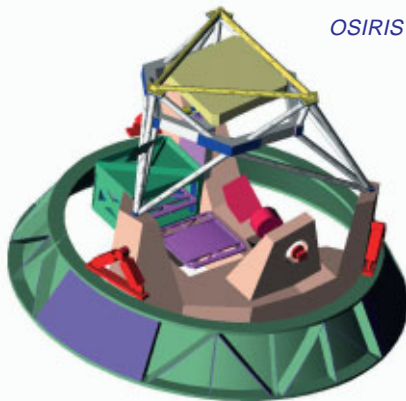
Este instrumento, que trabaja en el rango visible, incorpora el uso de filtros variables o sintonizables. Estos permiten observar de manera muy



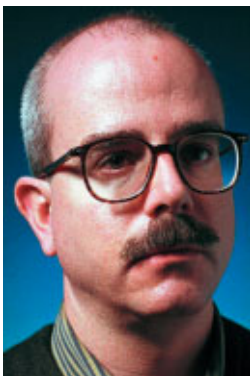
CANARI-CAM



OSIRIS



precisa una línea determinada del espectro de luz, situada en cualquier posición dentro del rango visible.



Jordi Cepa

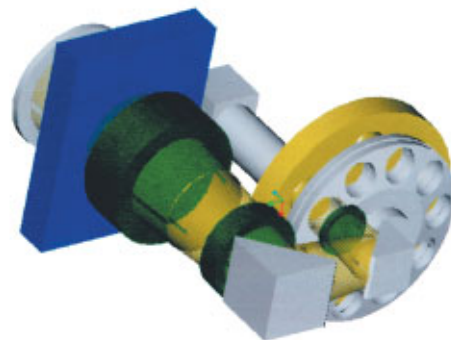
OSIRIS está siendo diseñado y construido por el IAC, con la participación del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM). Fue presentado por **Jordi Cepa**, investigador del IAC y Jefe del equipo que construye el instrumento, en su ponencia "OSIRIS: el espectrógrafo y cámara sintonizable del GTC".

Según este investigador, OSIRIS "está diseñado para

estudiar la formación estelar en distintas etapas del Universo. Para ello podrá ver con mucha precisión las líneas de emisión del gas ionizado por las estrellas recién formadas." Jordi Cepa explica que esto será posible gracias al uso: "filtros que no están actualmente disponibles en otros grandes telescopios, por lo que OSIRIS será un instrumento único con respecto a otros instrumentos parecidos que existen en EE.UU. y en Europa". La combinación de estos filtros y la gran capacidad colectora del GTC "nos permitirán llegar más lejos que con otros telescopios existentes y poner a la astronomía española a la cabeza de la astronomía mundial", señala este científico.

EMIR: un instrumento de segunda generación

El primer instrumento de segunda generación, EMIR (Espectrógrafo Multiobjeto Infrarrojo), será clave para el estudio de la historia de la formación de estrellas en el Universo. Se trata de una cámara-espectrógrafo que cubrirá el rango del infrarrojo cercano y con la que se podrán estudiar objetos de temperatura media. Además, se obtendrán espectros para muchas



EMIR

fuentes simultáneamente, al usar el método de máscaras multirrendija, que permite seleccionar la parte del campo visible que se quiere observar y de esta manera realizar muestreos de amplias áreas del cielo. El diseño de EMIR es responsabilidad de un consorcio de instituciones británicas, españolas y francesas, lideradas por el IAC.

Francisco Garzón, astrofísico del IAC, habló del proyecto en su ponencia "EMIR: el espectrógrafo multiobjeto en el infrarrojo cercano del GTC". "EMIR – explica este investigador- no mide la luz que vemos con nuestros ojos, sino el calor de los cuerpos. Lo que hace fundamentalmente es tomar espectros –la distribución de la luz con respecto a la longitud de onda – para muchos objetos a la vez."



Francisco Garzón

Este investigador también subrayó los retos tecnológicos a los que se enfrentan en la construcción de este instrumento. Uno de ellos es que todos los materiales con los que está fabricado han de soportar temperaturas inferiores a los 200 grados bajo cero. Esto se debe a que, al tratarse de un detector infrarrojo, hay que aislarlo térmicamente de las emisiones de los cuerpos próximos a él.

Otra de las complicaciones es la de los tamaños involucrados. Se trata de un instrumento de más de tres toneladas de peso y unas dimensiones de 2 m de largo por 1,5 de ancho. Además, el plano focal del GTC es muy grande, lo que implica que también tiene que serlo la 'unidad reconfigurable de máscaras'-un selector de campo que va colocado en ese plano.

"Estamos seguros de que va a constituir un éxito en cuanto a sus capacidades científicas", concluye Garzón.

ELMER: simplicidad y competitividad

ELMER es un instrumento diseñado directamente por la Oficina del Proyecto, por si se diera el caso de que alguno de los otros dos instrumentos no estuviera listo a tiempo. Su campo de visión, al no ser muy

grande, ha permitido incorporar una óptica de tamaño moderado, lo que se traduce en una alta eficiencia. Esta prestación, unida a la elevada sensibilidad del detector y el gran poder del área colectora del GTC, harán de ELMER uno de los instrumentos más sensibles del mundo.

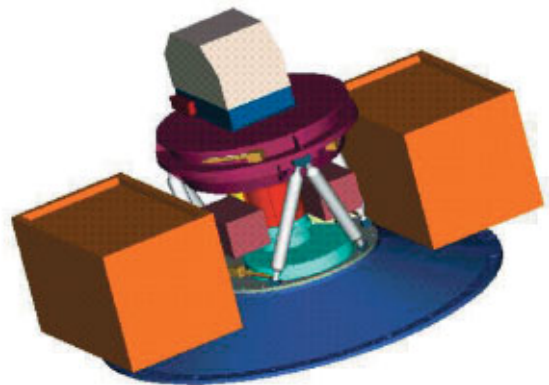
"A principios del año 2000 empezamos a hacer en la Oficina un diseño conceptual de un instrumento sencillo, con poco riesgo desde el punto de vista de ingeniería. Así surgió ELMER". Son palabras de **María Luisa García Vargas**, responsable de instrumentación del GTC, que presentó la ponencia "ELMER, el instrumento de seguridad para el GTC". Su diseño fue recomendado por el Comité Científico Asesor del GTC y responde a requerimientos de simplicidad, bajo riesgo y precio razonable. A pesar de esto, es un instrumento altamente competitivo en áreas que no cubren los principales instrumentos.

ELMER cuenta con varios modos de observación: imagen, fotometría y espectroscopía. "Todos estos modos estarán disponibles desde el Día Uno. Además, con ELMER se podrán hacer calibraciones del propio telescopio, y tendremos un retorno científico inmediato del GTC", indica García Vargas.

ELMER no está condicionado por ningún programa científico concreto, pero su alta resolución temporal lo hace especialmente atractivo para algunos proyectos: la detección de fuentes de rayos gamma, el estudio de Objetos Violentamente Variables (OVV), púlsares, novae y fenómenos atmosféricos en los planetas del Sistema Solar.



María Luisa García Vargas



ELMER



El diseño del GTC se hizo teniendo en cuenta las necesidades de la comunidad científica, para intentar llevar a cabo proyectos que sería imposible realizar sin este nuevo telescopio. Cada instrumento lleva asociados distintos programas científicos, que intentarán superar los límites del conocimiento actual.

Este telescopio cuenta principalmente con su gran capacidad colectora de luz y calidad de imagen. Lo primero se debe al gran diámetro de su espejo, 10,4 metros, que lo convierten en el telescopio más grande del mundo. Lo segundo, a dos técnicas innovadoras: la óptica activa y la futura óptica adaptativa.

El GTC comenzará a funcionar en el 2004, junto a sus instrumentos principales. EMIR, el instrumento de segunda generación, estaría listo para incorporarse al telescopio en el 2006.

Prácticamente todas las áreas de la Astronomía estarán presentes en la ciencia que se podrá llevar a cabo con el GTC: desde el estudio del Sistema Solar, hasta el campo de la cosmología.

En el Sistema Solar se podrán estudiar desde los anticiclones en Júpiter a los volcanes de Io, sin olvidarnos de los pequeños objetos que pueblan los confines de nuestro sistema planetario. Alejándonos más, se podrán buscar planetas extrasolares y, por primera vez, tomar imágenes directas de ellos.

Podremos observar las regiones en las que se produce la formación estelar a través de las grandes nubes de polvo que tapan a las jóvenes estrellas y los discos protoplanetarios que se forman en torno a éstas, dando lugar a los sistemas planetarios.

Se identificarán las contrapartidas ópticas de las misteriosas e intensas fuentes de rayos gamma y de rayos X. También se podrá avanzar en el estudio de los agujeros negros supermasivos, que se encuentran en el centro de las galaxias activas.

En cosmología, los espectros de las galaxias más lejanas y cuásares, o la medida de la abundancia de distintos ele-



El GTC, en construcción.

mentos, nos permitirá poner a prueba teorías sobre el origen y la evolución del Universo.

Peter L. Hammersley, investigador del IAC, inauguró la segunda sesión explicando el proceso de *commissioning* del GTC. Durante este periodo se ha de comprobar que el telescopio, sus distintos componentes y los instrumentos funcionan correctamente.

“Para ello – señaló- primero se verifica el funcionamiento de la estructura; al integrar el sistema de control hemos de comprobar que la montura sigue correctamente los movimientos celestes”. Después se ha de comprobar que los 36 componentes que forman el espejo se comporten como una unidad para obtener una imagen de alta calidad. “Antes de montar el primer instrumento tenemos que comprobar que la ciencia que se puede obtener con el telescopio es de alta calidad y que éste funciona casi perfectamente”, añade el investigador.

En las siguientes conferencias se discutieron algunos de los programas científicos asociados a OSIRIS y a EMIR. También se habló de un método para minimizar los errores en los datos y de un experimento con telescopios robóticos, conocido como BOOTES.

Ciencia con EMIR

Marc Balcels, astrofísico del IAC, explicó la ciencia que se hará con el espectrógrafo infrarrojo EMIR: “Lo concebimos con el objetivo de estudiar las galaxias con alto desplazamiento al rojo, aunque el instrumento en sí tiene una gran versatilidad y podrá obtener espectros de muchas fuentes de forma eficiente y con gran profundidad”.



COSMOS es el programa científico principal de EMIR, en el que se estudiarán galaxias con desplazamientos al rojo entre 1 y 2, lo que traducido en tiempo se sitúa entre un 40% y un 10% de la edad actual del Universo. Este intervalo es de especial importancia ya que se cree que corresponde al momento de máxima formación estelar en las galaxias. También se quiere realizar un muestreo de las galaxias aún más lejanas, hasta un desplazamiento al rojo (z) de 3, para comprender el papel que tuvieron estas primitivas galaxias en la formación de las estrellas.

Este espectrógrafo, al trabajar en el rango del infrarrojo, podrá ver lo que hay detrás de las regiones de polvo, "con ello podremos observar directamente regiones centrales en los núcleos de las galaxias, donde actualmente se están formando estrellas a grandes ritmos y donde viven los núcleos activos con agujeros negros", comenta Balcells.

Gracias a su gran resolución, permitirá tomar imágenes de estrellas individuales a distancias muy lejanas, más allá del Grupo Local. "Hay grupos españoles expertos en el estudio de estrellas calientes a esas distancias, y van a poder explotar el GTC con EMIR para ampliar sus estudios a galaxias más lejanas".

El programa científico de OSIRIS

De la ciencia que se puede hacer con OSIRIS hablaron **Jordi Cepa** y **Héctor Castañeda**, ambos del IAC. El primero se centró en OTELO, una propuesta de Proyecto Clave para el GTC.

Con OTELO se pretende conseguir un extenso cartografiado del cielo: "Vamos a hacer un mapa del cielo en líneas de emisión. Para ello iremos



Peter Hammersley

cartografiando distintas zonas, de igual extensión y volumen, pero en distintos tiempos del Universo", comenta Jordi Cepa. En el Universo, zonas más alejadas equivalen a zonas más antiguas, por lo que se puede conseguir un mapa de cómo era el Universo en distintos momentos. "Esto nos permitirá estudiar cómo evolucionan la formación estelar, la composición química y la actividad de las galaxias", explica este investigador.

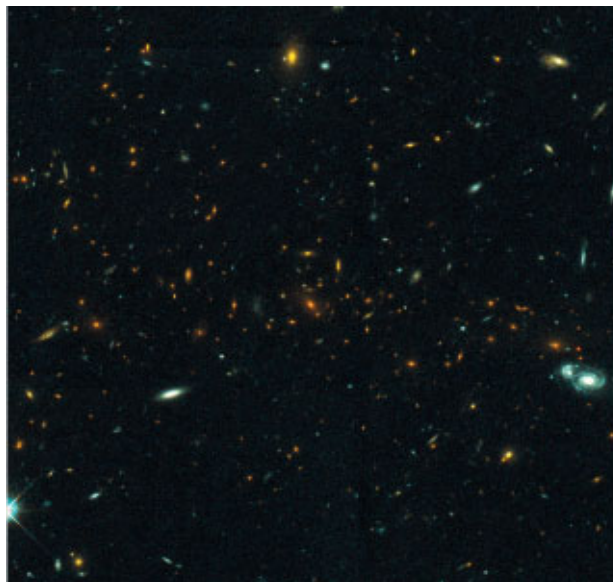
Por su parte, Héctor Castañeda comenta las múltiples capacidades de OSIRIS, pudiendo tanto realizar imágenes de galaxias, como espectroscopía de las mismas. "Planeamos -indica este astrofísico- observar galaxias de nuestro Grupo Local, como la famosa M 31, o también grupos de galaxias muy lejanas que sólo se pueden observar con telescopios más potentes, como el GTC. Estos grupos se llaman cúmulos y están al comienzo de la historia del Universo".



Marc Balcells

Este instrumento, que trabajará en el rango visible, proporcionará datos únicos a los científicos en diversas áreas de conocimiento de la Astrofísica, como las atmósferas de los planetas del Sistema Solar; los objetos compactos emisores de rayos X (posibles agujeros negros); las supernovas muy lejanas - que sirven de referente para conocer la velocidad de expansión del Universo -; las llamadas explosiones de rayos gamma, tremendas emisiones de energía cuyo origen se desconoce y que es preciso identificar; o la formación y evolución de las galaxias y los cúmulos.

El GTC permitirá estudiar individualmente las galaxias de lejanos cúmulos, como el que se observa en la fotografía del Hubble.



Cúmulo de galaxias MS1054-03. Imagen: HST. OPO-P. van Dokkum (Univ. Groningen). ESA y NASA.

Tratamiento de datos

Nicolás Cardiel, de la Universidad Complutense de Madrid, explicó un nuevo método para el tratamiento de datos en "Un nuevo acercamiento a la reducción de datos: correcto tratamiento de errores aleatorios y distorsiones de imágenes".



Nicolás Cardiel

Este método minimiza los errores que se producen durante la adquisición de los datos astronómicos, con un acercamiento distinto del usual. Por un lado, se siguen teniendo presentes los beneficios de considerar la reducción de datos como la caracterización completa de los marcos de datos en bruto. Sin embargo, en este método se procura que la manipulación aritmética de los datos se haga tan tarde como sea posible, es decir, hasta la medida final de las propiedades de las imágenes con un significado físico para los astrónomos.

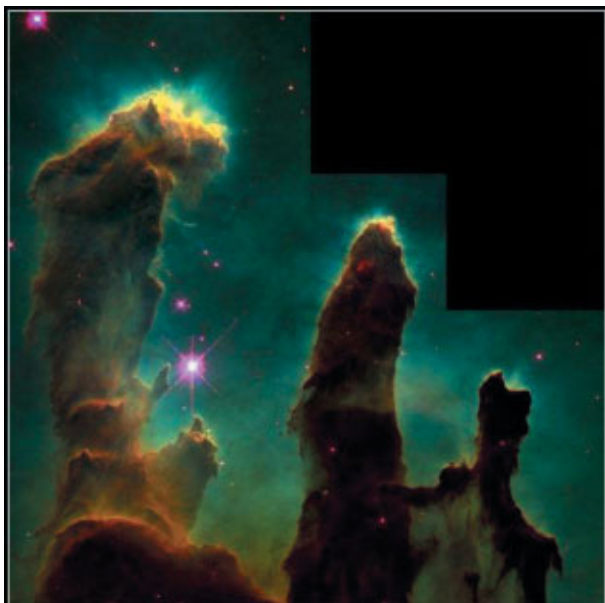


Héctor Castañeda

El experimento BOOTES

José María Castro Cerón, del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (Cádiz), presentó "El experimento Bootes como apoyo al GTC en el estudio del universo de altas energías".

"El experimento BOOTES (*Burst Observer and Optical*



Pilares gaseosos en la nebulosa M 16. © Jeff Hester and Paul Scowen (Arizona State University). HST. NASA.

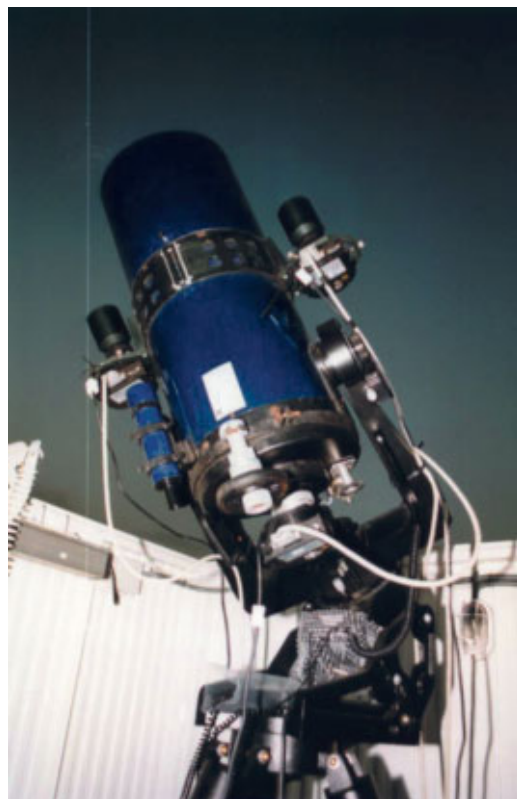


José María Castro Cerón

Transient Exploring System) -explica Castro- se ha diseñado como un sistema de pequeños telescopios robóticos y cámaras de campo ancho. Estos telescopios son capaces de responder muy rápidamente a una alerta dada por un satélite, que hace una detección y pasa por correo electrónico las coordenadas.

Entonces se toman las imágenes en el visible, para buscar la contrapartida óptica de la fuente de rayos X o Gamma». Para que puedan responder tan rápidamente, estos telescopios han de tener un tamaño muy pequeño, que les permita desplazarse y enfocar el objetivo en pocos minutos; también han de tener un campo de visión grande ya que al no ser las coordenadas exactas, el objeto que se busca podría quedar fuera del campo.

Una vez detectado el objeto, las coordenadas exactas se pasarían al GTC, que tomaría imágenes con mucha más profundidad.



Telescopio Bootes.



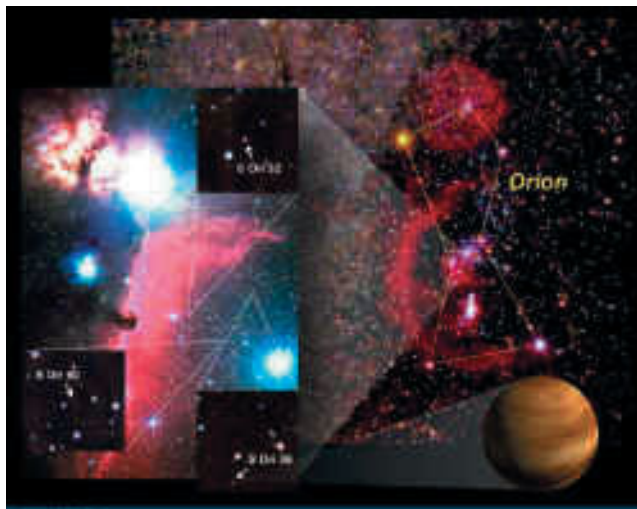
Bajo la denominación común de 'objetos de baja masa', nos encontramos con planetas, enanas marrones y asteroides, principalmente. Todos ellos tienen una luminosidad muy baja, lo que unido a su pequeño tamaño, hace muy complicada su detección y estudio. A pesar de ello, desde que en 1995 se detectara el primer planeta extrasolar, más de 90 han sido localizados. Ahora el desafío es tomar la primera imagen directa de uno de ellos, lo que se espera conseguir con el GTC.

Comprender la formación y evolución de los sistemas planetarios es otro de los objetivos que se podrían alcanzar con este telescopio. Para ello se han de estudiar los discos protoplanetarios en los que nacen y que se forman en torno a las estrellas jóvenes.

También se mejorarán los conocimientos que tenemos sobre los planetas gigantes del Sistema Solar y sobre la dinámica de sus cambiantes atmósferas, lo que nos llevaría a conocer mejor la nuestra.

Las enanas marrones son un eslabón entre planetas y estrellas. Debido a su pequeño tamaño, no se produce la combustión nuclear necesaria para iluminar a una estrella, pero sí son lo suficientemente grandes como para desprender calor, debido a la compresión gravitatoria. Saber cuántas de estas estrellas pueblan nuestra galaxia es importante para determinar si la influencia de las enanas marrones es relevante en la dinámica de la Vía Láctea.

Por último, con la observación de pequeños cuerpos que se encuentran a las afueras de nuestro sistema solar, se podrían conseguir nuevas pistas sobre su pasado y evolución. Estos cuerpos están situados bien entre Júpiter y Neptuno (los Centauros) bien más allá de Neptuno (los Transneptunianos). Estos últimos están confinados a un anillo alrededor del Sol, que se conoce como cinturón de Kuiper.



Localización de tres "superjúpiter" solitarios en el cúmulo Sigma de Orión. Créditos: Composición artística de G. Pérez (SMM/IAC) basada en las imágenes de D. Malin et al. (Anglo-Australian and Royal Edinburgh Observatory), de Vannini et al. (Observatorio del Roque de los Muchachos) y de M.R. Zapatero-Osorio et al. (Observatorio del Roque de los Muchachos y Calar Alto).

Para realizar estos estudios se necesitan imágenes de calidad tanto en el óptico como en el infrarrojo. Este último es especialmente interesante, ya que la diferencia de luminosidad entre las estrellas y sus planetas es mucho menor en el infrarrojo, por lo que el planeta se puede distinguir más fácilmente. En el caso de ciertos objetos, como las enanas marrones, el rango de luz en el que emiten principalmente es también el infrarrojo.

Un avance muy importante para la observación de objetos de baja masa es la óptica adaptativa. Mejora la resolución espacial al corregir las distorsiones

que la atmósfera provoca en las imágenes. Esto permitirá, por ejemplo, obtener imágenes de las regiones más internas de los discos protoestelares.

En la tercera sesión del congreso, las distintas charlas trataron de la detección de objetos pequeños y de escasa luminosidad, como los asteroides, los planetas o las enanas marrones.



Carlos Eiroa

Discos protoplanetarios

Carlos Eiroa, de la Universidad Autónoma de Madrid, en su ponencia "Una perspectiva sobre discos protoestelares y protoplanetarios". Habló de los discos que se forman alrededor de una estrella durante su proceso de formación. Estos discos están compuestos de la misma materia que la estrella, y a partir de ellos nacen los planetas y se forman los sistemas planetarios.



“Si queremos realmente comprender nuestro sistema solar, cuál fue su origen y evolución, - comenta el profesor Eiroa- una de las cosas que tenemos que empezar a preguntarnos es cómo se forman los sistemas planetarios en general.”

Parece ser que no hay un único modelo de formación de sistemas planetarios y uno de los objetivos sería comprender cuáles son los mecanismos que dan origen a esta variabilidad de los sistemas. En palabras de este investigador, “esto significa que tenemos que estudiar cómo varían los discos y en qué escala de tiempos lo hacen. Hasta ahora hemos encontrado que, en las zonas más internas, las variaciones pueden tener lugar a escalas tanto de años como de horas. Hasta el momento no se conocen los mecanismos físicos que pueden explicar este tipo de variabilidad.”

Para estos estudios se necesitan observaciones muy detalladas, de gran resolución espacial, lo que puede alcanzarse con el GTC. Este telescopio, con sus instrumentos de última generación, “puede aportar algunas de las respuestas a estos mecanismos”.

Búsqueda de planetas jóvenes

En su conferencia “Acreción estelar en estrellas poco masivas y formación planetaria” **Matilde Fernández**, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, se centró en “el estudio de las últimas etapas del proceso de formación de estrellas de tipo solar, o incluso menos masivas”. En este estudio interesa lo que ocurre muy cerca de la estrella, en los últimos momentos de su formación, mientras sigue acretando materia. Esto sucede a distancias que pueden ser del orden de varias veces el diámetro de la propia estrella, por lo que la instrumentación actual no permite tomar imágenes. El GTC, con sus 10 m de diámetro, sí que brindaría esta posibilidad.

El otro tema que abordó fue “la búsqueda de planetas jóvenes, con edades entre 1 y 10 millones de años, en torno a estrellas lógicamente jóvenes también”. La ventaja que presenta buscar este tipo de planetas es que las diferencias de brillo entre la estrella y el planeta no son tan grandes como en etapas posteriores de su evolución, lo que facilita que se pueda distinguir al pla-



Matilde Fernández



Ray Jayawardhana



Rafael Rebolo

meta. Con el nuevo telescopio “se podrían tomar imágenes para detectarlos y, posteriormente, mediante espectroscopía, un análisis detallado de la luz, que serviría para confirmar estas detecciones”, comenta esta investigadora.

Óptica eléctrica y grandes telescopios

Ray Jayawardhana, de la Universidad de California en Berkeley, presentó la ponencia “Explorando con telescopios de diez metros la formación de planetas”. En ella describió los programas que se están llevando a cabo para investigar los orígenes de los sistemas planetarios, usando telescopios de la clase de 10 metros como el Keck y el Gemini, y los nuevos proyectos que se podrán realizar con el GTC.

También presentó los resultados de una nueva técnica llamada ‘Óptica eléctrica’, que corrige la distorsión provocada por la atmósfera, el ‘parpadeo’ de las estrellas.

Respecto al GTC comentó que “nos permitirá observar importantes detalles de cómo se originan los planetas alrededor de estrellas jóvenes, a partir de discos de gas y polvo. Y, por primera vez, tendremos la posibilidad de tomar imágenes de un planeta joven en torno a su estrella. De este modo tenemos la capacidad de aclarar si los planetas en torno a otras estrellas son similares a los de nuestro sistema solar o no”.

Detección de planetas gigantes

“Desde hace unos seis años sabemos de la existencia de planetas como Júpiter alrededor de estrellas similares al Sol. Pero estas detecciones se han hecho de manera indirecta, utilizando técnicas que no permiten ver directamente esos planetas. Con telescopios como el GTC, el objetivo es obtener imágenes y analizar con detalle la luz que emiten esos planetas”, comenta **Rafael Rebolo**, profesor de investigación del CSIC e investigador del IAC.

En su ponencia, “Detección directa de planetas con el GTC”, expuso cómo es posible la búsqueda de planetas -de la masa de Júpiter o incluso más pequeños- mediante la detección de radiación infrarroja, emitida debido a la energía gravitatoria que liberan en el proceso de contracción.



“Con el GTC –señaló- será posible obtener imágenes de estos planetas hasta distancias de algunos años-luz. Podremos ver planetas en distintos estados evolutivos, desde su reciente formación a una situación donde ya han transcurrido miles de millones de años - como es el caso de nuestro sistema solar-, y estos cuerpos han adquirido una situación estable.”

Actualmente, las técnicas utilizadas permiten explorar sólo planetas cuyas órbitas son muy cercanas a la propia estrella. Sin embargo, con los instrumentos que equiparán al GTC será posible estudiar órbitas muy distantes, que corresponden a unas 5 ó 10 veces la distancia que hay entre la Tierra y el Sol. Estas regiones son precisamente las que presentan las condiciones idóneas para la formación de los planetas gigantes.

Con esta investigación se pretende además entender el proceso de evolución que da lugar, no sólo a un planeta, sino a todo un sistema planetario; la frecuencia con la que se forman planetas alrededor de otras estrellas y a qué distancias suelen hacerlo.

Óptica adaptativa

Eduardo Martín, de la Universidad de Hawai, en su ponencia “Funcionamiento y resultados de la óptica adaptativa en grandes telescopios”, habló de los resultados que se han conseguido en su universidad con esta técnica.

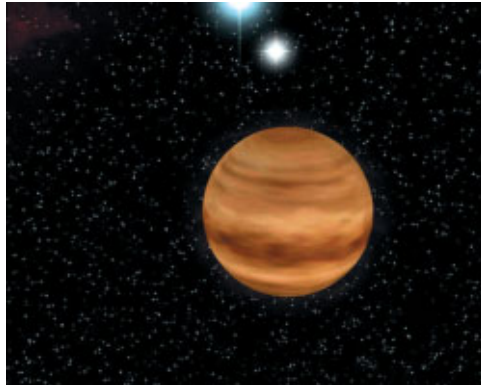


Imagen artística de un planeta solitario.
© G. Pérez (SMM/IAC).

La óptica adaptativa permite corregir las distorsiones que se producen en las imágenes a causa de la atmósfera, mediante el uso de óptica deformable. Esto se traduce en una mayor resolución espacial, en unas imágenes más nítidas. Gracias a ello se podrán detectar objetos muy débiles y, además, observar más detalles en éstos.

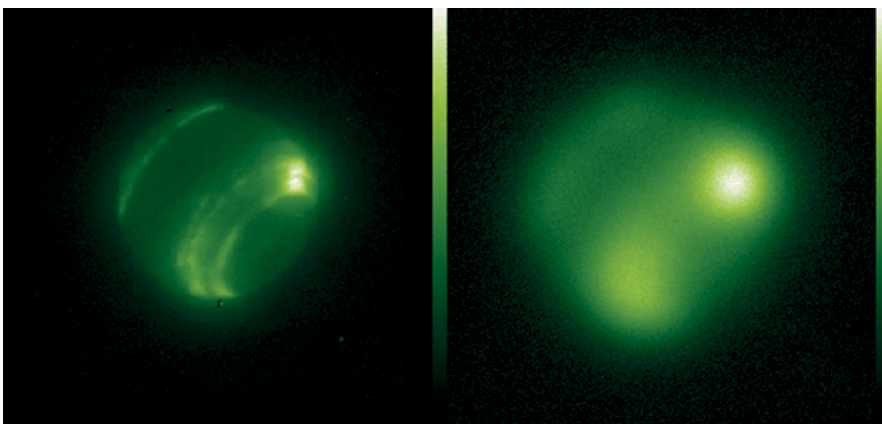
La mejora es tal, que un telescopio de 10 m con óptica adaptativa tiene la misma resolución espacial que tendría un telescopio de 100 m sin esta óptica. Por esta razón, la mayor parte de los observatorios importantes la están incorporando a sus telescopios, o lo han hecho ya. En el caso del GTC se espera que su óptica adaptativa esté operativa para el 2005.



Eduardo Martín

En los confines del Sistema solar

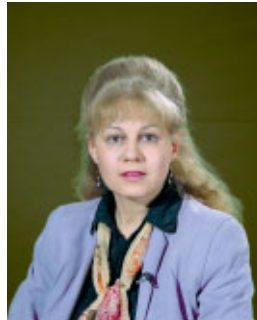
“Hace un par de años se descubrió la existencia de asteroides en las afueras del Sistema Solar. Al estar tan alejados del Sol, apenas han cambiado desde las primeras etapas de la formación de nuestro sistema, por lo que constituyen los restos mejor conservados de la primigenia nebulosa solar”. Son palabras de **Ludmilla Kolokolova**, de la Universidad de la Florida, quien presentó la ponencia “Estudio integrado de las características físicas de los cuerpos del sistema solar primitivo”.



El planeta Neptuno observado con el telescopio Keck, de 10 m de espejo primario, en la banda de metano. A la izquierda, la imagen obtenida con un sistema de óptica adaptativa. A la derecha, la imagen sin corregir.



La profesora Kolokova comentó la importancia del GTC en su estudio, ya que podrían observarse con él al menos 3.000 de estos pequeños cuerpos —cifra muy superior a la que permiten otros grandes telescopios— y, además, estudiar no sólo su forma, sino, también, su composición. "El GTC abre nuevas posibilidades para estudiar las propiedades físicas de pequeños y distantes objetos del Sistema solar, como puedan ser los núcleos de cometas, Centauros y objetos Trans-Neptunianos."



Ludmilla Kolokolova

También planteó cómo se podría estudiar la composición de estos cuerpos y determinar la materia orgánica que puedan contener.

Las atmósferas de los planetas gaseosos

Agustín Sánchez Lavega, de la Universidad del País Vasco, presentó una comunicación sobre el "Estudio de fenómenos atmosféricos en los planetas gigantes con el GTC". En ella explicó cómo la atmósfera de los planetas gigantes es un objetivo de fácil observación con el GTC, que puede aportar resultados significativos a corto plazo.



Agustín Sánchez Lavega

Lavega.

Un planeta gigante es un planeta totalmente distinto a la Tierra, de 10 veces el tamaño de ésta, y con una atmósfera muy profunda de hidrógeno, con una diná-



Asteroide Gaspra. Asteroides como éste pueblan las afueras de nuestro sistema solar. © Proyecto Galileo, NASA.

mica muy cambiante y variada. "La densidad de un planeta de este tipo es tan baja, que flotaría si lo arrojásemos sobre un inmenso océano", comenta Sánchez Lavega.

Con el GTC se podrá observar la Gran Tormenta de Saturno, que dura desde 1990, o el anticiclón de Júpiter (la Gran Mancha Roja), que afecta al planeta desde hace más de 300 años.

Respecto al GTC afirmó que "en mi especialidad, lo que puede aportar es conocer mejor los planetas más lejanos: Urano y Neptuno. Puede aportar datos esenciales viendo tormentas y nubes que se mueven rápidamente, a más de 1.800 km/h".

Contar con el GTC es especialmente relevante ya que en los próximos años ninguna nave espacial estudiará estos planetas —a excepción de la misión Cassini, que explorará Saturno—. Además, los telescopios espaciales "son extremadamente costosos y hay una gran competencia respecto a los tiempos de observación. La ventaja del GTC para la astrofísica española es que vamos a poder disponer de mucho tiempo para la observación", concluye Sánchez



La Gran Mancha Roja de Júpiter, una tormenta que dura más de 300 años. © Voyager I, NASA.

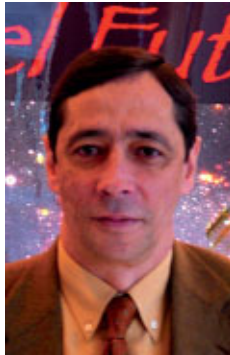


Uno de los objetivos del Congreso “Ciencia con el GTC” fue poner en contacto a las comunidades astrofísicas de Florida, México y España, haciendo un repaso del estado actual de la Astronomía en cada uno de estos países.

Rafael Rodrigo, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA), habló de la situación de la Astronomía en España. En nuestro país, donde esta disciplina ha tenido un despegue excepcional en los últimos 20 años, destaca el nuevo Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, como consecuencia directa de la construcción del GTC.

Según Rodrigo, “el porcentaje de artículos científicos de Astronomía españoles que se publicaban en el mundo a primeros de los años 80, no llegaba al 1% (estaba en el 0,4%-0,5%). Sin embargo, ahora estamos por encima del 5%; es un incremento importantísimo, si tenemos en cuenta que la media española esta en el 12-13%. “Evidentemente no sólo basta con la cantidad, sino que hay que calibrar la calidad, y en eso también ha habido una tendencia positiva en los últimos años: “hemos pasado de tener un factor de impacto inferior a la media mundial a tener un factor de impacto un 10% mayor a la media mundial. Es decir, que en Astrofísica no sólo se está haciendo cantidad, sino que se está haciendo calidad”.

Rodrigo también habló del futuro, ya que se prevén nuevos proyectos de desarrollo y nuevos convenios que se podrán llevar a cabo en un futuro con diferentes países.



Rafael Rodrigo



Stanley Dermott

Alfonso Serrano, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), junto con **José Guichard** y **Miguel Chavez**, ambos del INAOE, hablaron de la “Astronomía en México”, donde esta disciplina ha tenido un rápido desarrollo en la era moderna. Actualmente, en México hay unos 130 investigadores en Astrofísica, concentrados esencialmente en dos grandes instituciones: el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM) y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). México está desarrollando un ambicioso proyecto: el Gran Telescopio Milimétrico (GTM),•: una antena de 50 m de diámetro que detectará ondas en la zona milimétrica del espectro. Este instrumento complementará diversos estudios con el GTC.

De la Astronomía en la Universidad de Florida habló el Director del Departamento de Astronomía, **Stanley Dermott**. Este Departamento ha adquirido un gran prestigio en los últimos años con la construcción de instrumentos para los telescopios GEMINI. El factor decisivo para Florida a la hora de participar en el GTC fue la posibilidad de tener una fuerte relación con España y, más tarde, con México, en la construcción de instrumentos y la formación de estudiantes; en definitiva, el intercambio ha sido considerado enriquecedor para todas las partes.



Alfonso Serrano, a la izquierda, con Pedro Álvarez.



El Gran Telescopio Milimétrico (GTM), en construcción.



Las estrellas son gigantescos globos de gas, con poderosos hornos de fusión termonuclear en su interior. Son estas reacciones nucleares las que les proporcionan la energía necesaria para compensar la acción de la gravedad y evitar que colapsen sobre sí mismas. Esta energía nos llega a nosotros en forma de luz, atravesando el espacio interestelar.

La variedad de tipos de estrellas es inmensa. Algunas tienen un tamaño tan reducido que cabrían en una ciudad pequeña, mientras que otras colocadas en lugar del Sol se extenderían hasta más allá de nuestro sistema solar. Las más masivas pueden llegar a pesar como 100 soles, mientras que las menos tienen una décima parte de la masa del Sol. Las más livianas pueden tener temperaturas en su superficie de unos 2.500 kelvin; las más compactas, de 300.000.



La Nebulosa del Velo es el remanente de la explosión de una supernova, en la que acaban sus días las supergigantes azules. © IAC-RGO D.Malin et al.

Dependiendo de su masa, el ritmo de sus vidas cambia. Las más masivas tienen vidas cortas, pero intensas, brillando como 10.000 soles. Las menos gozan de vidas 'anodinas', emitiendo una luz muy débil a cambio de su longevidad.

En función de sus espectros se clasifican en estrellas de tipo O, B, A, F, G, K, M. Las primeras son las más calientes y luminosas, y según avanzamos en la clasificación van disminuyendo las temperaturas. De este modo, las estrellas O son muy calientes y azules; las G, como nuestro sol, son amarillas y de temperatura media; las M son estrellas rojizas y frías.

La relación entre luminosidad y temperatura se representa en un diagrama, conocido como de Hertzsprung-Russell. En él se observa que la mayoría de las estrellas se encuentran en torno a una banda diagonal, llamada 'secuencia principal'. Se sabe que todas ellas están en el periodo más prolongado de su vida, en la que el combustible es hidrógeno. Cuando se acaba, salen de esta secuencia y ocupan otra banda en el diagrama: la de supergigantes, gigantes o enanas blancas, dependiendo de su masa inicial.

El Grupo Local es el nombre del cúmulo de galaxias en el que estamos. Lo forman más de 30 componen-

tes y tiene un diámetro de unos diez millones de años luz. Las galaxias dominantes, debido a su masa, son la Vía Láctea y Andrómeda.

En este cúmulo hay una gran diversidad de tipos de galaxias, lo que lo hace muy interesante para su estudio y lo convierte en un 'laboratorio' de formación y evolución galáctica.

La protagonista de la quinta sesión del congreso fue la gama que comprende desde las brillantes

supergigantes azules a las compactas enanas blancas (diversos objetos estelares que pueden ayudar a entender mejor la evolución y estructura del Grupo Local).

Supergigantes azules



Stephen Smart

Stephen Smart, del Instituto de Astronomía de Cambridge, presentó "La astrofísica estelar en el Grupo Local y más allá con el GTC". En ella habló de la oportunidad de utilizar este telescopio para obtener espectros de alta calidad de las estrellas de otras galaxias. Esto podría ayudar a resolver los interrogantes sobre la evolución de las estrellas más masivas de la secuencia principal, que acaban sus días en una explosión de supernova.

Además, los espectros de estas supergigantes azules nos pueden proporcionar una útil herramienta para explorar las propiedades de las galaxias donde se produce formación estelar. Contando con un eficiente espectrógrafo como OSIRIS en un telescopio como el GTC se podrían obtener espectros de estrellas que se encuentran hasta 10 megaparsecs de distancia (a más de 20 millones de años luz).

Respecto a las implicaciones científicas de este estudio, Smart explicó que "podremos estudiar los



distintos elementos en la atmósfera de las estrellas y detectar elementos como carbono, nitrógeno, magnesio, etc., elementos constituyentes del Sistema Solar. Lo que nos gustaría hacer es ver si la composición química de estas galaxias cercanas es la misma que tenemos en la Vía Láctea y saber así cómo de uniforme es el Universo.”



Ignasi Ribas



Juan Echevarría

“La distancia a la galaxia de Andrómeda es realmente muy importante, porque es la que nos permite calibrar la escala cosmológica de distancias. Tal escala está, además, íntimamente relacionada con la constante de Hubble y, por lo tanto, con la edad del Universo.” Actualmente esta distancia se conoce con un margen de error de un 10-15 %, y con este estudio los investigadores esperan reducirlo hasta menos de un 5%.

También propuso un nuevo método para determinar las distancias a estas estrellas, el WLR (*Wind-momentum Luminosity Relation*), que podría constituirse como un nuevo indicador de distancias dentro del Grupo Local.

La distancia a Andrómeda

Ignasi Ribas y Carme Jordi, ambos del Departamento de Astronomía de la Universidad de Barcelona, han estudiado la “Distancia precisa a la galaxia de Andrómeda usando binarias eclipsantes como candelas estándar”, título de su ponencia.

“Estudiamos varias circunstancias en la galaxia de Andrómeda. Las más representativas son un par de estrellas que orbitan una alrededor de la otra y, cada cierto tiempo, tienen eclipses. Éstos son muy útiles para determinar las propiedades físicas de las estrellas, como la masa y el radio. Con esta información, y a partir de fórmulas realmente muy simples, sacamos la distancia a la galaxia de Andrómeda”, indica Ribas.

Para ello se utilizan datos de fotometría (curvas de luz) y datos espectroscópicos (curvas de velocidad). “A partir de estas curvas de velocidad, uno puede determinar con más precisión las masas de cada una de las estrellas”, explica Ribas. La dificultad está en que los espectros de estas estrellas son muy débiles, de magnitud 20, y para obtenerlos con la suficiente precisión son necesarios telescopios de gran diámetro, como el GTC.

Variables cataclísmicas

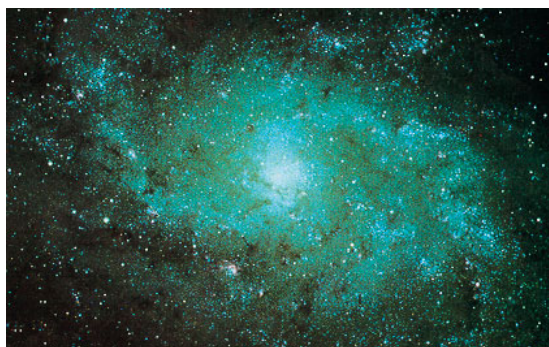
Juan Echevarría, profesor de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), presentó un resumen de su trabajo sobre “Tomografía Doppler de Estrellas Variables Cataclísmicas”.

“Estas estrellas son binarias interactivas donde una estrella está pasando material a la otra, formándose un disco de acreción alrededor de la estrella binaria, que es una enana blanca. Suceden entonces toda clase de cosas exóticas: erupciones, variabilidades de luz muy cortas...”, explica J. Echevarría.

En su ponencia presentó un análisis de los espectros obtenidos para tres estrellas de este tipo con el telescopio de 2,1 m del Observatorio Nacional en San Pedro Mártir (México) y mostró la diferencia que habría de ser observadas con el GTC. “Es un trabajo que se puede hacer difícilmente con telescopios pequeños. Yo he hecho una propuesta apoyando la idea de construir un espectrógrafo de alta resolución espectral para el GTC que nos permita observar una colección de objetos que son muy débiles para telescopios pequeños. De este modo se podría conseguir una buena imagen de los discos de acreción”.



Galaxia de Andrómeda (M31), un miembro del Grupo Local de galaxias con gran formación estelar.
© IAC-RGO D.Malin et al.



Galaxia Espiral del Triangulo (M33), un miembro del Grupo Local de galaxias con gran formación estelar.
© IAC-RGO D.Malin et al.



El Grupo Local, convertido en laboratorio

“Lo que hacemos es usar el Grupo Local de galaxias como un enorme laboratorio donde estudiar la formación y evolución galáctica”, explica **Ata Sarajedini**, de la Universidad de Florida.

Hay dos factores que hacen a este grupo especialmente interesante para su estudio. Uno es su variada morfología, pudiéndose encontrar desde galaxias espirales a enanas elípticas o irregulares. Otro, la variedad de ‘comportamientos’: mientras algunas galaxias interactúan mucho entre ellas, otras no lo hacen en absoluto.

Todas estas galaxias se formaron al mismo tiempo, hace unos 30 millones de años. El profesor Sarajedini señala que “es muy inusual que, en un volumen tan grande como el que abarca el Grupo Local, la formación estelar estuviera sincronizada. Es algo realmente sorprendente.” Entender por qué es así es uno de los objetivos del proyecto, así como explicar por qué más tarde las galaxias evolucionaron independientemente.

Para conseguirlo se usarán técnicas de espectroscopía e imagen que permitirán determinar la composición y edad de las estrellas. Con esta información podrá reconstruirse la historia de la formación y evolución de cada galaxia.

Resolución temporal y objetos compactos

Enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros, son ejemplos de objetos compactos, cuerpos de elevada densidad y pequeño tamaño. En torno a ellos se producen procesos de acreción de masa: materia de una estre-



Ata Sarajedini

lla cercana o de un disco circundante va cayendo sobre ellos a grandes velocidades. Debido a las altas energías involucradas se produce la emisión de rayos X.

Para estudiar este fenómeno es necesaria una elevada resolución temporal, que el GTC puede aportar gracias a su gran área colectora y a instrumentos como Osiris, según comentó **Phil Charles**, de la Universidad de Southampton (Reino Unido), quien habló de la “Rápida variabilidad en Binarias Compactas”.

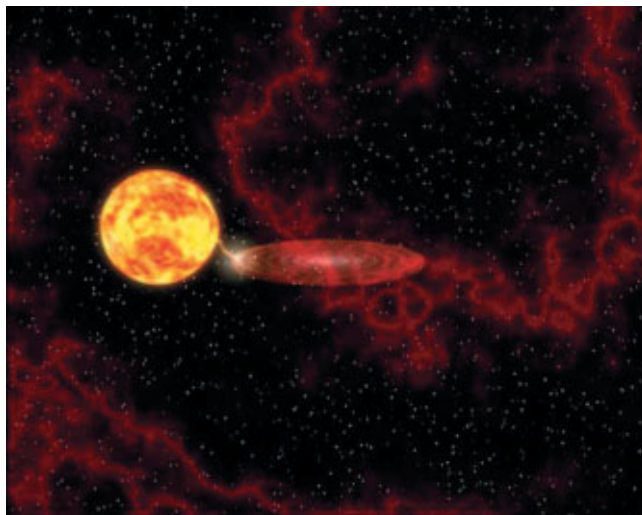
tas”.

Interpretación de los espectros

Andrés Asensio, del IAC, en su ponencia “Herramientas de transferencia radiativa para el GTC”, habló de estas herramientas como

estas herramientas como técnicas fundamentales para la interpretación de los espectros atómicos y moleculares que se obtendrán con telescopios como el GTC.

Las bandas que se encuentran en estos espectros, además de darnos información sobre la composición de la estrella, también sirven para estudiar las condiciones físicas de la estrella, del plasma que la compone. Un ejemplo concreto es el estudio de los campos magnéticos de enanas marrones mediante la observación de sus líneas moleculares.



Simulación de un sistema binario, formado por un agujero negro y su compañera. © Gabriel Pérez (SMM/IAC).



Phil Charles



Andrés Asensio

“Otro aspecto en el que pone especial interés nuestro grupo es en incluir en las observaciones la polarización de la luz, ya que en las que se hacen actualmente no estamos aprovechando toda la información”, comentaba Asensio haciendo alusión a la técnica de la ‘espectropolarimetría’. En su ponencia también resaltó el interés que tendría el incorporar un instrumento de este tipo al GTC.

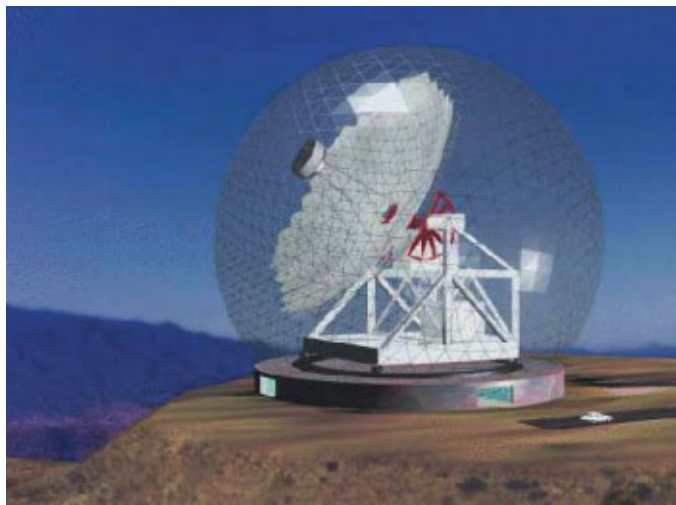


Actualmente se están desarrollando importantes proyectos relacionados con telescopios. Desde el *European Southern Observatory* (ESO) se trabaja en el *Very Large Telescope Interferometer* (VLTI), mientras que la Universidad de México construye un nuevo radiotelescopio, el Gran Telescopio Milimétrico (GTM). En cuanto al desarrollo de instrumentos de última generación, el IAC está contruyendo LIRIS, un espectrógrafo destinado al Telescopio "William Herschel" (WHT), el telescopio de 4,2 m situado en Observatorio de Roque de Los Muchachos. Un consorcio liderado por la Universidad John Hopkins, de Estados Unidos, ha diseñado una nueva cámara para el telescopio espacial Hubble, la *Advanced Camera for Surveys* (ACS).

A la sexta sesión del Congreso acudieron científicos de las principales instituciones astrofísicas del mundo para hablar de sus últimos proyectos. Los instrumentos del VLT, la última cámara del Hubble o el telescopio milimétrico de México fueron algunos de los temas que se trataron.

El proyecto del Observatorio Sur Europeo fue concebido en la década de los ochenta y consiste en la conexión por interferometría de los telescopios del VLT. Esta batería de 4 telescopios- con 8 m de diámetro cada uno- es la más grande del mundo y se encuentra en el desierto de Atacama, al norte de Chile. En octubre del 2001 por primera vez se consiguieron resultados científicos uniendo los rayos de luz de dos de sus telescopios, lo que constituye un primer paso en el objetivo final de conectar todos ellos.

El GTM es un telescopio de 50 m de diámetro destinado a la detección de ondas de radio (de ahí el nombre de telescopio milimétrico, ya que estas longitudes de onda son de ese orden). Será capaz de detectar ondas de hace más de 10.000 millones de años, cuando estaba comen-



Maqueta del Gran Telescopio Milimétrico, que se instalará en México. © INAOE



La batería de telescopios del VLT, en el Observatorio Paranal (Chile). © ESO

zando la formación de las galaxias.

El telescopio se está construyendo en la cima del volcán Sierra Negra -al sur de México- por el INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica) y la Universidad de Massachusetts (Estados Unidos). Se espera que esté finalizado para el 2004.

LIRIS es un espectrógrafo para el infrarrojo cercano (de 0,9 a 2,4 micras), de resolución media, concebido como un instrumento de propósito general. En septiembre de este mismo año se espera llevar a cabo su calibración, para que esté preparado en enero del 2003 y será instalado en el WHT. Con él se podrán detectar nebulosas protoplanetarias, planetas extrasolares y enanas marrones, entre otros objetos astronómicos. También se estudiarán las regiones de formación estelar, los núcleos de las galaxias activas (AGN) y galaxias de alta luminosidad en el infrarrojo.

La ACS es un instrumento de tercera generación que en marzo de 2002 fue transportado por el transbordador Columbia y colocado en el telescopio espacial Hubble. Consiste en un conjunto de tres cámaras electrónicas y distintos filtros, que

trónicas y distintos filtros, que



aumentarán en un factor diez la eficiencia del Hubble.

La primera cámara está diseñada con un campo de visión muy grande, para trabajar en el óptico e infrarrojo cercano; la segunda, para tener una alta resolución; y la tercera, para trabajar en la región ultravioleta del espectro.

El VLT y sus instrumentos

Almudena Prieto, investigadora del ESO, presentó la ponencia "Estado instrumental del VLT".

"El principal objetivo es estudiar con gran detalle objetos del Universo que están muy cercanos. Por ejemplo, una estrella que tiene un planeta o una estrella próxima se puede observar con una resolución espacial que es única, de 0,18 segundos de arco", explica Prieto.

ESO también tiene otro tipo de instrumentos (tanto ópticos como infrarrojos) destinados a observar y estudiar el universo temprano, cuando éste tenía tan sólo el 10% o el 20% de su edad actual.

Respecto a cómo se podrían complementar el GTC y el VLT, Prieto indica que "en el caso de que España entrara en ESO, las posibilidades se ampliarían mucho más, porque España tendría una nueva ventana para explorar el Hemisferio Sur, y Europa tendría una nueva ventana para explorar el Hemisferio Norte con el GTC".

La cámara avanzada para el Hubble

Narciso Benítez, de la Universidad John Hopkins, habló de "La Cámara Avanzada para estudios de campo" (*Advanced Camera for Surveys*) para el Hubble.

"Se trata -explicó- de un instrumento de nueva generación para instalar en el telescopio espacial Hubble que supondrá una mejora en un factor 10 en la capacidad del telescopio de obtener descubrimientos".



Almudena Prieto



Narciso Benítez



Perspectiva de la ACS, antes de ser instalada en el Hubble. © NASA, ESA.



Arturo Manchado

En cuanto a los objetivos científicos principales, "uno de ellos es reescribir los libros de texto sobre la evolución de galaxias en cúmulos, como dice Ian Holland-Ford, el investigador principal. Otro es el estudio del Universo temprano, de objetos con un z de hasta 6,5. Por último, la detección de planetas alrededor de estrellas cercanas."

Sobre cómo se pueden complementar telescopios espaciales con telescopios en tierra, señaló que "el Hubble obtiene imágenes con una gran calidad de estos objetos, pero para su posterior estudio es necesario utilizar telescopios como el GTC".

LIRIS, un espectrógrafo infrarrojo

LIRIS es un espectrógrafo de resolución intermedia en el infrarrojo cercano, que se instalará en el telescopio "William Herschel". De él habló **Arturo Manchado**, investigador del IAC. "Creemos que va a ser uno de los más competitivos del mundo, por tener modos propios como multiobjeto, de polarimetría y de coronografía. Llevamos trabajando en él más de cuatro años, y esperamos que esté listo para 2003".

Actualmente, todos sus componentes se han fabricado y verificado, encontrándose en fase de integración. Al tratarse de un instrumento infrarrojo se requiere trabajar a temperaturas del orden de 77 grados kelvin—unos 200 grados centígrados bajo cero—, "lo que ha supuesto un importante reto tecnológico. Tenemos que tener en cuenta que en el caso de LIRIS, necesitamos construir un criostato de un volumen de un metro cúbico. Después tenemos que enfriar toda la masa del instrumento a esta temperatura de 200 grados bajo cero", explica este investigador.

CANARICAM: nuevas fronteras para la astrofísica española



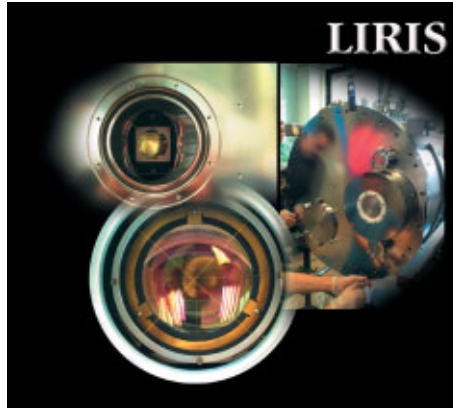
Los distintos campos de estudio que se abren con el uso combinado del GTC y CANARICAM, y su complementación con los otros instrumentos que se colocarán en el GTC, fue el objeto de la charla de **Mark Kidger**, del IAC. La conferencia tenía por título "La explotación española de CANARICAM: abriendo nuevas fronteras para la astrofísica española".

Entre los objetos que se pueden observar mejor con el CANARICAM se encuentran los cometas. Se podría medir con mucha precisión su tamaño, "algo que es absolutamente clave para entender los cometas". Además, sería la primera vez que es posible hacerlo directamente sin tener que enviar una sonda espacial.

También con este instrumento se podrían buscar planetas, del tamaño de Júpiter, y fotografíarlos: "Hay una carrera entre distintos grupos científicos para ver quién es el primero en fotografiar un planeta en torno a una estrella. Tendrá un prestigio enorme".

En cuanto a cómo se podrían complementar las observaciones de CANARICAM con otros instrumentos, señaló que "habrá mucha ciencia colaborativa que podremos realizar." En el campo de la evolución estelar, "OSIRIS nos dirá si esta zona del cielo, esta galaxia, es interesante, y nosotros podremos mirar con mucho detalle dentro de esa galaxia y ver exactamente qué es lo que está pasando ahí, ver las estrellas en proceso de formación, por ejemplo." También podrán colaborar con EMIR, en el campo de la Cosmología: "Hay objetos que EMIR dejará de ver; cuando miramos muy lejos en el Universo dejan de ser visibles al estar demasiado desplazadas al rojo. Pero nosotros sí las podremos captar con CANARICAM".

Potencial científico del GTM



Mark Kidger



Cometa Hale-Bopp. Imagen obtenida desde Canarias en 1997. © Luis Chinarro



Luis Carrasco



Enrique Gaztañaga

Luis Carrasco, del INAOE, habló en su ponencia de la situación actual del desarrollo del GTM y de los proyectos que se podrían beneficiar de una colaboración entre este telescopio y el GTC. El título de su conferencia fue "Estado actual del Proyecto GTM y su Potencial Científico".

El estudio del origen y evolución de las galaxias será uno de los objetivos científicos que se podrán alcanzar con este telescopio. En el Sistema Solar se observarán los objetos más pequeños y débiles, como pueden ser asteroides y cometas. Por último, también se llevará a cabo la búsqueda de planetas extrasolares.

Cosmología con el GTC y el GTM

¿Cómo se formaron las galaxias y los cúmulos? Ésta es una de las preguntas fundamentales en Cosmología. Explicar cómo podemos acercarnos a su respuesta, con el uso combinado de los telescopios GTC y GTM, fue el propósito de la ponencia de **Enrique Gaztañaga**. Su título: "Cosmología con el GTC y el GTM/LMT (México)".

El investigador indicó que hoy en día no tenemos una idea precisa de cómo se han formado. Se cree que el origen es el colapso por la atracción gravitatoria, que se produjo debido a pequeñas irregularidades en un Universo por lo demás homogéneo. "Pero este paradigma hay que comprobarlo con la nueva generación de telescopios. El GTC nos abre la oportunidad de crear nuevos programas de investigación, que nos permitirán acercarnos a este objetivo."

Tanto el GTC como el GTM podrían ayudar a aclarar otro de los grandes misterios de la cosmología actual: "No sabemos, al menos en un 99 %, de qué está hecho el Universo. Conocemos con certeza que es

un material del que no estamos hechos nosotros; es diferente, y no conocemos su origen. Además sabemos que existe una energía desconocida, llamada energía oscura, cuyo contenido y forma tampoco entendemos".



Las estrellas se forman en grandes nubes de gas, principalmente de hidrógeno. Estas nubes, debido a la gravedad, empiezan a contraerse. Ello hace que la temperatura aumente, pudiéndose alcanzar en el centro temperaturas de 10 millones de grados kelvin...

El gas está en un estado conocido como plasma, formado por iones y electrones sueltos. Con el aumento de la temperatura se producen choques entre los núcleos de hidrógeno, a energías y velocidades cada vez mayores. De este modo comienza la fusión nuclear; la energía que se desencadena en este proceso es enorme y la estrella empieza a emitir radiación.

Si son estrellas muy calientes, del tipo O ó B -clasificación según sus espectros, que es un indicador de la temperatura de las estrellas -, emiten radiaciones muy intensas en el ultravioleta. Esta radiación ioniza el hidrógeno de sus alrededores, razón por la que estas regiones son conocidas como HII, para diferenciarlas de las de hidrógeno neutro HI.

Estas regiones están a altas temperaturas -unos 10.000 kelvin - y presentan un color rosado muy característico que convierte a estas nebulosas de emisión en protagonistas de espectaculares imágenes. Su color se debe a la recombinación de los átomos ionizados con electrones, proceso en el que se emite luz justo en la longitud de onda correspondiente a este color.

Abundan en las galaxias espirales, especialmente en sus brazos, por lo que la detección de estas regiones se convierte en un medio para trazar la forma y

movimiento de galaxias lejanas. No es de extrañar que apenas se encuentren en galaxias elípticas o esféricas, donde escasea el gas.



*Nebulosa del Águila, región HII de intensa formación estelar.
© Miquel Serra-Ricart (IAC).*

También es un indicador de formación estelar, permitiéndonos saber que hay estrellas en formación donde no es posible 'verlas', no al menos en el rango visible del espectro. Esto permite identificar las regiones que se pueden estudiar posteriormente en el infrarrojo, ya que las estrellas jóvenes sí emiten en estas longitudes de onda.

La formación estelar y las regiones de hidrógeno ionizado HII fueron el tema de la séptima

sesión del Congreso. En las conferencias se habló de utilizar tanto radio como infrarrojo para realizar las observaciones que contribuyan a ampliar los conocimientos en este campo.

Radio e infrarrojo: una buena combinación



Jonathan Williams

"Estudios de formación estelar con el GTC" fue el título de la ponencia de **Jonathan Williams** y **Elizabeth Lada**, ambos de la Universidad de Florida. En ella se habló de la investigación llevada a cabo en esta universidad y de los proyectos relacionados que se podrían realizar con los instrumentos de primera generación del GTC.



“Con este telescopio miraremos directamente a través de la galaxia. Podremos ver el centro de la galaxia donde se están formando las estrellas, que es un entorno muy diferente al del brazo espiral en el que está nuestro sistema solar. Y con un telescopio tan grande podremos incluso estudiar otras galaxias”, explica Williams.

El investigador comentó también que será muy interesante combinar estas observaciones con los datos de radiotelescopios, ya que éstos permiten estudiar las nubes de polvo y gas que hay alrededor de las estrellas. “La combinación del radiotelescopio IRAM en Granada con el GTC nos dará una imagen completa del proceso por el que el gas se condensa para formar las estrellas. También estamos interesados en la colaboración con México porque está construyendo el radiotelescopio más grande del mundo”.

Regiones circunucleares

El título de la ponencia de **Ángeles Díaz**, de la Universidad Autónoma de Madrid, fue “Poblaciones estelares en regiones circunucleares de formación estelar”.

“Hay un buen número de galaxias donde la formación estelar se encuentra distribuida como un anillo alrededor del núcleo. Estas zonas son muy interesantes de estudiar porque nos van a dar mucha información sobre cómo se da esta formación”, explica Ángeles Díaz.

Esto ayudará a comprender cómo ha evolucionado toda la zona central de la galaxia y cómo se han producido los elementos metálicos. “No hay que olvidar que somos polvo de estrellas, todos los elementos de los que estamos compuestos se han formado en ellas. Luego las estrellas las han devuelto al exterior en esas fabulosas explosiones de supernovas. Es

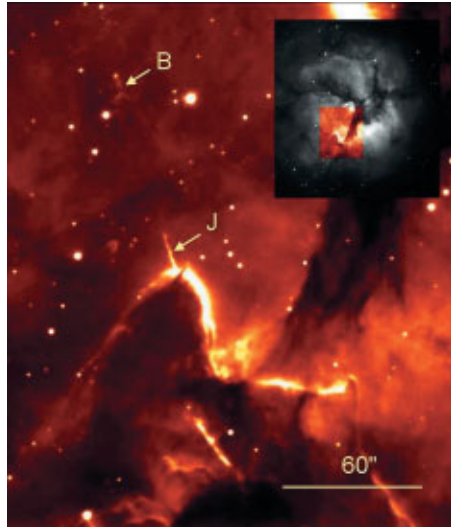


Imagen obtenida con el satélite ISO, donde se observa la formación de protoestrellas en la Nebulosa Trífida. © ESA



Ángeles Díaz



Irene Cruz

este reciclaje del material lo que hace que el gas tenga una determinada metalicidad”.

Hidrógeno molecular

“Una de las moléculas más importantes en el Universo es el hidrógeno molecular”, afirma **Irene Cruz-González**, profesora del IA-UNAM y ponente en este congreso. “Puede encontrarse en las estrellas jóvenes, y en jets que salen de una estrella y se extienden distancias equivalentes a varios sistemas planetarios”.

Este hidrógeno molecular se puede detectar a través de la toma de imágenes con un filtro específico para esta molécula, técnica que se conoce como “Fabry-Perot”. Aplicando esta técnica se puede deducir la velocidad de estas estructuras de hidrógeno, saber si se están expandiendo o contrayendo, y cómo van a evolucionar con el tiempo.

“Con el GTC podríamos llegar a objetos mucho más débiles de lo que podemos llegar con los telescopios actuales y demostrar que esta molécula también se encuentra en los núcleos de las galaxias”, indica Cruz-González.

Espectroscopía de regiones HII

Marcelo Castellanos, de la Universidad Autónoma de México, en su ponencia “Espectrofotometría de las regiones de formación de estrellas masivas”, habló de la formación de estrellas del tipo Wolf-Rayet en el seno de regiones HII.

“Se cree que las estrellas Wolf-Rayet son las más masivas. Emiten radiación electromagnética de muy alta ionización, es decir, muy energética (del orden de 35 eV). Se cree que su aparición en estas regiones puede cambiar la estructura del gas en su interior”, explica Castellanos. “Nosotros creemos que además tienen un impacto más allá de estas regiones, que su radiación podría escapar de la galaxia en la que estén. Nuestro objetivo es intentar probar esa afirmación”.



Para ello comparan los datos de sus observaciones con los que predicen los modelos actuales de formación estelar. Hasta ahora han encontrado que no concuerdan, por lo que existiría la posibilidad de que los modelos estuvieran mal. “El GTC –señala Castellanos- nos va a aportar mucha luz al permitir un mayor número de observaciones. Con esto, los modelos podrán ir avanzando y teniendo en cuenta más restricciones”.



Marcelo Castellano

campo, sólo se detectarían los objetos del cúmulo que presentan esta línea de emisión”, explica González Serrano.

Una vez seleccionados los emisores se puede profundizar más obteniendo espectroscopía multi-objeto también con OSIRIS, diseñando una máscara con rendijas sobre las galaxias previamente detectadas.

Formación estelar en cúmulos

“Para estudiar la formación estelar en cúmulos de galaxias es necesario medir las líneas de emisión del espectro de las galaxias que lo forman”. Son palabras de **Ignacio González Serrano**, de la Universidad de Cantabria, quien presentó la comunicación “Formación estelar en cúmulos de galaxias”.

El primer paso en la investigación es determinar qué galaxias son las que pertenecen a determinado cúmulo, lo que se puede saber observando si los desplazamientos al rojo de las líneas espectrales coinciden.

Los filtros sintonizables de OSIRIS permiten hacer esto de un modo muy sencillo. Seleccionando la longitud de onda correspondiente a las líneas que nos interesan sólo ‘veremos’ las galaxias que las contengan, con lo que aislaremos a los miembros del cúmulo. “Por ejemplo, para cúmulos con desplazamiento al rojo de 0,6, la línea de emisión correspondiente al Oxígeno (OII) se observaría a una longitud de onda de 5.963 A. Sintonizando OSIRIS a esta longitud de onda y tomando una imagen del



Alan Watson

Estrellas masivas

“Me intereso por las estrellas más masivas, de entre 20 y 100 veces la masa de nuestro sol. Son muy interesantes porque son muy luminosas y al final de sus vidas explotan en espectaculares supernovas”, explica **Alan Watson**, del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IA-UNAM). Su ponencia fue sobre la detección en el infrarrojo medio de un núcleo caliente molecular en G29.96-0.02.



Ignacio González

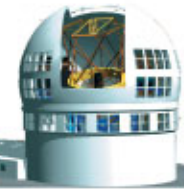
“El problema es que estas estrellas son bastante raras, y hay pocas formándose a nuestro alrededor, por lo que tenemos que observarlas en otra parte de nuestra galaxia. Esto implica mirar a distancias muy grandes, lo que hace que nos encontremos en nuestra imagen con un montón de estrellas, y es muy difícil separar de ellas la única que nos interesa”. Para conseguirlo, es necesario un telescopio que pueda proporcionar imágenes muy finas y, por lo tanto, con un gran diámetro.

Según este investigador, “con el GTC se podrían observar docenas de estas estrellas, lo que unido a los datos conseguidos con el telescopio de 8 m de Hawaii, permitiría restringir los modelos de formación

de estrellas y entender bastante sobre su proceso de formación”.



Nebulosa de la Burbuja (NGC 7635). El viento de una estrella muy masiva ha formado esta burbuja de gas. © IAC-RGO. D. Malin et al.

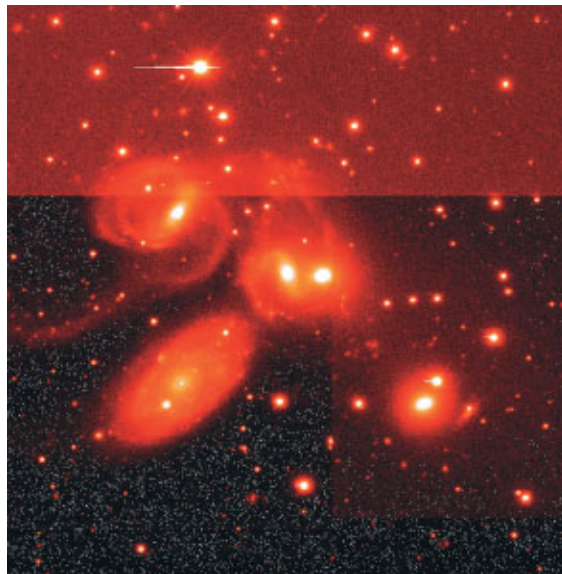


En los años 70 del siglo XX, los astrónomos descubrieron que algunas galaxias pasaban por una etapa de intensa formación estelar. El ritmo con el que se originaban las estrellas era de decenas a cientos de veces mayor que el habitual -en las galaxias espirales próximas el ritmo de formación estelar es de unas cinco masas solares por año-, de ahí que recibieran el nombre de galaxias con estallidos de formación estelar ('starburst galaxies').

Estas galaxias se caracterizan por su luminosidad ya que la mayoría de sus estrellas son muy masivas y calientes, acaban sus días en espectaculares explosiones de supernova. Las regiones en las que se produce la formación estelar pueden extenderse miles de años luz y la intensa actividad persiste sólo durante unos diez millones de años (en escala humana, lo equivalente a un mes de vida).

El mecanismo por el que se desencadena este proceso aún no se conoce con certeza, existiendo distintas teorías. Una de ellas lo relaciona con colisiones entre galaxias, en las que se crean ondas de choque que provocan que el gas empiece a colapsar y se formen estrellas. Estas explotan más tarde en forma de supernova, lo que causa más ondas de choque, que propician de nuevo el nacimiento de estrellas. Este proceso en cadena sólo finaliza cuando se acaba el gas de la galaxia.

Otros tipos de galaxias que han sido descubiertas en las últimas décadas son las que se engloban bajo el nombre de galaxias activas. Dentro de ellas se pueden distinguir varios tipos: radiogalaxias, cuásares y galaxias Seyfert son las principales. Tienen en común que son protagonistas de fenómenos violentos y emiten grandes cantidades de energía,



"El quinteto de Stefan", un grupo de galaxias en colisión. Se cree que este tipo de colisiones podría dar lugar a estallidos de formación estelar. Imagen tomada con el mosaico de detectores desarrollado por la Universidad de Tokio en el foco primario del telescopio WHT (4,2m), del Observatorio del Roque de los Muchachos. © H. Deeg, G. Tenorio-Tagle, C. Muñoz-Tuñón, M. Sekiguchi, S. Okamura, M. Yagi.



Dieter Lutz

normalmente desde sus núcleos (AGN), donde se cree que se encuentran agujeros negros supermasivos.

Estos agujeros serían el 'motor' responsable de esas energías tan altas. Al atraer a la materia de las regiones cercanas se formaría un disco de masa en torno a él. Poco a poco de este disco iría cayendo masa al agujero negro a grandes velocidades, lo que provocaría la emisión de energía, sobre todo en forma de rayos X.

Las radiogalaxias se caracterizan por fuertes emisiones de ondas de radio; los cuásares destacan por ser muy compactos y luminosos, del orden de diez a mil veces

más que una galaxia normal. Las Seyfert son galaxias espirales que suelen emitir mayoritariamente en radiación infrarroja.

Establecer la conexión entre Galaxias con Estallidos de Formación Estelar y los Núcleos de Galaxias Activas, así como la naturaleza y evolución de unas y otros fue el tema de las conferencias de la octava sesión del Congreso.

Galaxias en el infrarrojo medio

Dieter Lutz, profesor de Astronomía del Max Planck Institut für Astronomie, presentó la ponencia "Observaciones de galaxias en el infrarrojo medio". En ella habló de su trabajo usando el Satélite



Europeo *Infrared Space Observatory* (ISO) y de cómo se podría complementar con las futuras observaciones de telescopios grandes como el GTC.

Su campo de estudio es la evolución y naturaleza de las galaxias, para lo cual utiliza técnicas de imagen y espectroscopía en el infrarrojo medio (única longitud de onda en la que son accesibles las regiones oscurecidas por el polvo). "La ventaja principal del GTC en este campo de estudio será la elevada resolución espacial en el infrarrojo medio", indica Lutz.

Espectrógrafo del AAT

Joss Bland-Hawthorn, subdirector del Observatorio Anglo-Australiano (AAO), presentó la ponencia "Espectrofotometría de imágenes y fenómenos energéticos en las galaxias". En ella habló de la capacidad del GTC para la observación de objetos del Universo y mostró cómo un instrumento similar a Osiris ya está funcionando en Australia.



Imagen del satélite infrarrojo ISO. © ESA



Joss Bland-Hawthorn

El espectrógrafo angloaustraliano está colocado en un telescopio de 4 metros (AAT1) "donde las condiciones no son muy buenas, -advierte Bland-Hawthorn-, pero aún así obtuvimos resultados sorprendentes con una gran variedad de objetos: observamos galaxias con agujeros negros, la formación de estrellas, chorros muy energéticos, etc. La base de mi charla es demostrar con imágenes lo que hemos hecho hasta ahora con un instrumento inferior, en un telescopio inferior, en una montaña menor. Será maravilloso cuando el instrumento empiece a funcionar en un telescopio de 10 metros. Será un momento emocionante para los astrónomos españoles".

Conexión AGNs y Starbursts

"La conexión entre Estallidos de Formación Estelar y los Núcleos de Galaxias Activas en la era del GTC" fue el título de la ponencia de **Rosa González**, investigadora del



El telescopio AAT 1, de 4 metros, instalado en el Anglo-Australian Observatory (AAO). © AAO



La galaxia M81 contiene un agujero negro supermasivo en su interior. Imagen obtenida con el satélite XMM-Newton. © ESA



Instituto de Astrofísica de Andalucía. Su campo de estudio consiste en encontrar evidencias de que núcleos activos y estallidos de formación estelar pueden coexistir.

Cada vez hay más evidencias que apuntan a que podrían existir agujeros negros en casi todas las galaxias, y que habría uno incluso en el centro de la nuestra. Lo que los científicos tratan de establecer ahora es en qué tipo de galaxias podrían coexistir estos agujeros negros con intensos fenómenos de formación estelar.

«Hay modelos teóricos que sugieren que el agujero negro genera un chorro muy energético que aprisionaría el gas de su alrededor y lo compactaría, lo que dispararía la formación estelar. Otra manera de ver la conexión es que el gas sería traído de las partes más externas de las galaxias a las más internas para alimentar el agujero, se comprimiría y empezaría la formación estelar», explica Rosa González.

Galaxias de baja luminosidad

La investigadora **Vicki Sarajedini**, de la Universidad de Florida, tituló su intervención "Naturaleza de Galaxias Activas de Baja Luminosidad alrededor de un desplazamiento al rojo de uno".

En ella presentó los resultados de muestreos realizados para detectar y estudiar estas galaxias, con espectrografía y con imagen. "Los datos hasta ahora son de galaxias locales, pero con el GTC podremos observar



Rosa González

las que tienen un desplazamiento al rojo mayor, que es el periodo donde evolucionan las galaxias Seyfert. Con OSIRIS y EMIR podremos hacer un seguimiento de estas galaxias, especialmente en el infrarrojo", explica Sarajedini.



Galaxia NGC 7742, de tipo Seyfert
© Hubble Heritage Project, NASA y ESA

El objetivo principal del proyecto es determinar la naturaleza de las galaxias que albergan núcleos activos, así como la evolución de la luminosidad de los AGN, lo que tiene implicaciones para la comprensión de los mecanismos que suministran la energía a cuásares y galaxias Seyfert.

Canaricam y galaxias Seyfert

"La emisión en el infrarrojo medio de las galaxias Seyfert y la relevancia para CaranariCam" fue el título de la ponencia que

presentó **José Antonio Acosta**, investigador del IAC.

"Las galaxias activas son unas galaxias que presentan emisión muy fuerte concentrada en su núcleo y hay mucha discusión sobre cuál es el motor que proporciona toda esta energía. En el infrarrojo medio es posible atravesar barreras de polvo muy grandes que nos dificultan la visión directa de lo que puede ser el motor local", explica este investigador.

En concreto, Acosta presentó los resultados para una galaxia con la instrumentación existente en el ESO, tanto en imágenes como mediante un análisis espectroscópico. "España con el GTC y el CanariCam podrá realizar este tipo de observaciones. Sin duda, esto revelará muchos secretos de estos objetos tan enigmáticos que son los núcleos activos de las galaxias. Las observaciones que hemos presentado –añade– constituyen un primer paso en ese sentido".



Vicki Sarajedini



José A. Acosta



Las estrellas se suelen clasificar en dos grandes grupos: las de Población I y II. La diferencia principal radica en su composición química; las de Población II contienen hidrógeno y helio en un 99,9 %, mientras que las de Población I son también ricas en otros elementos conocidos como metálicos.

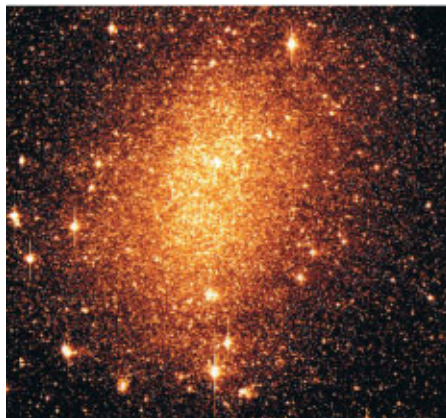
Esta diferencia de composición se traduce además en un indicador de la edad de la estrella. Los elementos más allá del helio no existían al principio del Universo, sino que fueron creados en los hornos de fusión de las estrellas. Este proceso de 'fabricación' de elementos se conoce como "nucleosíntesis estelar".

Cuando las estrellas agotan el combustible más abundante del Universo -el hidrógeno-, empiezan a utilizar el helio que se ha creado en las reacciones de fusión. Al cabo de un tiempo, éste también se termina, pero si la estrella está lo suficientemente caliente, puede utilizar el carbón que se ha creado como combustible. Cada nuevo elemento que utiliza como combustible dura cada vez menos tiempo y, finalmente, cuando llega al hierro, la estrella es incapaz de seguir produciendo reacciones nucleares.

Este elemento ya no se puede utilizar como combustible sea cual sea la temperatura de la estrella, y ésta, sin fuente de energía, colapsa sobre sí misma por la gravedad. Se produce una gigantesca explosión conocida como supernova, y las capas más externas de la estrella son arrojadas al espacio interestelar.

Las nuevas estrellas que se forman con el gas y polvo de la galaxia contendrán ya estos nuevos elementos en un porcentaje del 2 ó el 3 % y, posteriormente, seguirán una evolución similar a la de las estrellas de la Población I.

Las estrellas de cada población se encuentran mayoritariamente en distintos sitios de la galaxia. Las de Población I se localizan en el



*Galaxia NGC 6822, una de las galaxias irregulares más luminosas del Grupo Local. Imagen tomada con el telescopio "Isaac Newton", del Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma).
© A. Aparicio et al. (IAC).*

disco. Las de Población II, por el contrario, se localizan en el halo y el bulbo, ya que se formaron en las primeras etapas de la galaxia.

Conocer en qué proporciones se encuentran los distintos elementos químicos del Universo es necesario para avanzar en la comprensión de la formación y evolución de estrellas y galaxias. La composición química también constituye un indicador de la edad de las estrellas, y es el criterio de su clasificación en poblaciones. Cómo estudiar esta composición química fue el tema de las conferencias de la novena sesión.

Poblaciones de galaxias cercanas

"Poblaciones integradas de galaxias cercanas" fue el título de la ponencia de **J. Jesús González**, profesor de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Fuera de nuestra galaxia, ya no se pueden ver fácilmente cuáles son las distancias intermedias de las estrellas individuales, y lo que vemos es la suma de la luz de todas las estrellas en el campo de visión. "Nuestro estudio trata de romper sus componentes e intenta averiguar cuál fue la historia que siguió esta galaxia para formar sus estrellas", indica González. "En este campo, en los últimos 20 ó 25 años, hemos avanzado en todos los frentes. Está llegando el momento de cosechar todo ese trabajo con el GTC y con toda la comunidad científica que está detrás de él."



J. Jesús González

Mapa de líneas de emisión



“Las teorías que predicen cómo se han formado las estructuras galácticas son, hasta cierto punto, contradictorias. Algunas dicen que se formaron por el colapso gravitatorio de una nube de gas, en un proceso bastante rápido. Otras que se han formado a partir de la integración de galaxias más pequeñas”, explica el investigador **Alejandro Vazdekis**, del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Intentar aclarar cuál de las dos teorías es más certera sería uno de los objetivos de su proyecto, mediante el estudio de las poblaciones estelares de las galaxias. Las diferencias entre las poblaciones se reflejan en sus espectros, en particular por la presencia o no de ciertas líneas en ellos.

Con el GTC se podrán estudiar los espectros de las partes más externas de las galaxias que, al ser tan débiles, no se han podido alcanzar con otros telescopios más pequeños. “Estas partes más externas son absolutamente fundamentales para entender el proceso de formación de las galaxias espirales, y también de las elípticas”, comenta Vazdekis.

Galaxias enanas

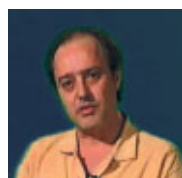
“El programa que hemos presentado para observar con OSIRIS consiste en estudiar la naturaleza de las galaxias enanas”, resume **Javier Gorgas**, de la Universidad Complutense de Madrid. Su ponencia tuvo por título “La naturaleza de las Galaxias Elípticas Enanas: una propuesta observacional para el OSIRIS”.



La «Galaxia del Remolino» (M51) es una galaxia espiral muy brillante, a unos 25 millones años-luz de nosotros. La imagen fue tomada por Javier Méndez (ING) y Nik Szymanek (SPA). © Grupo de Telescopios Isaac Newton.



Alejandro Vazdekis



Javier Gorgas

Las galaxias elípticas enanas son las más abundantes en el Universo local, pero se conoce muy poco de ellas ya que, al ser tan débiles, apenas han sido estudiadas. El proyecto trata de explicar cuáles han podido ser los mecanismos de formación y evolución de estas galaxias en los cúmulos, en particular en el cúmulo de Virgo, al que pertenecemos.

Para ello se compararán las características de estas galaxias con las elípticas normales y se estudiarán sus propiedades dinámicas. “Mediremos cómo rotan estas galaxias, que es una prueba fósil de cuáles fueron los mecanismos de formación de estos objetos, y también mediremos sus poblaciones estelares”, explica Gorgas.

El estudio de estas galaxias tiene además implicaciones en el campo de la Cosmología, ya que los principales modelos cosmológicos predicen que todos los objetos se han formado desde una escala más pequeña a una más grande. “Estos objetos serían como los ladrillos que forman las galaxias gigantes, y de ahí su importancia”, concluye Gorgas.



Manuel Peimbert

Temperaturas de regiones HII

Manuel Peimbert, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), habló de la importancia de determinar el mapa de temperaturas de regiones extra-

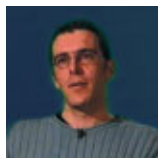
galácticas HII gigantes. A partir de él se podrían sacar conclusiones sobre su composición química y su energía. “El conocer las abundancias químicas sirve también para poner límites a las teorías de evolución estelar, e incluso del origen y evolución del Universo”, comenta este investigador.



También planteó los distintos interrogantes que el GTC podría ayudar a despejar. Uno sería profundizar en un resultado reciente que indica que el Universo se está acelerando: "Parece que las galaxias más lejanas, en lugar de estar frenándose, se están acelerando. Esto implica que hay una fuerza repulsiva, que es la llamada 'energía oscura'".

Composición química de galaxias lejanas

"Determinar las proporciones de la composición química de las galaxias con estallido de formación estelar (*starburst*) así como su evolución en el tiempo, es un medio muy potente para estudiar la formación y evolución galáctica", según **Thierry Contini**, del Observatorio Midi-Pyrenées (Francia).



Thierry Contini

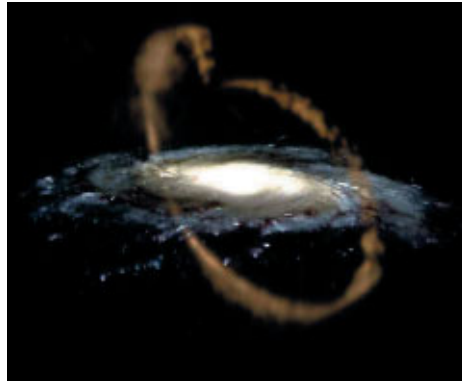
En su ponencia, titulada "Abundancias químicas en galaxias con estallidos de formación estelar cercanas y lejanas: pistas para la evolución galáctica", habló de los estudios hechos sobre estas galaxias, sobre Regiones HII y galaxias con fuerte emisión en el ultravioleta. También resumió lo que sabemos hasta ahora sobre las propiedades químicas de galaxias con altos desplazamientos al rojo. Con los resultados se pueden empezar a establecer las relaciones que hay entre estos lejanos objetos y las galaxias actuales.

Evolución estelar y OSIRIS

"Mapa de los gradientes de líneas de emisión con OSIRIS" fue el título de la ponencia de **John Beckman**, profesor de Investigación del CSIC e investigador del IAC. En ella habló de la importancia de los gradientes de intensidad en las líneas de



John Beckman



Simulación de los restos de la Galaxia enana de Sagitario canibalizada por la Vía Láctea.

© David Martínez y Gabriel Pérez (SMM/IAC)

emisión para estudiar la formación y evolución de las galaxias elípticas.

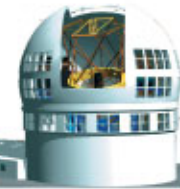
Propuso utilizar OSIRIS para hacer este mapa de gradientes ya que sus filtros variables lo hacen especialmente adecuado para ello. "Este estudio nos ayudará a entender cómo ha variado el ritmo de evolución estelar durante la evolución del Universo. También, un experimento muy interesante es averiguar cuánta radiación ultravioleta escapa de las galaxias, radiación que consigue ionizar casi todo el volumen del

espacio intergaláctico", indica Beckman.

Otro de los usos de estos filtros sería la búsqueda de materia oscura. Una parte de ella es materia normal ionizada, es decir, átomos que han perdido sus electrones. Encontrando esos átomos se podrá saber dónde se encuentra esta enigmática forma de materia.



Región central de la galaxia elíptica enana NGC 185, del Grupo Local. El color azul evidencia la existencia de formación estelar reciente en su centro. Imagen obtenida con el Telescopio Jacobus Kapteyn, perteneciente al Grupo Isaac Newton.



La cosmología es el estudio del Universo como un todo, ocupándose de su estructura a gran escala, de su origen y evolución. En el último siglo ha pasado de ser una disciplina teórica, que muchos científicos tildaban de meramente especulativa, a una rama de la ciencia consolidada que se apoya tanto en observaciones como en modelos teóricos. Esto ha sido posible gracias a los enormes avances tecnológicos, que han permitido la construcción de telescopios cada vez mayores y el envío de sondas más allá de nuestra atmósfera.

Edwin Hubble, en la década de los veinte del siglo pasado, realizó los primeros descubrimientos que revolucionaron el campo de la Cosmología. Con un telescopio de 2,5 m de diámetro demostró que muchos de los objetos conocidos hasta entonces como nebulosas eran en realidad otras galaxias como la nuestra. La Vía Láctea pasaba de ser todo el Universo conocido a una más de entre otras muchas galaxias. Prosiguiendo con sus observaciones, en 1929 concluyó que las galaxias lejanas se estaban separando las unas de las otras, es decir, que el Universo se estaba

expandiendo. Esto constituyó un apoyo para una desacreditada teoría del astrónomo belga Lemaître, la primera versión del modelo que ahora se conoce como 'Big Bang'. Además, el descubrimiento encajaba con las ecuaciones de la relatividad general, y hacían innecesaria la constante cosmológica que Einstein había introducido en ellas.

El modelo del Big Bang fue consolidándose gracias a diversas evidencias experimentales. En los 60 se descubrió la radiación de fondo —el eco de la 'explosión' del Big Bang— predicho por Gamow dos décadas antes. En 1992, la NASA lanzaba un satélite con el único propósito de estudiar este fondo de microondas, el *Cosmic Background Explorer* (COBE),



Imagen de campo profundo obtenida con el Telescopio Espacial Hubble. © R. Williams y el equipo de HDF, NASA.

con el que se pudieron hacer 'fotos' de los primeros instantes del Universo. Estos resultados junto a los obtenidos mediante el «Experimento de Tenerife» constituyeron la prueba definitiva del Big Bang.

Muchas son aún las cuestiones abiertas en Cosmología, siendo una de las más enigmáticas entender de qué está hecho nuestro Universo. Sabemos que existe materia oscura, en una proporción mucho mayor a la de la materia 'normal', pero no conocemos su naturaleza. En los últimos años se han encontrado indicios de que en el Universo hay un

ingrediente más, conocido como 'energía oscura' y tampoco se sabe en qué consiste. Si esta energía oscura realmente existe, entonces el Universo se está expandiendo a un ritmo cada vez mayor.

Las dos últimas sesiones del Congreso se dedicaron a la Cosmología. La formación y evolución de las galaxias más lejanas fue el tema más recurrente, aunque también tuvieron cabida las enigmáticas Explosiones de Rayos Gamma (GRB), la Astronomía de Rayos X o el estudio de los cúmulos con altos desplazamientos al rojo.

Formación de galaxias lejanas

¿Cómo y cuándo se reunió la materia que forma las galaxias? Intentar contestar a esta pregunta es el



objetivo del estudio del profesor **Mathew Bershady**, de la Universidad de Wisconsin (Estados Unidos), que presentó en su ponencia “Formación galáctica y el GTC”.

En ella explicó la posibilidad de usar el espectrógrafo EMIR para medir los desplazamientos al rojo de galaxias que, dada su lejanía, no han sido medidos hasta ahora. A partir de estos resultados se obtendrán las distancias que nos separan de ellas.

“Abriremos una nueva ventana para los astrónomos para ver cómo se forman las galaxias en el Universo. Esto les permitirá entender cómo pequeñas cantidades de materia se fueron juntando y formando galaxias cada vez más grandes en función del tiempo”, concluye este investigador.



Mathew Bershady

en un momento actual, sino tal y como eran varios miles de millones de años en el pasado.

“En esta época estamos mirando al Universo cuando sólo tenía una edad en torno al 10% de la actual. Tiene una importancia muy especial, porque es en esa época cuando se formaron las estrellas que vemos hoy en nuestro Universo local”, explica este investigador. “Sóloamente GTC con EMIR podrá producir una muestra de galaxias que permitirá crear un impacto en este campo, cambiando nuestro conocimiento actual del espacio”



Galaxia espiral NGC 891.
© IAC-RGO. D. Malin et al.

Galaxias HII y Cosmología

Elena Terlevich, del Instituto Nacional de Astronomía, Óptica y Electrónica (INAOE) de México, presnetó la comunicación “Galaxias HII como sondas cosmológicas y la

nueva generación de telescopios”. En ella habló de su trabajo para localizar galaxias HII muy lejanas usando diversas técnicas y comentó la necesidad de que se llevaran a cabo nuevas observaciones con telescopios como el GTC.

COSMOS: el proyecto científico de EMIR

COSMOS es el proyecto científico asociado a EMIR, y de él habló **Rafael Guzmán**, de la Universidad de Florida, en su ponencia “Cosmos: un muestreo de la Población de Galaxias Compactas Azules Luminosas desde un desplazamiento al rojo de 0 hasta 2,5”.



Rafael Guzmán

COSMOS pretende resolver la naturaleza de estas galaxias distantes y estudiar su evolución hasta la época actual. “Es un programa que está destinado a regiones con altos desplazamientos al rojo, del orden de dos”, comenta Guzmán. Un desplazamiento al rojo de ese orden implica que estas galaxias se están moviendo con tal velocidad, que se encuentran a una distancia muy grande de la Vía Láctea. Como, además, la luz tarda un cierto tiempo en llegar desde una distancia determinada hasta nuestra posición, se observan esas galaxias, no

Estas galaxias contienen regiones de hidrógeno ionizado y por ello presentan unas características líneas de emisión, intensas y estrechas. Además, tienen un bajo componente de elementos metálicos.



Elena Terlevich

Su importancia cosmológica radica en el hecho de que además de encontrarse en el Universo local, se han identificado objetos muy similares a ellas a distancias mucho mayores (desplazamientos al rojo del orden de 3). Estos objetos podrán ser utilizados para estudiar las propiedades químicas de las zonas más alejadas del Universo.



El entorno en la evolución de AGNs

“Los Núcleos de Galaxias Activas son productos de corta vida en la evolución de las galaxias. Las colisiones e interacciones que crean las galaxias aparentemente también desencadenan periodos de formación estelar y actividad de los núcleos”. Son palabras de **Fred Hamann**, de la Universidad de Florida, cuya charla se tituló “Galaxias huésped y entornos en los cúmulos de AGNs”.



Galaxia de la Antena. © Miguel Briganti (SMM/IAC)

Su estudio se centra en la relación existente entre el entorno y la evolución de núcleos de galaxias activos, para diferentes tipos de éstos y en distintos momentos del Universo. Por ejemplo, se cree que los cuásares residen en galaxias muy masivas dentro de cúmulos ricos, mientras que núcleos activos menos luminosos se encontrarían en galaxias más modestas y aisladas.



David Hughes

GTC y GTM: estudio de galaxias starburst

“La evolución cosmológica de galaxias con estallidos de formación estelar, agujeros negros y AGNs: un Proyecto Clave para el GTC y el Gran Telescopio Milimétrico”, fue el título de la ponencia de **David Hughes**, investigador del INAOE.

Su proyecto pretende aclarar la evolución de los núcleos de las galaxias activas (AGN) y la de las galaxias en las que se encuentran. Además se cree que esta historia evolutiva



La galaxia NGC 4313. A pesar de su “avanzada edad”, presenta un aro con un estallido de formación estelar. © U. Texas et al., WFPC2, HST, NASA

está enlazada con la de la formación estelar y la de los agujeros negros, por lo que también se despejarían interrogantes sobre estos objetos.

“Estamos llevando a cabo muestreos de objetos con un elevado desplazamiento al rojo, en la zona de longitudes de onda submilimétrica. Esta zona del espectro es especialmente interesante porque ni la radiación visible ni

ultravioleta pueden atravesar las regiones de formación estelar. Esto se debe a que están rodeadas de nubes de gas y polvo, que absorben estas radiaciones y las reemiten como ondas de radio. Estas ondas constituyen pues un indicador de intensa formación estelar”, explica Hughes.

Si se puede hacer un mapa de las fuentes de este tipo de radiación se podrá entender la dinámica del movimiento de estas nubes y la forma de las galaxias que se están desarrollando. “La combinación de las observaciones del GTC durante los próximos años con las ya existentes podría permitir entender la evolución de las galaxias muy lejanas”, señala este investigador.

Galaxias con líneas de emisión

“Trazando la formación y evolución galáctica con el estudio de las líneas de emisión mediante el GTC” fue el título de la ponencia de **Jesús Gallego**, de la Universidad Autónoma de Madrid. En ella habló del estudio de las galaxias que tienen un ritmo de formación estelar muy alto.



“Estas galaxias tienen unas características observacionales concretas y es que en una longitud de onda determinada (lo que llamamos ‘línea espectral’) presentan un exceso de emisión. Por ese motivo las llamamos ‘galaxias con líneas de emisión’”, indica Gallego. Para detectarlas se utilizará el espectrómetro OSIRIS, especialmente útil al poseer ‘filtros sintonizables’. “Podemos sintonizar nuestro detector a una longitud de onda muy concreta llamada línea de emisión H alpha, que se origina en los átomos de hidrógeno y está en todas aquellas galaxias donde se están formando estrellas de una forma muy activa”, explica Gallego.



Jesús Gallego

El GTC parece el instrumento ideal para detectar estas primeras galaxias al estar optimizado en la banda próxima infrarroja, ya que ésta es la luz que se espera detectar de las primeras estrellas que se formaron en el Universo.

Formación estelar y medioambiente

“Estudiamos cómo la formación de estrellas depende del medio ambiente donde se encuentran”, comenta **Francisco Javier Castander**, de la Universidad de Yale (Estados Unidos). “La ventaja de utilizar telescopios como el GTC es que se pueden estudiar objetos más lejanos. Todo esto con los telescopios de hace cinco o diez años no se podría hacer”.



Rosa Pelló

También tendrán un papel importante el resto de instrumentos del GTC: CANARICAM cuenta con filtros para estudiar la formación de estrellas en regiones con polvo estelar; EMIR, con espectrometría multiobjeto en la línea del potasio, que será fundamental para llevar a cabo estudios estadísticos de galaxias de desplazamiento al rojo medio y alto.

Las primeras galaxias

Rosa Pelló y Daniel Scherer, del Observatorio Midi-Pyrinees, titularon su ponencia “Buscando las primeras galaxias”.

“En este coloquio he presentado unas experiencias que estamos haciendo ahora para ver si podemos detectar con el GTC las primeras galaxias que se formaron en el Universo”, resume Rosa Pelló. Estas primeras galaxias, al contrario que las actuales, no poseían metales. Como metalicidad y temperatura están relacionadas, se espera que sus estrellas fueran mucho más calientes que las de las galaxias actuales.



Imagen de campo profundo obtenida con el Telescopio “William Herschel”, del Grupo Isaac Newton. © Nigel Metcalfe and Tom Shanks (University of Durham).

Su trabajo analiza la dependencia entre el lugar donde se encuentran las galaxias y la cantidad de estrellas que se forman. Cuando éstas están agrupadas en cúmulos cerca del centro (donde están muy juntas) no se forman apenas estrellas; sin embargo, cuando las galaxias están aisladas forman muchas más estrellas, al tener mayor contenido en gas.

Otro aspecto que investigan es la forma en que cambia la formación estelar dependiendo no del cómo, sino del cuándo viven estas galaxias. Parece ser que las galaxias primitivas

forman más estrellas que las actuales.



F. Javier Castander

El efecto Zeldovich y el GTC

“Cosmología con el GTC. Restricciones en el modelo cosmológico a partir de un muestreo seleccionado SZE con el GTC” fue el título de la charla impartida por **José M. Diego**, de la Universidad de Oxford.



En ella habló de la combinación de futuras observaciones del fondo cósmico de microondas – como las que se obtendrían con el experimento Planck, previsto para el 2007- con las del GTC. Con este complemento se podrían determinar parámetros tan importantes en Cosmología como la densidad de la materia o el contenido de energía oscura en el Universo.

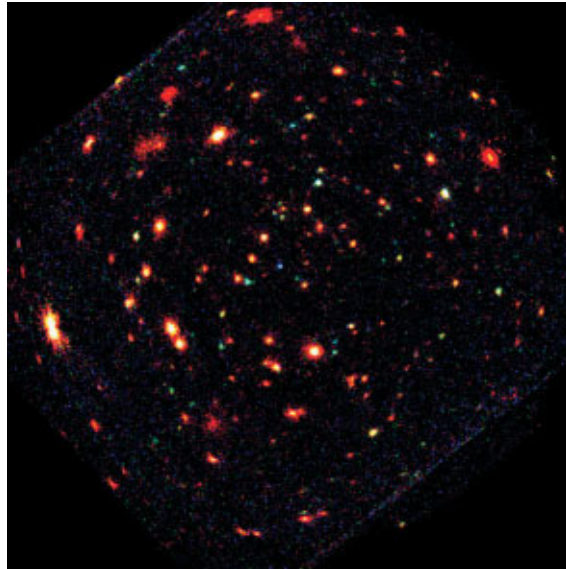
Esto se conseguiría mediante la detección de cúmulos de galaxias muy distantes (en torno a un desplazamiento al rojo de 2,5). Para ello, primero se realizaría un catálogo de ‘candidatos’ a cúmulos, detectando con Planck los fotones del fondo cósmico que se ven afectados por las ‘atmósferas’ de los cúmulos (lo que se conoce como el efecto “Sunyaev-Zeldovich”). Una vez conseguido esto, el seguimiento de estos candidatos para determinar si son o no realmente cúmulos se haría con el GTC.

Mirando al cielo en Rayos X

Francisco Javier Carrera, de la Universidad de Cantabria, presentó la comunicación “Muestreos profundos de rayos X con el XMM-Newton y Chandra”.

“La astronomía de rayos X es una astronomía espacial, ya que, al llegar a la atmósfera, éstos rayos son absorbidos. Por ello se hace imprescindible colocar los detectores en satélites que les lleven por encima de la atmósfera”, explica este investigador.

A pesar de esto se puede complementar a la perfección con la astronomía que se hará con el GTC. Una vez detectadas las fuentes de rayos X hay que detectar sus contrapartidas ópticas, es



El "Agujero de Lockman", región del Universo donde se han detectado más de 60 nuevas fuentes de Rayos X. © XMM-Newton. ESA Williams y el equipo de HDF, NASA.

decir, ver en el visible a qué objetos corresponden estas emisiones. “Estas fuentes son muy débiles, por lo que necesitas un telescopio muy grande que recoja mucha luz para poder verlas, con un gran campo de visión; hay muchas de esas fuentes en una zona muy pequeña del cielo, y queremos observarlas todas a la vez”.

Muchas de estas fuentes son agujeros negros supermasivos muy distantes de nosotros, que nos pueden dar indicaciones sobre cómo se formaron las galaxias, ya que se piensa que éstas albergan en su centro agujeros de este tipo. El material que hay alrededor del agujero negro absorbe la luz visible y parte

de los rayos X, pero los más ‘duros’ logran atravesarla y llegar hasta nosotros. “Lo mismo que en la medicina, los Rayos X atraviesan la carne y nos dejan ver los huesos; estos Rayos X traspasan la materia. De este modo, fuentes que de otra manera pasarían inadvertidas son detectadas en rayos X con mucha facilidad”, comenta Carrera.



Francisco J. Carrera



Alberto Fernández Soto



Alberto J. Castro-Tirado

Los cúmulos galácticos más lejanos

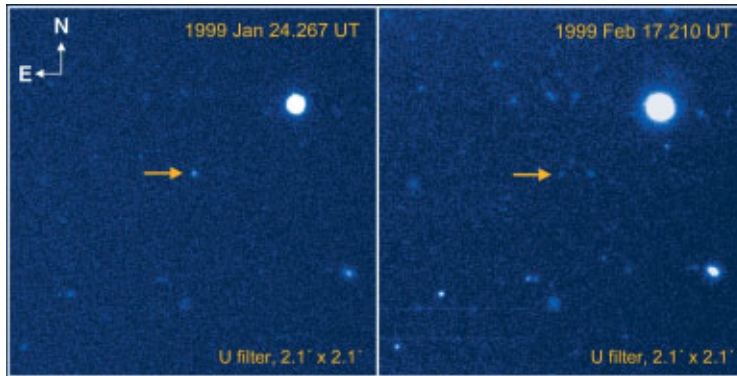
“El proyecto que he presentado consiste en estudiar los cúmulos más distantes que se conocen”, resume **Alberto Fernández Soto**, del Observatorio Astronómico de Brera-Milano (Italia), que presentó la comunicación “Tomografía de cúmulos con altos desplazamientos al rojo”.

Hasta ahora era muy complicada la observación de los cúmulos, ya que al tener tantas galaxias era muy difícil estudiarlas todas a la vez. “La posibilidad que te ofrece el GTC que no existía hasta ahora es estudiar muchísimos objetos dentro del mismo campo de visión. Actualmente,



en algunos instrumentos muy modernos se pueden estudiar hasta 100. Con la técnica que proponemos podríamos ver del orden de 3.000 objetos”, comenta Fernández.

De este modo se estudiaría la relación entre las galaxias, las velocidades con las que se mueven unas respecto a las otras y si el hecho de que se estén moviendo a gran velocidad influye en su forma o en el ritmo al que se están formando las estrellas. “Lo más importante es que no sabemos bien cómo se forman esos cúmulos, las muestras que hay son muy pocas. Del tipo de objetos que nosotros queremos estudiar sólo se conocen del orden de 100”.



Imágenes obtenidas con el Telescopio Óptico Nórdico (ORM), en las que se puede comparar (izquierda) el brillo de la explosión de rayos gamma GRB 990123 unas 20 horas después de la detección (24 enero) con el de (derecha) 24 días después (17 febrero).

produciendo la explosión, y detectar la luz que proviene de los confines del Universo. Durante unas pocas horas, el GTC podrá tener información muy valiosa que de otro modo jamás se podría obtener”, comenta este investigador.

anillo también cae sobre el agujero negro, emitiéndose en el proceso estos estallidos de rayos gamma.

“La importancia de poder actuar rápidamente con telescopios como el GTC radica en que estas explosiones se ven casi a simple vista. El GTC será capaz de apuntar a ese lugar donde se está

Estallidos de rayos gamma

“El estudio de los estallidos de rayos gamma y de las galaxias en las que ocurren en la era del GTC”, fue la ponencia de **Alberto J. Castro**, del IAA. En ella habló de “uno de los fenómenos más misteriosos del Universo, que acontece un par de veces al día por término medio. Son unas misteriosas explosiones, mayoritariamente de rayos gamma, que en cuestión de segundos liberan una energía equivalente a unos 30.000 quintillones de bombas atómicas.”

El fenómeno se descubrió hace más de 30 años, pero los astrofísicos sólo han empezado a comprenderlo recientemente. Su origen está en la muerte de estrellas muy masivas que se desmoronan sobre sí mismas, expulsando gran parte de su materia al espacio interestelar. El ‘cadáver’ de la estrella se contrae entonces hasta convertirse en un agujero negro alrededor del cual queda un anillo formado de la materia expulsada. En cuestión de segundos, este

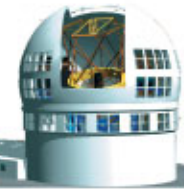


Rosa Domínguez Tenreiro

Simulaciones de formación galáctica

“El avance en la comprensión de los mecanismos de formación y evolución estelar sólo será posible si, paralelamente a los proyectos observacionales, se desarrollan los modelos teóricos de interpretación”. Son palabras de **Rosa María Domínguez**, de la Universidad Autónoma de Madrid, que presentó la comunicación “Formación galáctica a partir de simulaciones hidrodinámicas autoconsistentes”.

Su trabajo consiste en códigos numéricos que toman como condiciones iniciales las pequeñísimas fluctuaciones de densidad del Universo primitivo y simulan su evolución mediante la resolución de ecuaciones hidrodinámicas y de gravitación. “Los objetos galácticos aparecen como consecuencia de esta evolución, sin modelizaciones adicionales ad hoc”. Estas simulaciones ayudarán a elaborar un marco teórico que explique las observaciones estelares que se hagan con el GTC.



La Astronomía moderna española empezó no hace mucho, recuerda José Manuel Vilchez, quien en la última sesión hizo una exposición resumen del congreso, parte de la cual se incluye a continuación. Hasta hace sólo 25 años, la Astronomía y la Astrofísica eran poco más que una disciplina “exótica” en algunas universidades. Sin embargo, en los últimos tiempos, el impacto de los nuevos Observatorios en las Islas Canarias y en la Península, junto a nuestra implicación en las ciencias espaciales, ha impulsado en nuestro país el desarrollo tanto de la Astronomía como de la tecnología asociada. En la actualidad, nuestra producción en Astronomía se ha incrementado hasta alcanzar un 5% del total mundial.

Uno de los “empujones” definitivos para la astrofísica española ha sido la construcción del Gran Telescopio CANARIAS, que ha introducido definitivamente a nuestra astronomía en la “Gran Ciencia”.

El caso de los otros dos socios en este proyecto, México y Florida, también es realmente destacable. En el primer país existe una renombrada tradición, y actualmente proyectos como el Gran Telescopio Milimétrico le auguran un prometedor futuro. Respecto a Florida, este estado cuenta con una enorme capacidad tecnológica, asociada a un grupo pequeño y selecto de Profesores, Postdocs y estudiantes.

Este primer Congreso de Ciencia sobre el GTC ha sido todo un éxito. En primer lugar, debido a la alta participación y la calidad de la Ciencia discutida, pero también por la presencia de las empresas tecnológicas implicadas y por el impacto que ha tenido en los medios de comunicación y en la sociedad.

En esta reunión se ha hablado de los instrumentos que se están construyendo para el GTC: CANARICAM, EMIR, OSIRIS Y ELMER.

CANARICAM se ha revelado como el instrumento por excelencia para la ciencia infrarroja con el GTC. Permitirá tomar imágenes limitadas por difracción en el infrarrojo cercano donde una gran cantidad de programas científicos están esperando su turno.

El programa científico de EMIR es COSMOS, que está implementado para dotar a este instrumento con un plan detallado de aprovechamiento científico: la herramienta COSMOPACK es un ejemplo entre muchos otros de cómo se lleva a cabo.



José Manuel Vilchez

OSIRIS tendrá un programa científico clave: OTELO, que implica tanto confeccionar un catálogo de los objetos con líneas de emisión, a diferentes z , como también la investigación estelar de nuestras galaxias cercanas.

ELMER, por su parte, es un instrumento para el día Uno de bajo riesgo y coste, espectrógrafo y cámara en el infrarrojo

Otros proyectos de instrumentos y telescopios presentados en el Congreso fueron: VLT, VLTi, HST-ACS, GTM-GTC, SIRFT-GTO, XMM y LIRIS. Este último es una cámara y espectrógrafo en el infrarrojo cercano, de baja resolución, desarrollado para el WHT, de 4.2 m. Es sorprendente que este instrumento ya esté terminado, cuando en 1998 era tan sólo una idea. Las aplicaciones coronográfica y multirrendija, además de su resolución espacial y en frecuencias, lo harán muy popular en el ING a corto plazo.

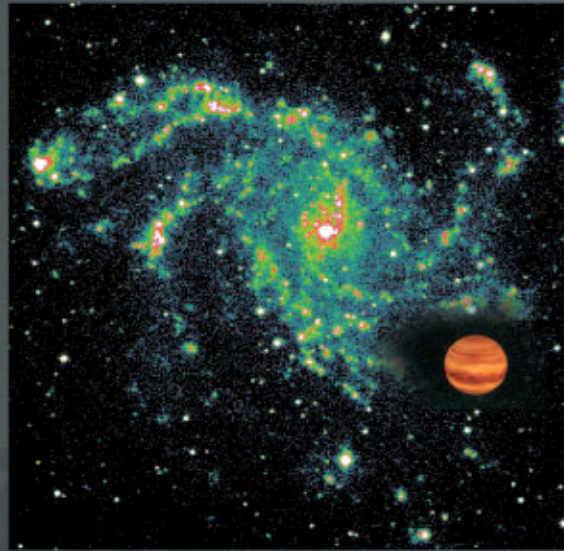
Por último, se requieren nuevas iniciativas e instrumentos para el GTC, entre ellos un espectrógrafo de resolución intermedia-alta para la astronomía estelar y del medio interestelar, evolución galáctica, abundancias...

Respecto a la óptica adaptativa, será toda una revolución con el GTC, especialmente cuando trabaje en el límite de difracción. Esperemos que se pueda conseguir incluso para antes del 2006.

Recordemos que hay más de 350 m² en superficie colectora en telescopios de 8 m. Esto unido a 550 m² en telescopios de 10 m (incluyendo el GTC), supone una auténtica revolución para la Astronomía, además de una dura competitividad. La pregunta para el GTC es ¿cómo proceder?, ¿especialización o astrofísica general? Mi apuesta favorita - concluye José Manuel Vilchez - es: organización.



Astrolabio antiguo



CIENCIA CON EL GTC
1ª REUNIÓN FEBRERO 21 - 8 2009
 GRANADA, ESPAÑA

CONFERENCIANTES INVITADOS
 INVITED SPEAKERS

Galileo Donohue
 Michael Havel
 Anne Marie Hatzidimitriou
 IAS Institute
 Carlos Zhai
 José María
 Jesús González
 Jacques Kaler
 Elizabeth Lopez
 Jo Maria Rodriguez
 Daniel Gallo
 JAMA, Garching
 Guy Bracco
 IAC Institute
 Michael Havel
 Michael Havel
 Michael Havel
 IAC Institute

SCIENCE WITH THE GTC

BOEING ACS SBCAT ESO NTE



"GRAN TELESCOPIO DE CANARIAS, S.A." (GRANTECAN). C/ Vía Láctea s/n (Instituto de Astrofísica de Canarias).
 38200-La Laguna (Tenerife), ESPAÑA. Tel: 922 315031. Fax: 922 315032.
 Boletín GTCdigital: www.gtcdigital.net. Página web de GRANTECAN: www.gtc.iac.es
 Página web del IAC sobre el «Gran Telescopio CANARIAS»: www.iac.es/gtc
 Edita: Gabinete de Dirección del IAC.