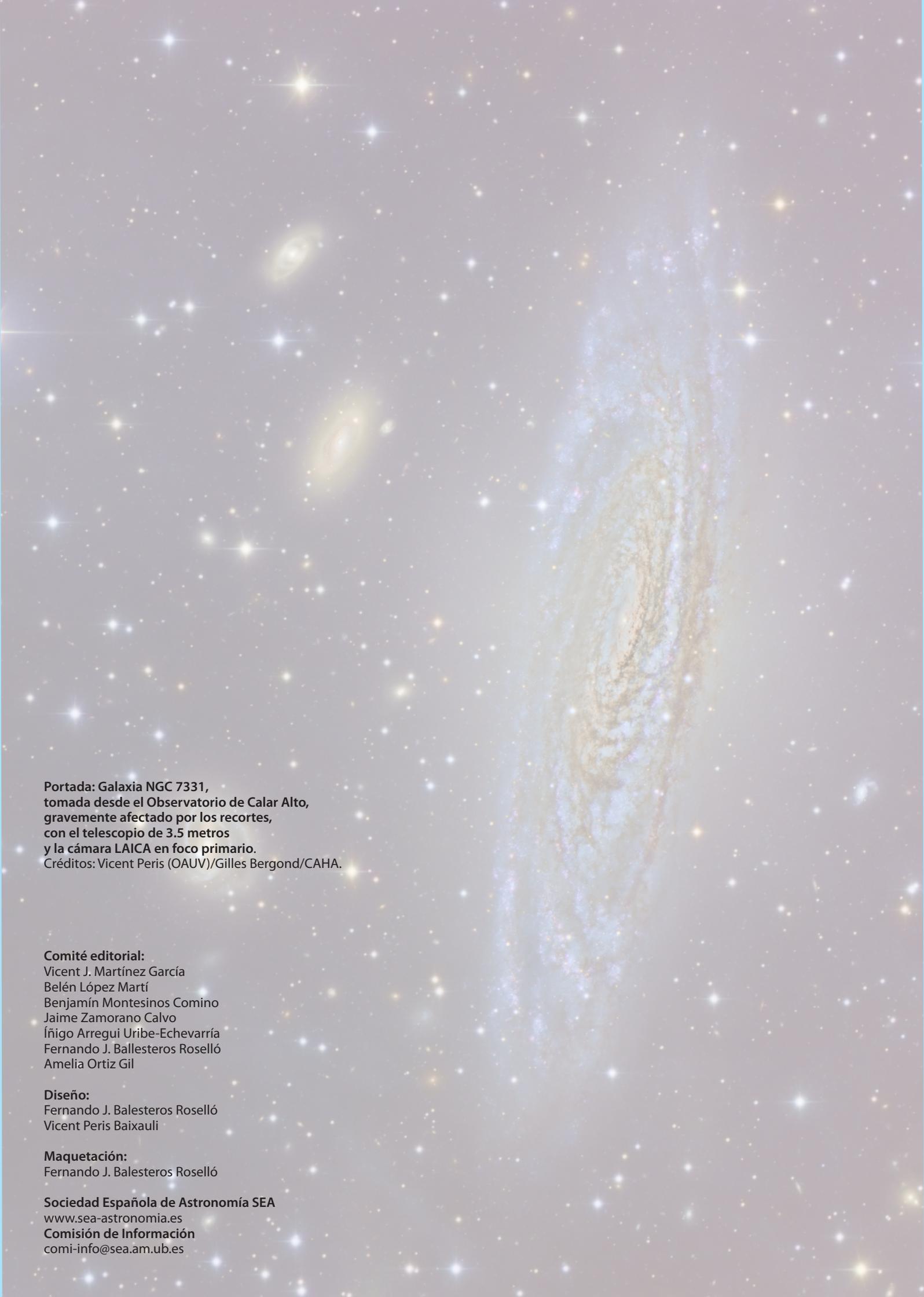




# SEA

Sociedad Española de Astronomía



**Portada: Galaxia NGC 7331,**  
tomada desde el Observatorio de Calar Alto,  
gravemente afectado por los recortes,  
con el telescopio de 3.5 metros  
y la cámara LAICA en foco primario.  
Créditos: Vicent Peris (OAUV)/Gilles Bergond/CAHA.

**Comité editorial:**

Vicent J. Martínez García  
Belén López Martí  
Benjamín Montesinos Comino  
Jaime Zamorano Calvo  
Íñigo Arregui Uribe-Echevarría  
Fernando J. Ballesteros Roselló  
Amelia Ortiz Gil

**Diseño:**

Fernando J. Ballesteros Roselló  
Vicent Peris Baixauli

**Maquetación:**

Fernando J. Ballesteros Roselló

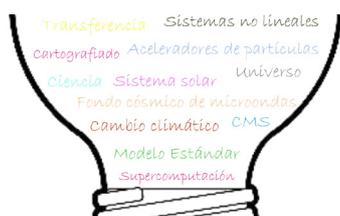
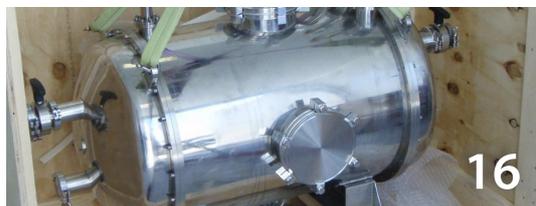
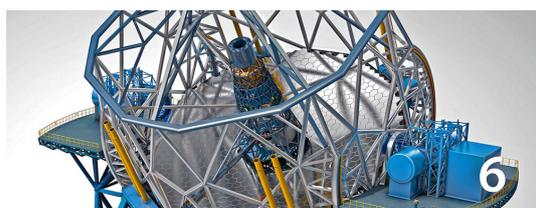
**Sociedad Española de Astronomía SEA**

[www.sea-astronomia.es](http://www.sea-astronomia.es)

**Comisión de Información**

[comi-info@sea.am.ub.es](mailto:comi-info@sea.am.ub.es)

# CONTENIDOS



- 5 Editorial
- 6 España por fin a bordo del E-ELT
- 10 La SEA celebra su XI Reunión Científica
- 16 CARMENES. En busca de planetas como el nuestro alrededor de estrellas M
- 20 Acercando la Astronomía a todos los rincones de Cantabria
- 22 Ecos de (la) Sociedad
- 23 Libros
- 24 Tesis doctorales



Recreación informática del interior  
de la cúpula del E-ELT.  
Crédito: Swinburne Astronomy  
Productions/ESO.



# EDITORIAL

Los diferentes boletines de la SEA, desde que se publican con regularidad en formato electrónico—éste es el séptimo, nos permiten tener un registro de algunos de los hechos más importantes en la historia reciente de la astronomía en nuestro país. Una historia de claroscuros, como la que en otros aspectos de la vida ha caracterizado estos últimos años, quizá con más oscuros que claros, por los numerosos recortes que han afectado la actividad de los científicos en este país. En particular la situación delicada por la que atraviese el Observatorio de Calar Alto, contrasta con los exitosos programas científicos llevados a acabo desde estas magníficas instalaciones cuya descripción ha sido objeto de reportajes publicados en estas páginas. Como editor del boletín, he solicitado la colaboración de los responsables de los proyectos CALIFA y ALHAMBRA en números anteriores o CARMENES en este mismo número, para que compartan con el resto de la comunidad astronómica los retos de estos interesantes proyectos. La carta que el presidente de la SEA hizo pública el pasado 10 de marzo, concluía: “La astronomía española ha mostrado en las últimas décadas que está en la primera línea internacional y lo que está ocurriendo en Calar Alto no está en absoluto justificado”. Confiamos que las partes implicadas encuentren soluciones que permitan mantener estas instalaciones y a su excelente personal en las mejores condiciones para el futuro. Una buena noticia —al fin—aparece en estas páginas, estaremos en el Telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT) después de un complicado proceso, en el que el tesón y la unión han sido fundamentales para llegar a que se materialice nuestra presencia en esta importantísima instalación internacional. Las últimas noticias sobre la reunión científica de la SEA en Teruel el próximo septiembre, así como información sobre un proyecto de divulgación llevado a cabo en el IFCA con financiación de la SEA y nuestras secciones habituales (ecos, libros y tesis) completan el presente número. Os deseamos un buen verano. ¡Nos vemos en Teruel!

Vicent J. Martínez  
*Observatorio Astronómico  
de la Universidad de Valencia*

# ESPAÑA POR FIN A BORDO DEL E-ELT

En las últimas semanas España ha podido confirmar, finalmente, su participación en la construcción del Telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT). La formalización de esta colaboración ha necesitado de tres decisiones al más alto nivel: el 30 de mayo nuestro Consejo de Ministros autorizó al Ministerio de Economía y Competitividad a adquirir el compromiso de gasto plurianual necesario; el 3 de Junio, en la reunión del Consejo de ESO, los 13 países miembros ya participantes en el proyecto, aprobaron la solicitud de adhesión de España; y el 13 de junio el Consejo de Ministros formalizó esta incorporación.



**Rafael Bachiller**

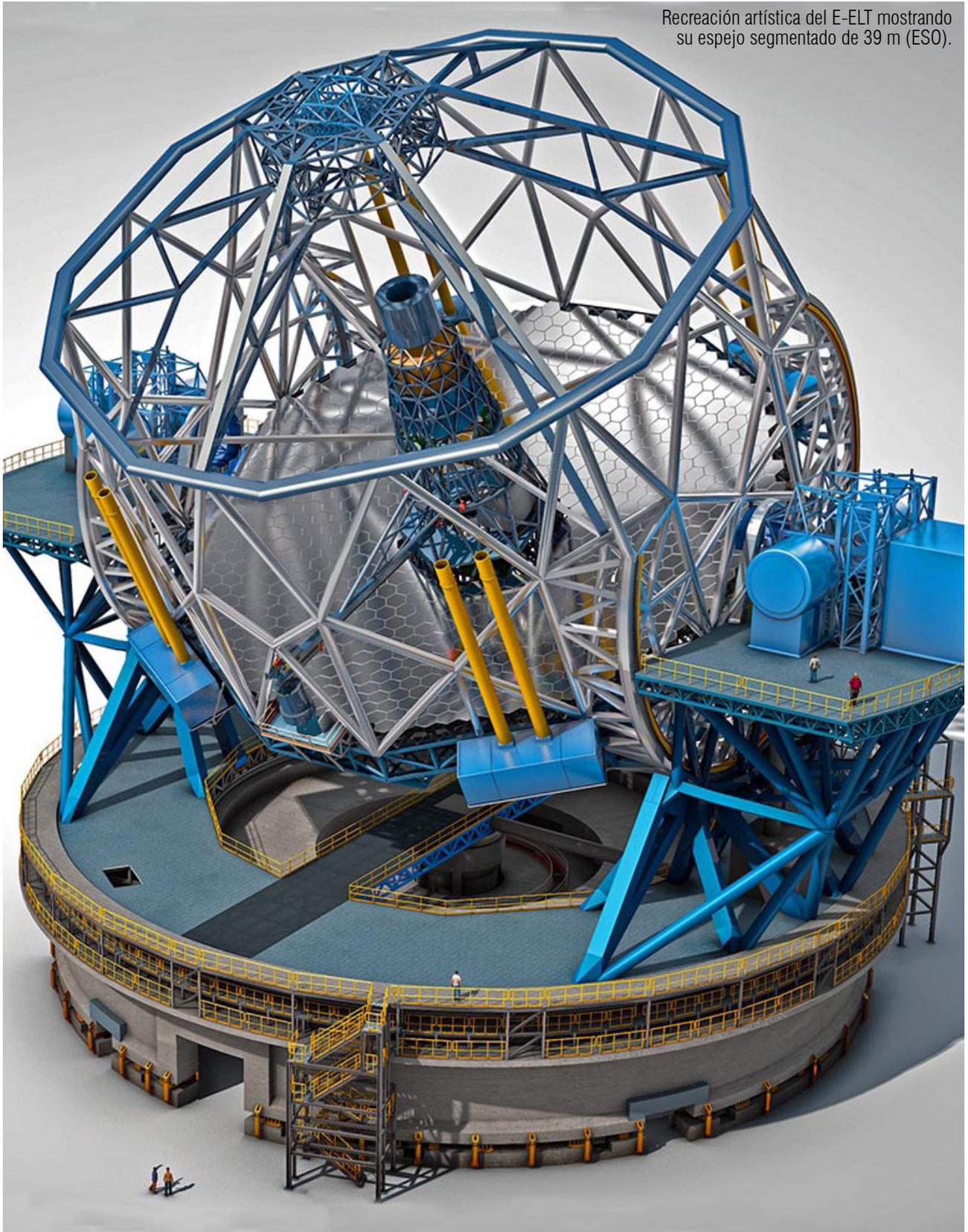
Gestor del área de Astronomía y Astrofísica  
del Plan Nacional de I+D+i.  
Delegado de España en ESO.  
*r.bachiller@oan.es*

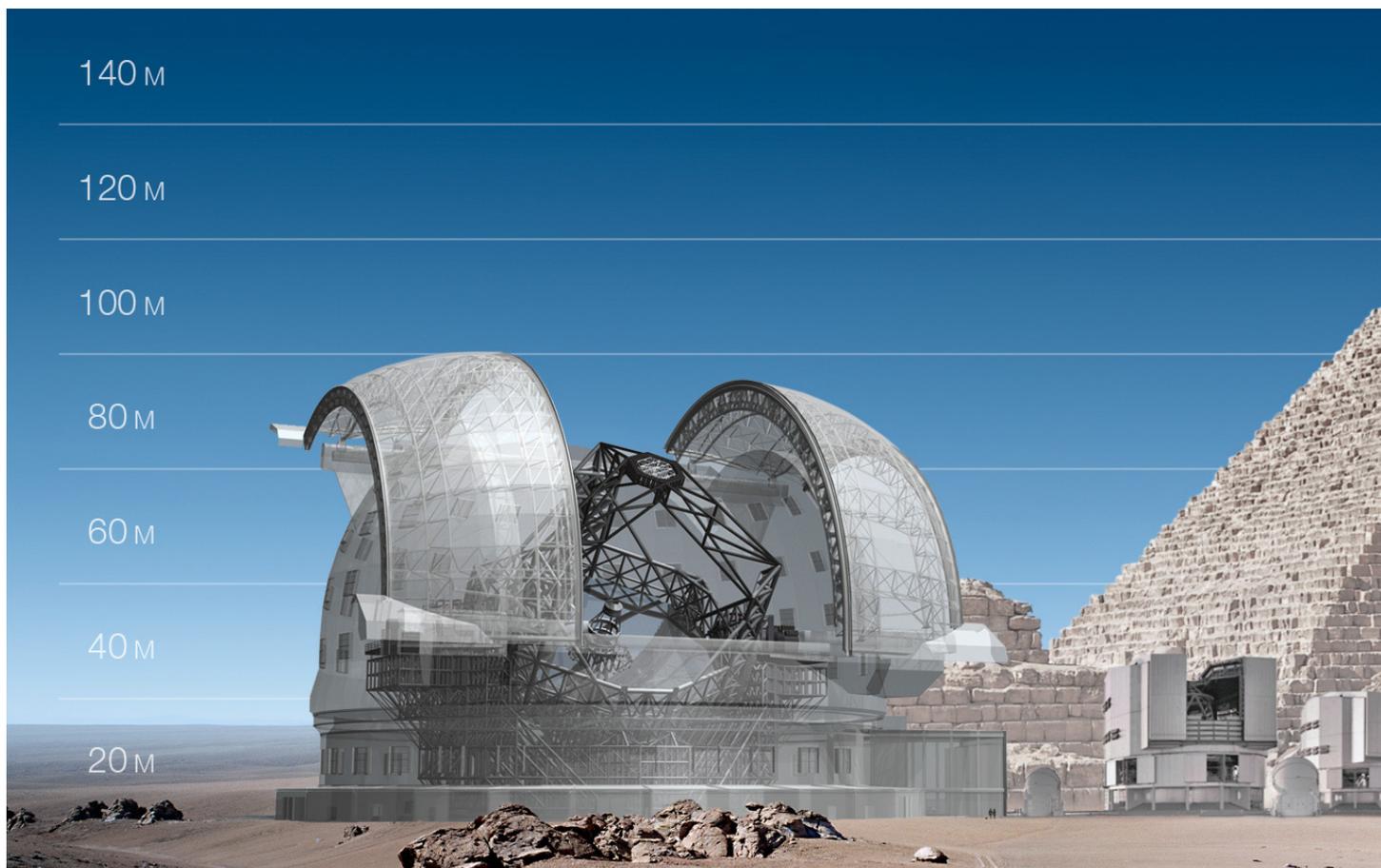
Este complicado procedimiento de aprobación culmina una larguísima serie de expresiones de interés, informes, gestiones, apremios y negociaciones. Recordemos que en 2006 -en el momento de su entrada en ESO- España ya manifestó su interés por el E-ELT; que en junio de 2012 ESO solicitó a sus Estados miembros el compromiso formal con el proyecto; y que en mayo de 2013, hace ya más de un año, 13 de los 14 Estados miembros (todos menos España) ya se habían sumado a este sensacional proyecto. En este momento de recapitulación conviene recordar que en todas las muestras de interés y en los trámites necesarios para formalizar nuestra participación hemos concurrido los astrónomos hablando con un unánime discurso que ha sido muy bien expresado desde esta Sociedad Española de Astronomía. Pero también el personal de la Secretaría de Estado de I+D+i y de CDTI -quienes manifestaron su interés por el proyecto desde el principio-, las empresas nacionales dispuestas a participar en la construcción, e incluso los ciudadanos de a pie (recordemos la petición en change.org que alcanzó más de 20.000 firmas en tan sólo unos días) han contribuido a la toma de decisión.

Lograr la incorporación de España a este nuevo proyecto, en estos momentos tan difíciles para la ciencia nacional, demuestra la apuesta de nuestra Secretaría de Estado de I+D+i por la astronomía, y nos hace confiar en que nuestra involucración en el telescopio irá acompañada por las medidas indispensables para que nuestros observatorios nacionales y nuestras instituciones académicas obtengan el máximo retorno posible, a nivel científico y tecnológico. Es cierto que nuestros observatorios astronómicos, tanto los propios como los compartidos, se encuentran entre los mejores del mundo y entre las más ejemplares de las Instalaciones Científico-Técnicas Singulares (ICTS). Y también es cierto que el nivel de coordinación logrado por la Red de Infraestructuras de Astronomía (RIA) sirve de modelo a otras disciplinas. Pero no es menos cierto que para lograr el máximo rendimiento de estos medios de observación se precisa mantener un mínimo nivel de inversión tanto en recursos materiales como, sobre todo, en recursos humanos. De poco nos servirán nuestros grandes observatorios en la Península, en Canarias o en Chile, si no disponemos del número indispensable de astrónomos e ingenieros para mantenerlos operativos y sacarles provecho tanto tecnológico como científico.

En el momento de escribir estas líneas (19 de junio de 2014) tiene lugar la voladura del pico de Cerro Armazones, un acto de gran valor simbólico pues marca el inicio de la cuenta atrás en la construcción de este

Recreación artística del E-ELT mostrando su espejo segmentado de 39 m (ESO).





ambicioso telescopio. Algunos de nuestros institutos y de nuestras empresas, gracias en gran medida a la experiencia adquirida con el Gran Telescopio de Canarias, ya se encuentran realizando trabajos técnicos encaminados a la construcción del E-ELT y de sus primeros instrumentos, y participando en las tareas de preparación científica. Los Estados miembros de ESO se encuentran desarrollando un plan para que el telescopio pueda construirse, dentro de las especificaciones técnicas actuales, independientemente de la participación de Brasil. Nuevos Estados están manifestando su interés por adherirse tanto a ESO como a la construcción del telescopio y, alguno de ellos, ya se encuentra en un estado muy avanzado en sus negociaciones con ESO. Es pues un gran momento para la astronomía nacional y europea. Nuestra participación en el E-ELT, junto con los grandes observatorios a los que ya tenemos acceso, entre los que se encuentran GTC, VLT y ALMA, nos augura un futuro apasionante si, como hemos señalado más

arriba, esta participación va acompañada de las medidas complementarias indispensables.

Algún día deberemos extraer las lecciones aprendidas durante el largo proceso de incorporación de España al E-ELT. Desde ahora cabe destacar que para obtener un logro a nivel nacional, todos debemos ponernos manos a la obra y ser capaces de actuar por encima de nuestras divergencias e intereses personales e institucionales aunque, obviamente, tales divergencias e intereses sean completamente legítimos. Definir objetivos comunes a nivel nacional es un proceso laborioso que necesita implantar prioridades, establecer compromisos, crear consensos... y aceptar que debemos renunciar a intereses o deseos parciales. Pero una vez establecido un objetivo común, nuestra comunidad, a pesar de su reducido tamaño y sus carencias, trabajando en una misma dirección tiene capacidad y brío sobradamente suficientes para alcanzar metas de la máxima relevancia.



Comparativa del E-ELT con el VLT y con las pirámides de Guiza (ESO).

# LA SEA CELEBRA SU XI REUNIÓN CIENTÍFICA

Nuestra Sociedad celebra su XI Reunión Científica en la sede del Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón entre el 8 y el 12 de septiembre de 2014. Durante los cinco días de reunión, la comunidad astronómica española y los científicos invitados presentarán y debatirán sus trabajos más recientes con el fin de promover la transmisión de resultados y discutir nuevos proyectos.



**Luisa Valdivielso Casas**

Presidenta del Comité Organizador Local  
de la XI Reunión Científica de la SEA  
*lval@cefca.es*

**Francesca Figueras**

Presidenta del Comité Científico  
de la XI Reunión Científica de la SEA  
*cesca@am.ub.es*

## **Ponencias invitadas en Sesión Plenaria**

Para esta edición contaremos con 16 conferencias invitadas en sesión plenaria. Podéis encontrar ya los resúmenes [en nuestra web](#), resúmenes que, como veréis, reflejan el gran abanico de temas en los que nuestra comunidad está plenamente involucrada. Ejemplo de ello son las cuatro conferencias dedicadas a Cosmología. Como nos comenta una de nuestras conferenciantes invitadas, “Cosmology, is often repeated, has become a precision science, now it will have to make the transition to accurate science”. Entre otros, debatiremos sobre el papel central que juega la reionización en el proceso de formación de las galaxias, sobre los últimos resultados de las observaciones del fondo cósmico de microondas y sobre como PLANCK, a la luz de los datos, nos está confirmando de forma precisa el modelo  $\Lambda$ CDM. Cambiando completamente de escala, otra de nuestras conferenciantes nos acercará a los últimos pasos que está dando ROSETTA en el espacio, una misión con tecnología de vanguardia para entender la composición real de los núcleos cometarios. Podremos recibir información de primera mano de los pasos que habrá dado el satélite para llegar a 67P/Churyumov-Gerasimenko, llegada esperada para agosto de 2014.

La selección de propuestas que ha realizado el Comité Científico (SOC) refleja también nuestra importante participación en ALMA, instrumento que ya lleva operativo casi tres años y que, día a día, va cumpliendo sus promesas. ¿Qué nuevos descubrimientos nos ofrecerá esta gran infraestructura para el futuro inmediato? Nuestro GTC sigue aportando nuevos e importantes resultados, mejorando día a día su rendimiento. Vamos a disfrutar de una conferencia dedicada a la primera ciencia con CANARICAM, y otra al desarrollo de nueva instrumentación (FRIDA). También nuestra participación en ESO quedará reflejada en la charla dedicada a MUSE, el espectrógrafo de segunda generación para el VLT. Como no podía ser otra manera, el SOC ha seleccionado una ponencia dedicada al desarrollo de complejos modelos magneto-hidro-dinámicos de la cromosfera solar y otra a la correcta aplicación de la teoría bayesiana. Esta última será una conferencia de revisión impartida por uno de nuestros jóvenes investigadores, premio SEA a la mejor tesis doctoral de años anteriores, y en ella nos acercará al difícil problema inverso de aprender de la comparación entre modelos y observaciones.



## Novedades

### **Sesión plenaria especial: la colaboración España-México**

La Sociedad Mexicana de Astronomía ha aceptado nuestra invitación a participar en la XI Reunión Científica. Conjuntamente hemos decidido dedicar una de nuestras sesiones plenarias a mostrar la relevante e histórica colaboración científica entre ambos países. Contaremos con conferencias plenarias invitadas de científicos mejicanos y españoles, ejemplos del desarrollo actual de proyectos de investigación conjuntos entre ambos países.

### **Acto de entrega del II Premio SEA-SF2A**

Durante la sesión inaugural se otorgará el premio al mejor proyecto de colaboración franco-española de Astronomía 2014, organizado conjuntamente por nuestra Sociedad y la Société Française d'Astronomie et d'Astrophysique (SF2A). Éste y el ganador de la anterior edición (2013) nos presentaran sus trabajos.

### **I Encuentro Astronomía e Industria en la SEA**

Conjuntamente, la Junta Directiva de la SEA y el SOC hemos trabajado en la organización de una mesa redonda sobre el desarrollo de instrumentación astronómica en España. Este evento persigue varios objetivos, entre ellos: 1) mostrar a nuestra comunidad de astrónomos las capacidades de la industria española en el desarrollo de instrumentación en Tierra y en Espacio; 2) presentar los desarrollos industriales en curso y las perspectivas y estrategias para la próxima década (H2020, E-ELT, ...) y 3) poner en contacto investigadores principales de proyectos con representantes de la industria española asistentes al acto (incluida la pequeña y mediana empresa).

### **Presentación del Estudio de Prospectiva de la Astronomía Española (RIA)**

La Red Española de Infraestructuras en Astronomía (RIA) recibió el encargo de la Comisión Nacional de Astronomía de elaborar un estudio de prospectiva de la astronomía española. Este ejercicio, nunca realizado en nuestro país, es habitual en los países científicamente desarrollados. Para llevarlo a cabo, la RIA organizó cuatro grupos de trabajo dedicados a Cosmología, Galaxias y la Galaxia, Estrellas y exoplanetas, Sol y Sistema Solar. Hasta ahora, cada grupo ha elaborado una primera versión de su informe. Esta sesión plenaria estará dedicada a la presentación del trabajo realizado y se espera que pueda resultar en nuevas aportaciones al estudio en curso.

### **Presentación de la iniciativa "La SEA en el CERVANTES"**

El Cervantes Virtual ha creado una sección de Ciencia en el Cervantes, desde donde se pretende difundir la obra científica desarrollada en nuestro país y en nuestro idioma. La Astronomía va a ocupar un papel protagonista en estas páginas. En sesión plenaria representantes del Instituto Cervantes harán una breve presentación de la iniciativa.

### **Presentación del PCN de la UAI para la divulgación de la Astronomía**

La Unión Astronómica Internacional (IAU), a través de la Oficina de divulgación de la Astronomía (Office for Astronomy Outreach, OAO) solicitó el año pasado a todos los países el nombramiento de un punto de contacto nacional cuya misión es dar a conocer a la comunidad internacional a través de la IAU-OAO las actividades de divulgación que se hacen -en nuestro caso en España- y en la medida de lo posible potenciarlas. Nuestros representantes nos mostraran las iniciativas y proyectos en esta línea que se realizan en colaboración activa con la SEA y sus Comisiones de Enseñanza y Pro-Am.

### **Primeros pasos de un nuevo estudio SEA sobre recursos humanos**

La Junta de nuestra Sociedad aprovechará esta Reunión para presentar los objetivos y los primeros resultados sobre un nuevo estudio SEA sobre la evolución de recursos humanos en Astronomía. Si recordáis disponemos del "Informe sobre el estado de la investigación en Astronomía en España (1999-2001)", publicado en octubre de 2002, y del estudio "Un universo por descubrir. Género y astronomía en España", publicado en 2010 en el marco del Año Internacional de la Astronomía. Estos, junto al estudio que ahora la Junta se propone realizar, permitirán estudiar la evolución de los recursos humanos de la astronomía española en estos últimos años.



# XI REUNIÓN CIENTÍFICA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA



TERUEL 8 - 12 SEPTIEMBRE 2014

**Comité Científico (SOC)**

Almudena Alonso Herrero (IFCA, UC-CSIC)  
Santiago Arribas (CAB-CSIC)  
Javier Cenarro (CEFCa)  
Francesca Figueras (UB-ICC/IEEC; Presidenta)  
José Carlos Guirado (UV)  
Carlos Hernández Monteagudo (CEFCa)  
Luisa Lara (IAA-CSIC)  
Javier Trujillo Bueno (IAC-CSIC)

**Comité Local (LOC)**

Raúl Angulo  
Silvia Bonoli  
Jonás Chaves  
Javier Cenarro Lagunas  
Luis Alberto Díaz García  
Alessandro Ederoclite  
Luis Guillén Civera  
Carlos Hernández Monteagudo  
Carlos López San Juan  
Alicia Romero Paricio  
Luisa Valdivielso Casas (Presidenta)  
Silvia Vaquero Valer  
Jesús Varela López  
Kerttu Viironen  
Gonzalo Vilella

Información: [sea2014@cefca.es](mailto:sea2014@cefca.es)  
<http://www.sea-astronomia.es/SEA2014>



El cartel de la XI Reunión ha sido diseñado por Carlos Escriche, estudiante la Escuela de Arte de Teruel a través de una colaboración con el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón. Esta iniciativa de colaboración tiene como objetivo, desde el punto de vista social, ayudar a los jóvenes en su formación a través de un contacto real con el mundo profesional, a la vez que ayudar y facilitar su proyección laboral a través de la difusión de sus trabajos.

### **Sesiones paralelas**

Seguimos estructurando nuestra Reunión Científica en seis grandes aéreas: física solar; ciencias planetarias; Vía Láctea y sus componentes; galaxias y cosmología; instrumentación y supercomputación; y enseñanza y divulgación de la Astronomía. Contaremos con un total de 215 contribuciones orales, de las cuales 62 son contribuciones invitadas seleccionadas por el SOC de la Reunión. Nos extenderíamos demasiado si intentásemos detallar todo el programa, que podéis encontrar en nuestra web. Solo a título de ejemplo, para mostrar el elevado grado de vanguardia de los trabajos a presentar, en la sesión paralela de instrumentación se mostrarán el estado del desarrollo del espectrógrafo CARMENES, para Calar Alto, y WEAVE para el telescopio WHT (Canarias) así como la participación española en el diseño del CTA y en el telescopio James Webb, otro sueño de nuestra comunidad que se hará realidad en los próximos años.

Veremos como la reciente entrada de España en el E-ELT empuja con fuerza nuestra participación en HARMONI, uno de sus instrumentos de primera generación. También nuestros colegas nos mostraran la marcha del desarrollo del Observatorio de Javalambre, el más importante en fase de construcción ahora mismo en la península. No faltará el área de Espacio, los recientes resultados de la fase de comisionado de Gaia y los primeros pasos de la participación española en el Observatorio Espacial PLATO, la misión M2 recientemente aprobada por ESA. Como decíamos, este es solo un ejemplo de proyectos y desarrollos en curso.

### **Astronomía e Industria**

También como ya es tradición, en esta reunión contamos con la presencia de empresas que han colaborado en la organización de este evento y que darán a conocer los proyectos astronómicos en los que participan. En el cuadro de novedades podéis ver el evento que estamos organizando, conjuntamente entre la Junta de la nuestra sociedad y el SOC y el LOC de la Reunión. Estamos ultimando los preparativos para la celebración de una mesa redonda, en sesión plenaria, dedicada al desarrollo de instrumentación astronómica en España (ver cuadro de novedades). Este evento tiene por objetivo acercar la comunidad de científicos a la industria, no solo las grandes compañías sino también las pequeñas y medianas empresas que trabajan en el sector.

SESIONES CIENTÍFICAS	INVITADAS	ORALES	PÓSTERS
Conferencias invitadas en sesión plenaria	16		
Ciencias Planetarias	7	12	7
Enseñanza y Divulgación de la Astronomía	6	18	12
Física Solar	6	12	1
Galaxias y Cosmología	11	78	21
Instrumentación y Supercomputación	11	29	20
La Vía Láctea y sus componentes	5	56	25
<b>TOTAL 62 invitadas y 291 contribuciones solicitadas</b>			

Nuestra Sociedad mantiene el pulso a la crisis. En esta tabla se muestran las conferencias invitadas en sesión plenaria y sesiones paralelas y la relación de las sesiones orales y pósters solicitadas. Aún disponiendo de una semana de Reunión solo se han podido programar el 75% de las contribuciones orales solicitadas.

### **Astronomía, cultura y sociedad**

No faltará, como en ediciones anteriores, la organización de un evento al público general que tenga un impacto directo en la sociedad civil aragonesa, ya que es gracias a ellos que muchos llevamos a cabo nuestros proyectos en instituciones públicas. Iremos concretando el programa en la web de la reunión. No dudéis en contactar con el SOC y el LOC para plantear nuevas propuestas y actividades relacionadas con este campo tan apasionante que es la divulgación de nuestro trabajo a la sociedad.

Os invitamos a todos a participar en esta Reunión, si aún no os habéis registrado, y a disfrutar de la ciudad de Teruel.

«Contaremos con un total de 215 contribuciones orales, de las cuales 62 son contribuciones invitadas seleccionadas por el SOC de la Reunión.»

Como es ya tradicional, sigue aumentando el número de equipos, redes y consorcios españoles que aprovechan nuestra reunión científica para mantener reuniones específicas de trabajo donde discutir el estado de sus proyectos y perspectivas de futuro.

<b>14 Reuniones de grupos</b>	
WEAVE: espectrógrafo para el WHT	CALIFA
Virtual Observatory School	J-PLUS
Red Española de Explotación Científica de Gaia	MEGARA
Almuerzo con astrónomas	SHARDS
Almuerzo con pre-docs y post-docs	Astronomía UV y WSO-UV
ALHAMBRA	Ciencias Planetarias
Comité de Usuarios de GTC	SKA

# CARMENES. EN BUSCA DE PLANETAS COMO

CARMENES (Calar Alto high-Resolution search for M dwarfs with Exo-earths with Near-infrared and optical Échelle Spectrographs) es un instrumento de nueva generación, construido por un consorcio de once centros Alemanes y Españoles, para el telescopio de 3.5 m del observatorio de Calar Alto. El objetivo principal del proyecto es llevar a cabo una búsqueda de exoplanetas habitables de tipo terrestre mediante la observación de una muestra de 300 estrellas enanas de tipo espectral M.

El objetivo del instrumento CARMENES es obtener medidas de velocidad radial de muy alta precisión (del orden de 1 m/s en sus dos canales) y con una alta estabilidad a largo plazo. Su principal caso científico es realizar un estudio de estrellas frías de secuencia principal (tipos espectrales M4V o más frías) con el objetivo de detectar planetas de masa muy pequeña (menores que 10 masas terrestres) en su zona habitable (una región alrededor de la estrellas con temperaturas de equilibrio que permiten la existencia de agua líquida sobre la superficie de un planeta). Para estrellas más tardías que M4-M5 ( $M < 0.20$  masas solares), las medidas de una precisión de 1 m/s permitirán detectar súper-Tierras de 5 masas terrestres y más pequeñas dentro de la zona de habitabilidad. Para una estrella cerca del límite de quema de hidrógeno esta precisión en velocidades radiales hace posible detectar planetas tan pequeños como nuestra propia Tierra en la zona templada. Además, el instrumento podrá detectar súper-Tierras en la zona habitable de todas las estrellas M más cercanas a nuestro Sol. Las observaciones de CARMENES se realizarán desde el telescopio de 3.5 m del Centro Astronómico Hispano Alemán (CAHA) de Calar Alto (Almería, España) para muestrear un conjunto de 300 estrellas M de nuestra vecindad solar.



**Pedro J. Amado**

Instituto de Astrofísica de Andalucía,  
IAA-CSIC  
[pja@iaa.es](mailto:pja@iaa.es)

**Ignasi Ribas**

Institut de Ciències de l'Espai,  
CSIC-IEEC  
[iribas@ice.csic.es](mailto:iribas@ice.csic.es)

El proyecto CARMENES proporcionará, considerando la alta probabilidad estimada de encontrar planetas alrededor de este tipo de estrellas, un número suficientemente alto de planetas como para realizar análisis estadísticos y estudiar su distribución alrededor de las estrellas M: número medio de planetas por estrella, masas y parámetros orbitales (distancias a la estrella, excentricidades de las órbitas, multiplicidad y dinámica), lo que nos permitirá, por ejemplo, confirmar la baja frecuencia de planetas de tipo Júpiter encontrados alrededor de estas estrellas. El proyecto CARMENES puede proporcionar los primeros datos robustos sobre formación planetaria en el régimen de estrellas de baja masa. Pero además resulta probable que CARMENES halle algún planeta que presente tránsitos, lo cual abre unas perspectivas enormes para su completo estudio (estructura, composición química atmosférica), y es especialmente apasionante en el caso de los planetas en zona habitable. Los exoplanetas descubiertos por CARMENES son objetos ideales para su caracterización atmosférica puesto que la mayoría

de las estrellas de la muestra se encuentran a menos de 20 pc de distancia.

Las simulaciones llevadas a cabo por el equipo de CARMENES indican que la mejor solución instrumental para el proyecto es usar la mayor cobertura posible de longitud de onda. Esto proporciona una elevada precisión de velocidad radial a la vez que permite la discriminación de "falsos positivos" causados por la actividad estelar. Las variaciones de velocidad radial inducidas por la actividad dependen de la longitud de onda, lo cual no es cierto para los movimientos orbitales. Los datos indican que la amplitud de velocidad radial a consecuencia de la actividad se reduce un factor entre 2 y 3 en el rango espectral del visible al infrarrojo cercano. En cuanto a la resolución espectral, los estudios hallaron un valor óptimo de  $R \sim 80000$  teniendo en cuenta la distribución de velocidades rotacionales de los targets potenciales y la dependencia de la precisión de velocidad radial con el elemento de resolución.

Así pues, el instrumento CARMENES consiste en dos espectrógrafos échelle (visible e infrarrojo) de alta resolución espectral ( $R=82000$ ) que cubren entre los dos el rango de longitud de ondas entre 550 y 1700 nm. Los espectrógrafos están separados en dos tanques de vacío, para evitar efectos de las variaciones de presión atmosférica, y situados en salas climáticas para mantener la temperatura estable. Además, el espectrógrafo infrarrojo estará estabilizado activamente a una temperatura de trabajo de 140 K con una muy alta estabilidad mediante un sistema de enfriamiento único en el mundo. Todo esto, junto con un sistema de calibración por líneas de emisión registradas simultáneamente en el espectro, es necesario para conseguir el objetivo de obtener medidas de velocidad radial de las estrellas con una precisión de 1 m/s, meta ya conseguida en los espectrógrafos que trabajan en el visible pero nunca en el infrarrojo. Estas salas se encuentran a su vez en la sala Coudé del telescopio y los espectrógrafos son alimentados por fibra óptica desde el foco Cassegrain.



El tanque de vacío del canal NIR en las instalaciones del IAA.

En resumen, las principales ventajas de CARMENES con respecto a proyectos similares son: 1) la posibilidad de obtener simultáneamente observaciones en el infrarrojo cercano y el visible, 2) la garantía de tiempo suficiente en un telescopio tipo 4 m (actualmente imposible en ninguna otra parte del mundo que no sea en el CAHA), para poder realizar el número de medidas que un caso científico como este requiere para ser exitoso, y 3) CARMENES está a la cabeza de este tipo de desarrollos instrumentales con respecto a proyectos similares por lo que también liderará la explotación de este campo de investigación en los próximos años.

Haciendo un poco de historia, en enero de 2009 CARMENES fue seleccionado como uno de los dos instrumentos a ser financiado para un estudio de diseño conceptual. Hasta ese momento, todos los instrumentos construidos para operación en CAHA habían sido propuestos por investigadores y centros alemanes. Por tanto, CARMENES se convierte en el primer instrumento propuesto, aceptado y co-liderado por una institución española. El Comité Ejecutivo del CAHA, basándose en las recomendaciones de un comité de expertos, tomó posteriormente la decisión de seleccionar CARMENES como el instrumento de nueva generación para el telescopio de 3.5 m del observatorio.

Desde entonces el proyecto se ha desarrollado normalmente aunque siempre bajo el esquema “schedule-driven” (con el objetivo inicial de poner en telescopio el instrumento en 2014, en sólo cinco años desde “kick-off”). La normalidad, sin embargo, no ha sido una constante en la situación del observatorio, que ha pasado por varias fases de negociación para acordar la forma de la extensión del acuerdo entonces vigente (2004-2013) entre España (CSIC) y Alemania (MPG) para su operación. Una de ellas, durante la negociación principal, se alargó durante casi un año en 2010 proponiendo como una de las posibilidades el cierre total del observatorio y produciendo un impacto importante en el desarrollo de CARMENES que por entonces no sabía si tendría telescopio. Finalmente, el acuerdo se cerró por cinco años más hasta 2018 y puso a CARMENES como instrumento estratégico del observatorio.

En julio de 2011 CARMENES pasó con éxito una revisión del diseño preliminar y en febrero de 2013 la revisión del diseño final. Actualmente nos encontramos en la fase de fabricación, ensamblado, integración y verificación, para poder estar en el telescopio en 2015 y listos para comenzar el estudio para finales de ese año. Será entonces cuando el instrumento sea entregado y aceptado por el CAHA como instrumento

Unidad de preparación del sistema de enfriamiento, diseñada y construida por el consorcio CARMENES en colaboración con el Observatorio Europeo Austral (ESO).

para ser utilizado por las comunidades Española y Alemana a través de tiempo garantizado al consorcio y, esperemos, tiempo abierto para la comunidad española. El tiempo garantizado sumará un total de 600 noches en tres años (2016-2018) que serán usadas por el consorcio para explotar el caso científico principal. Se obtendrán 60 medidas por objeto de promedio y se llegará a 100 medidas para aquellos objetos más interesantes. Este programa con tiempo garantizado es similar en volumen al realizado con el instrumento HARPS en La Silla (telescopio 3.6 m del ESO), y esperamos similares resultados de alto impacto.

A día de hoy, los tanques de vacío ya están fabricados y se encuentran en los laboratorios de los dos centros que harán la integración, el IAA para el infrarrojo y el LSW/MPIA para el visible. Además, la mayor parte de la óptica, que es lo que presenta unos tiempos más largos de entrega por parte de las empresas que la fabrican, ya está pedida, a punto de ser enviada o incluso ya en nuestros laboratorios, como es el caso de los dos mosaicos échelle y la cámara del visible. El sistema de enfriamiento del infrarrojo, que es el único subsistema que ha requerido cierta cantidad de investigación y desarrollo (específicamente para este proyecto) también se encuentra en los laboratorios del IAA y las pruebas confirman la viabilidad de su concepto térmico novedoso.

El consorcio CARMENES actual se gestiona según sus bases iniciales de paridad Hispano-Alemanas. Fue oficialmente creado a inicios de 2009 con el objetivo de diseñar, construir y explotar el instrumento. Está formado por once centros, cinco españoles, cinco alemanes y el CAHA. Los centros son: IAA-CSIC (Granada), LSW (Heidelberg), MPIA-MPG (Heidelberg), ICE-CSIC (Barcelona), HS (Hamburg), CAB-CSIC (Madrid), IAG (Göttingen), IAC (Tenerife), TLS (Tautenburg) and UCM (Madrid). Los investigadores principales (IPs) junto a los científicos del proyecto (PSs) representan a las comunidades científicas de España y Alemania.

Junto a estos cuatro puestos, un gestor y un co-gestor de proyecto (PMs), dos gestores de proyectos asociados, un ingeniero de sistema (SE; contratados ambos a la empresa FRACTAL S.L) y los representantes del CAHA y del MPIA conforman lo que denominamos el Equipo de Gestión de CARMENES (CMT o Core Management Team). El CMT informa al Panel de supervisión del proyecto CARMENES (Project Supervisory Board) formado por los IPs, los directores del IAA-CSIC y del MPIA y el director del observatorio. A día de hoy, el consorcio cuenta con más de 100 miembros, entre investigadores e ingenieros.



# ACERCANDO LA ASTRONOMÍA

Desde el pasado mes de abril, varios visitantes se han hecho notar en diversos centros escolares cántabros. Estos eran los investigadores del Instituto de Física de Cantabria (IFCA, CSIC-UC), que comprometidos con lograr un acercamiento de su quehacer diario, se han trasladado en múltiples ocasiones a colegios de la región. Así, en su objetivo por llegar a todos los ámbitos de la sociedad, han realizado un sobreesfuerzo por reforzar su presencia en centros educativos, alimentar, motivar e incrementar el gusto de pequeños y jóvenes por la ciencia, en concreto por la Astronomía.



Ana María Marín Farrona  
Instituto de Física de Cantabria  
[ammarin@ifca.unican.es](mailto:ammarin@ifca.unican.es)

Durante los últimos dos meses, el proyecto “Expandiendo la ciencia: investigadores en la escuela”, financiado por la SEA, ha llevado principalmente la astronomía, y la cosmología, entre otras ramas de la Física, a múltiples rincones de Cantabria: Santander, Torrelavega, Ramales de la Victoria, y San Vicente de la Barquera, entre otros. De esta forma, han sido impartidos 11 seminarios en diversos centros educativos de toda la región. Estudiantes de todas las edades han podido participar de esta actividad: desde niños con tan solo 6 años, a alumnos de las diversas ramas de bachillerato.

Así, teniendo presente el currículum escolar, mediante esta propuesta, los investigadores que se han desplazado a estos colegios han podido llevar a cabo un repaso de las disciplinas científicas situadas en la frontera del conocimiento humano, tratando de buscar, junto con los más pequeños, la respuesta a preguntas como *¿Cómo se formó el Universo donde vivimos y la materia que nos compone?*, *¿Cómo evolucionará el Universo?*, *¿Qué nos podemos encontrar en él?*, *¿Podremos encontrar vida fuera de la tierra?*, *¿Qué es y para qué sirve un supercomputador?*, *¿Qué es la ciencia?*, *¿Y el método científico?*

Y esto es solo el inicio del intento realizado desde el IFCA por “expandir la ciencia” en Cantabria. Para el primer trimestre del próximo curso escolar 2014/2015, se han recibido más de una veintena de solicitudes. Son los propios alumnos los que así lo solicitan cuando los investigadores llegan al aula. Una iniciativa con reclamo para todos.

A TODOS LOS RINCONES DE CANTABRIA

ORGANIZA:



MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD



PATROCINA:



MÁS INFORMACIÓN:

*Expandiendo la Ciencia: Investigadores en la escuela*

Ana M<sup>a</sup> Marín Farrona – Divulgación IFCA/UC

[ammarin@ifca.unican.es](mailto:ammarin@ifca.unican.es) [www.ifca.unican.es](http://www.ifca.unican.es) Tfn. 942201404

# Expandiendo la ciencia: Investigadores en la escuela



En esta sección de nuestro Boletín pretendemos mostrar la cara más social de los miembros de nuestra sociedad: entradas y salidas de comités, nombramiento de nuevos directores de centros, cambios de afiliaciones, jubilaciones, premios, etc. Si cuando acabéis de leer la sección pensáis "Podían haber hablado también de..." os pedimos que nos enviéis vuestra entrada para incluirla en el próximo número. Gracias.

## ***"MONEY MAKES THE WORLD GO ROUND"***

El Consejo Europeo de Investigación (ERC) ha concedido una Synergy Grant al proyecto NANOCOSMOS, del que José Cernicharo (Centro de Astrobiología, CSIC- INTA) es uno de los directores.

El proyecto NANOCOSMOS, "Gas and Dust from the Stars to the Laboratory: Exploring the NANOCOSMOS" ha sido financiado con 15 millones de euros por el ERC durante un período de seis años.

El proyecto intentará resolver algunos de los misterios relativos a cómo se forman las nanopartículas que constituyen los granos de polvo interestelar y cuáles son los procesos fundamentales que dan lugar a la complejidad química tanto en la Tierra como en el espacio.

Siguiendo con buenas noticias, el investigador Rainer Schödel (IAA-CSIC) ha conseguido la prestigiosa ayuda ERC Consolidator Grant para investigar el centro de nuestra Galaxia.

## **NUEVA REPRESENTANTE EN LA ESO**

Nuestra colega María Rosa Zapatero Osorio ha sido nombrada por la ESO como representante española de los usuarios ESO, sustituyendo en esta labor a Lourdes Verdes-Montenegro.

## **E-ELT, ¡POR FIN!**

Después de muchos meses de tensión e incertidumbre, por fin se produjo la ansiada noticia de que nuestro gobierno aprobaba la participación de España en el próximo telescopio gigante europeo, el E-ELT. El proyecto beneficiará tanto al sector empresarial como al científico.

## **INDIGNANTE**

O cualquier otro calificativo que se os ocurra, pues muchos son de aplicación a la injustificada destitución de David Galadí en el Observatorio de Calar Alto. No parece que sea éste el modo correcto de solucionar los problemas de tan emblemático centro. Desde aquí queremos mostrar nuestro apoyo a David, y expresar nuestro deseo de que la situación de Calar Alto cambie pronto a mejor.

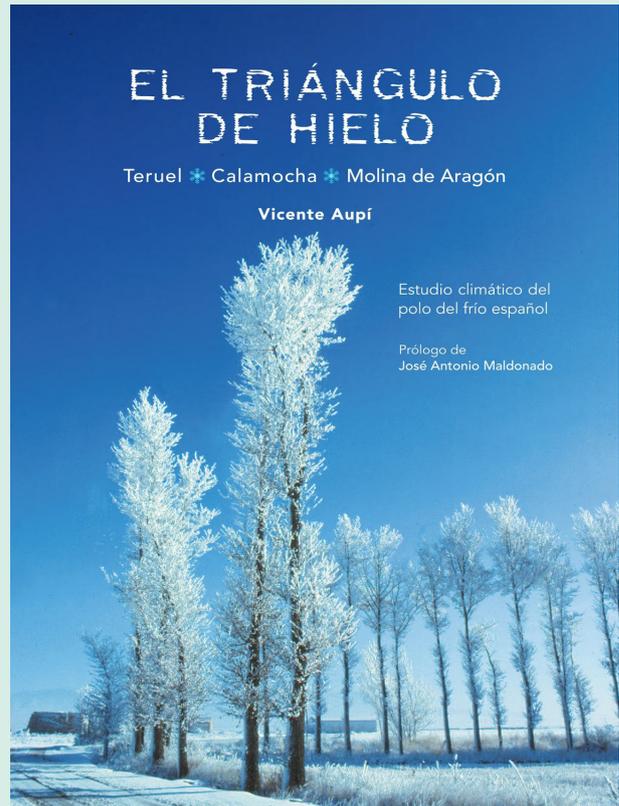
## EL TRIÁNGULO DE HIELO TERUEL-CALAMOCHA-MOLINA DE ARAGÓN

Vicente Aupí

ISBN: 978-84-938724-7-2  
Dobleuve Comunicación

En unos meses, muchos de nosotros nos encontraremos en Teruel, en la Reunión Científica que nuestra sociedad celebra cada dos años. Será septiembre, y es de esperar que el tiempo sea agradable, con noches frescas y días todavía calurosos o templados. Nada que ver con las temperaturas que, en ocasiones, se registran en esta ciudad en invierno. Teruel es uno de los vértices del triángulo del frío español, cuyo clima es el objeto de estudio de este libro de Vicente Aupí, astrónomo y meteorólogo aficionado, miembro de la SEA que mantiene un pequeño Observatorio Astronómico en Torremocha del Jiloca, donde vive en la actualidad y donde además ha tomado registros meteorológicos desde hace casi tres décadas. Aupí es autor de diferentes libros de divulgación en astronomía: Atlas del Firmamento, Fotografiar el cielo, Guía para exploradores del cielo. El libro que hoy nos ocupa es el resultado de su otra afición y de un esfuerzo continuado de recoger datos de los Observatorios meteorológicos de la zona de estudio: Teruel, Calamocha, Molina de Aragón, pero también Daroca, Monreal del Campo, Villarquemado, etc y lo que seguramente es más importante en este libro, Aupí ha recopilado pacientemente los testimonios de muchas de las personas que a lo largo de decenios han registrado la información de temperaturas, precipitaciones, vientos, nevadas, heladas y otros fenómenos atmosféricos que constituyen la base de este libro.

Ese testimonio nos permite conocer a gentes, cuyo trabajo abnegado les convierte en los auténticos protagonistas de estas historias de frío polar que alguno de ellos describe en el propio libro con la palabra "extremosidad". La recopilación que hace Aupí es extraordinaria, ya que no solo nos presenta la aventura humana de los responsables de las estaciones de observación meteorológica que el Ministerio del Aire decidió instalar para satisfacer la demanda de información meteorológica en las rutas aéreas, sino que Aupí, como buen periodista de investigación —esta es realmente su profesión— nos presenta multitud de personajes que, en diferentes épocas, tomaron celosos registros meteorológicos de forma desinteresada, ya sea como servicio altruista o como afición. Médicos, maestros y frailes nos narran los episodios de temperaturas en torno a los  $-20^{\circ}\text{C}$  vividos en estas tierras, que todavía ostentan el record de menor temperatura registrada en zonas habitadas de la Península Ibérica: los  $30^{\circ}$  bajo cero que se anotaron el 17 de diciembre de 1963 en Calamocha-Fuentes Claras. Vicente Aupí nos explica las razones por las que se producen esos episodios de frío precisamente en esa



zona, analizando los elementos geográficos y propios del clima que producen bajadas termométricas colosales, la relación entre esos episodios y las nevadas en una altiplanicie con una orografía muy determinada. Todo encaja y como buen divulgador, Aupí proporciona al lector claves precisas para entender los hechos que narra.

El libro está profusamente ilustrado, con tablas e infografías que presentan los datos de manera comprensible, pero también con fotografías bellísimas de paisajes helados, de nevadas increíbles o cielos rasos y estrellados que muestran el indudable encanto del triángulo de hielo. También hay un abundante material gráfico de los observatorios, la instrumentación utilizada en diferentes épocas, pero sobre todos destacan las fotos entrañables de las personas protagonistas de estas historias de frío, los auténticos héroes y las auténticas heroínas del libro de Aupí.

Vicent J. Martínez  
*Observatori Astronòmic, Universitat de València*

## Diseño de ruedas de posicionado de precisión en ambientes criogénicos basadas en cojinetes autolubricados

Autor: Pablo Gustavo Redondo Caicoya  
(predondo@iac.es)

Tesis doctoral dirigida por: Isabel Martín Mateos y Francisco Garzón López

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 28 de junio de 2013

La Tesis Doctoral estudia el diseño de ruedas de posicionado de precisión en ambientes criogénicos, aplicado a la construcción de las ruedas de filtros y de grismas de EMIR.

EMIR (Espectrógrafo Multiobjeto Infrarrojo) es un espectrógrafo multiobjeto de gran campo, en el infrarrojo, propuesto para el foco Nasmyth de GTC (Gran Telescopio Canarias). Permitirá a los observadores obtener entre decenas y centenas de espectros de resolución intermedia simultáneamente, en las bandas de IR cercano Z, J, H, K. Se usará una unidad de máscara de multi-rendija para la adquisición de los objetos. EMIR será un instrumento robusto de segunda generación para GTC al dotar de un modo de observación único entre los telescopios de clase de 8m. Está siendo construido por un consorcio de instituciones españolas, británicas y francesas, liderado por el Instituto Astrofísico de Canarias (IAC).

La Tesis surge con la idea de plasmar tanto los conocimientos adquiridos en el campo de mecanismos de precisión para criogenia en proyectos anteriores a EMIR, como los resultados de las investigaciones y los avances que se están logrando en el marco del desarrollo de la mecánica de EMIR; estos últimos materializados en el diseño y fabricación de las ruedas de filtros y de grismas de este instrumento. El objetivo prioritario de la Tesis ha sido el desarrollo de cojinetes axiales autolubricantes con alta capacidad de carga para mecanismos de precisión a temperaturas criogénicas y en alto vacío; una línea de investigación original cuyos resultados tienen un elevado potencial de uso en instrumentación astronómica y en disciplinas tan dispares como la mecánica para proyectos espaciales o la instrumentación de aceleradores de partículas. Estos componentes permiten reducir los tiempos de puesta en marcha del instrumento EMIR y son esenciales para alcanzar la estabilidad de posicionado requerida en funcionamiento de las ruedas.

A lo largo de la Tesis se realiza una revisión de la tecnología disponible para este tipo de mecanismos –que les permite operar en ambientes criogénicos y de vacío– y se describen las mejoras y novedades que se han aportado. Uno de los aspectos críticos en el diseño mecánico de sistemas criogénicos es el soporte de sistemas móviles de precisión. Los rodamientos deben tener tolerancias muy estrictas para lograr las altas precisiones de posicionado que se exigen; pero se necesitan holguras entre los rodamientos y las piezas estructurales para acomodar los diferentes coeficientes de contracción de sus materiales. Ambas necesidades van en sentidos opuestos.

Los rodamientos o soportes giratorios no sólo constituyen un soporte estructural: también son la ruta de enfriamiento de las partes móviles y por su constitución –contactos puntuales de las bolas con las pistas– ofrecen una conductividad térmica muy limitada. Lo que puede usarse en beneficio del sistema o añadir un problema al diseño. Los dos aspectos anteriores –precisión y control de la conductividad– se hacen más críticos cuanto más pesado es el mecanismo, pues ello incrementa el tamaño de los rodamientos necesarios (para aportar más rigidez). A mayores dimensiones, mayores son las holguras necesarias para salvar las contracciones diferenciales durante el enfriamiento. A mayores holguras, menor conductividad térmica.

Más masa y menor conductividad térmica implica tiempos de puesta en funcionamiento del instrumento mayores, en detrimento del tiempo de uso (EMIR necesita 4 días para enfriarse a temperatura de trabajo). En definitiva, el tamaño complica significativamente los diseños. Una solución a estos problemas asociados al uso de los rodamientos de bolas convencionales es usar cojinetes autolubricantes que conviertan el contacto puntual en contacto de superficie. Sin embargo, antes de las investigaciones que fueron objeto de esta Tesis, no se conocían materiales o tratamientos de materiales:

- Suficientemente rígidos (p. ej. el teflón no lo es por lo general).
- Con un coeficiente de contracción térmica parecido al del aluminio (los plásticos contraen significativamente más que el aluminio, que es el material base de los mecanismos).
- Autolubricantes y con un coeficiente de fricción estable a temperaturas criogénicas.
- Con una conductividad lo más próxima posible a la elevada conductividad del aluminio (los plásticos son aislantes).
- Con una alta capacidad de carga en fricción plana (existen numerosos recubrimientos comerciales probados en criogenia pero sólo son aptos para contacto de rodadura).
- Y que pudieran ser usados en vacío (por ejemplo hay plásticos como el nailon que son incompatibles pues desgasifican emitiendo vapor de agua).

En conclusión, identificar un material o recubrimiento con las características anteriores ha supuesto un avance tecnológico importante en el diseño de sistemas de soporte de mecanismos para criogenia. El resultado práctico de la Tesis ha sido la fabricación de cojinetes y frenos de fricción a base de aleación de aluminio Al 6061T6 tratada por oxidación electrolítica por plasma y con un recubrimiento de disulfuro de molibdeno. Las ruedas de EMIR son los primeros mecanismos criogénicos de precisión que incorporan este avance.



# Formación y dinámica de grupos de galaxias en el universo local

Autora: Laura Darriba Pol

Tesis doctoral dirigida por: José M. Solanes, Jaime Perea y Evangelia Athanassoula

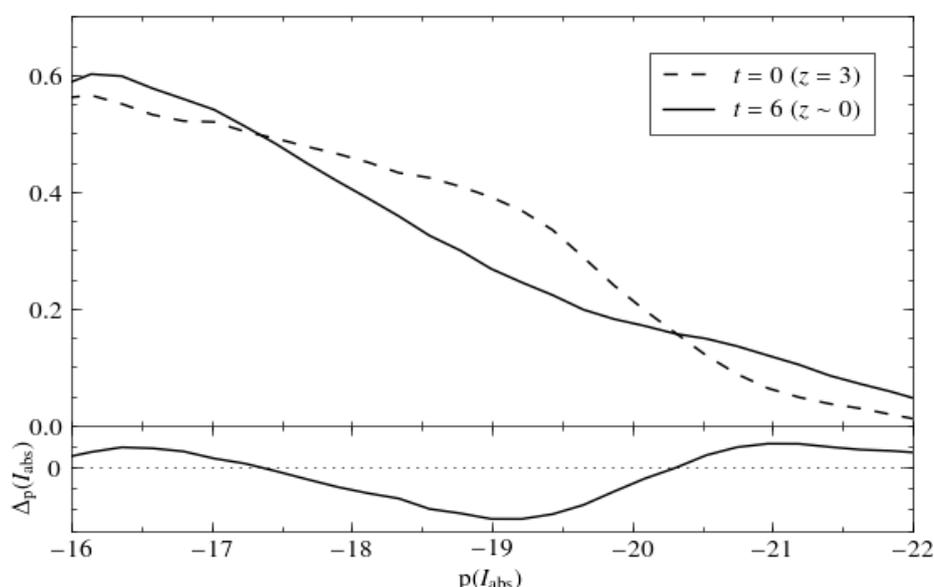
Centro: Universidad de Barcelona

Fecha de lectura: 31 de octubre de 2013

Los grupos de galaxias desempeñan un papel clave en la formación y evolución de la estructura del universo, dado que representan el entorno más común en el que residen las galaxias. En esta tesis doctoral se examina el papel desempeñado por las frecuentes colisiones de galaxias que se producen durante las primeras etapas de la formación de estas estructuras en la configuración de las propiedades de los miembros del grupo y del medio intragrupal.

Una parte muy importante del trabajo realizado ha consistido en el diseño, desarrollo y puesta a punto de un modelo de N-cuerpos de un grupo de galaxias pre-virializado dentro del marco de la cosmología LambdaCDM concordante. Con esta herramienta hemos llevado a cabo seis simulaciones de  $10^7$  partículas de la fase de pre-coloapso de grupos de galaxias formados por una veintena de objetos de tamaños y morfologías diversos envueltos en un halo de materia oscura común. Las simulaciones de nuestros grupos abarcan desde  $z = 3$  hasta  $z \approx 0$ , cubriendo desde la época en la que los grupos aún se están expandiendo en régimen lineal, hasta el momento en que se produce el colapso gravitatorio de estos sistemas.

Hemos aplicado diversas técnicas de medición y utilizado diferentes herramientas de análisis de datos astronómicos para estudiar, tanto la producción de material luminoso intergaláctico (MLIG), como la variación de las propiedades de las galaxias que tiene lugar a consecuencia de las frecuentes interacciones que éstas experimentan en el entorno del grupo naciente. Por una parte, el seguimiento de la evolución de las fusiones binarias aisladas que acontecen en el seno de los grupos estudiados, ha revelado la existencia de disminuciones momentáneas pero significativas en el número de partículas ligadas debido a desacoplamiento cinemáticos puntuales que sufren los densos núcleos galácticos, así como un incremento escalonado de la fracción de masa desligada. Nuestro análisis también revela que, al contrario de lo que muchos estudios suponen, la energía de ligadura del material luminoso intergaláctico no está correlacionada con su densidad de masa local. Además, el estudio detallado de la estructura y la cinemática de dos de las principales fusiones de galaxias observadas en nuestros grupos muestra que la relajación completa de la estructura radial exterior de las remanentes requiere un mínimo de  $\sim 2$  Giga-años tras la fusión los núcleos de los progenitores, tiempo éste que sería significativamente superior al que propugnan las simulaciones clásicas de fusiones binarias. Por otra parte, hemos observado también que todas nuestras simulaciones producen sistemáticamente una fracción relativamente baja ( $< 10\%$ ) de MLIG. A falta de una mayor estadística que aumente la confianza de nuestros resultados, así como de una metodología robusta y libre de ambigüedades para la medición observacional de la luz difusa, este hallazgo sugiere que las cantidades extraordinarias de este componente detectadas en algunos grupos de galaxias compactos podrían no proceder exclusivamente de material estelar arrancado de sus galaxias miembro. Por último, y de acuerdo con predicciones teóricas, nuestras simulaciones han permitido confirmar que la fusión preferente entre objetos de masa intermedia que tiene lugar durante la etapa de pre-virialización de los grupos de galaxias es capaz de transformar una distribución de masa estelar de galaxias de tipo Schechter en una distribución bimodal.



Evolución de la función de masa estelar subyacente en grupos pobres de galaxias expresada en magnitudes en la banda I ( $M_I$ ). Las dos curvas del panel superior se han calculado superponiendo los resultados obtenidos para 25 grupos de 20 galaxias evolucionados desde  $z = 3$  hasta  $z \approx 0$ , época en la que se produce el colapso gravitatorio que antecede a la virialización de estos sistemas. La diferencia entre ambas curvas que muestra el panel inferior pone de manifiesto que dicha evolución da lugar a la formación de una depresión en la función de distribución en el rango  $-17.5 > M_I > -20.2$ , compatible con las observaciones. Este resultado representa la primera confirmación experimental de que las fusiones que tiene lugar durante la etapa de formación de los grupos de galaxias involucran preferentemente a objetos de tamaño intermedio.

## Trazando el brazo de Perseo en la dirección del anticentro

Autora: Maria Monguió I Montells  
(mmonguió@am.ub.es)

Tesis doctoral dirigida por: Francesca Figueras y Preben Grosbøl

Centro: Universitat de Barcelona

Fecha de lectura: 21 de noviembre de 2013

Hoy en día todavía no disponemos de una teoría completa sobre la forma y origen de los patrones espirales de la Vía Láctea. Muchas preguntas clave siguen sin respuesta, como por ejemplo: ¿Cuál es el mecanismo de formación y evolución de la estructura espiral? ¿Son estructuras transitorias o de larga duración? ¿Cuáles son sus estructuras básicas, estrellas o gas?

El trabajo realizado durante esta tesis pretende ayudar a resolver alguno de estos interrogantes. El principal objetivo ha sido trazar el brazo espiral de Perseo en la dirección del anticentro Galáctico. Las tareas realizadas se pueden separar en tres apartados. Primero, un muestreo con fotometría Strömrgren en la dirección del anticentro Galáctico. Segundo, la obtención de los parámetros físicos de estas estrellas mediante dos métodos distintos, uno basado en calibraciones empíricas pre-Hiparcos y un nuevo método a partir de modelos atmosféricos y evolutivos. Finalmente, se ha utilizado toda esta información para estudiar la distribución de la densidad estelar en la dirección del anticentro. Estos datos también nos han permitido crear un mapa de absorción tridimensional a partir del cual se ha analizado la distribución de polvo interestelar y su relación con el brazo espiral.

Un muestreo fotométrico con los filtros Strömrgren  $uvbyH\beta$  de 16 grados cuadrados, ha sido realizado utilizando a Wide Field Camera (WFC) en el Isaac Newton Telescope (INT). En la región interna del muestreo, con una magnitud límite más profunda, cada campo ha sido observado tres veces con pequeños desplazamientos para minimizar los efectos de los píxeles dañados y los rayos cósmicos. La región externa, planeada para aumentar la estadística en distancias próximas, tiene una magnitud límite más brillante, y cada campo se ha observado una única vez. El muestreo consta de 96.980 estrellas, con una precisión astrométrica entorno a los 0.02arcsec, de las cuales 35.974 tienen fotometría completa en todos los filtros. Las precisiones fotométricas van desde pocas centésimas de magnitud para las estrellas brillantes hasta 0.1 magnitudes para estrellas débiles. El área observada se ha centrado ligeramente por debajo del plano Galáctico para tener en cuenta el alabeo del disco, y cubre longitudes galácticas entre  $l \sim 177^\circ$  y  $l \sim 183^\circ$ , y latitudes entre  $b \sim -2^\circ$  y  $b \sim -1.5^\circ$ .

Para el cálculo de los parámetros físicos a partir de la fotometría Strömrgren, hay disponibles en la literatura distintas calibraciones empíricas (Crawford 1978, 1979, Balona & Shobbrook

1984, Claria Olmedo 1974, Grosbøl 1978 o Hilditch et al. 1983, entre otros). Hemos comparado los resultados obtenidos con datos del catálogo Hiparcos, con el fin de estudiar las diferencias y los posibles sesgos. Nuestro objetivo es utilizar estrellas jóvenes, que hayan tenido tiempo de responder a la perturbación del brazo y al mismo tiempo que tengan velocidades intrínsecas pequeñas, así que solamente se han calculado los parámetros físicos para estrellas hasta A9. Este método se basa en una clasificación previa en regiones fotométricas que puede llevar a discontinuidades en los resultados. Por otro lado, proponemos un nuevo método basado en modelos que calculan los parámetros físicos a partir de modelos atmosféricos (Castelli & Kurucz 2004, Smalley & Dworetzky 1995 y Smalley & Kupka 1997) y evolutivos (Bertelli et al. 2008). Primero, se utilizan los índices libres de extinción  $[c1]$ ,  $[m1]$  y  $H\beta$  de la estrella, así como sus errores fotométricos, para encontrar en los modelos atmosférico el punto que más se ajusta a los datos, y así obtener temperatura, gravedad, color intrínseco, absorción y corrección bolométrica. A continuación, el ajuste en modelos evolutivos proporciona la luminosidad, la magnitud absoluta y la distancia a la estrella. Mediante la comparación con paralajes de datos Hiparcos se han observado sesgos para las estrellas A, que nos han permitido corregir las mallas para estrellas hasta temperaturas efectivas de 7000K. Para estrellas más frías, los modelos no han sido comprobados, por lo que los resultados pueden estar sesgados. Este método no requiere de clasificación previa, por lo evita que discontinuidades entre distintas regiones. La comparación entre los parámetros físicos obtenidos mediante los dos métodos muestra un sesgo de  $\sim 20\%$  en distancia.

Para estudiar la distribución radial de densidad hemos rechazado las estrellas frías, y creado distintas muestras utilizando distintos criterios de selección para la precisión de los datos. Para minimizar los efectos observacionales de la magnitud límite alcanzada, así como la saturación para estrellas brillantes, seleccionamos rangos de magnitud absoluta que aseguran la completitud entre 1.2 y 3 kpc. Para cada una de estas muestras completas en distancia se calcula la densidad superficial en función de la distancia, teniendo en cuenta el volumen cubierto a cada distancia, la alzada patrón de la Galaxia y el alabeo del disco. El radio de escala y la densidad superficial en la posición solar han sido ajustados a estas distribuciones, obteniendo una clara sobredensidad a 1.7kpc de la posición solar. El valor del radio de escala obtenido se encuentra en el rango  $[2.0-2.6]$  kpc, mientras que, para una muestra de estrellas B4-A1, la densidad superficial en la posición solar es de  $0.022^*/pc^2$ . Los test estadísticos realizados han permitido detectar una sobredensidad estelar del  $\sim 10\%$  en la posición del brazo con una significancia de 3 sigma.

Los datos también han permitido crear un mapa de absorción en 3D, a partir del cual se detecta un cambio de tendencia a 1.7kpc debida a una mayor densidad interestelar del brazo de Perseo, indicando -según la teoría de onda de densidad- que éste se encuentra dentro del radio de co-rotación.

Tesis disponible en  
<https://www.dropbox.com/s/nlj5f87qxfe9jz2/PhD-MMonguió.pdf>

## Búsqueda y caracterización de las galaxias con baja metalicidad

Autora: Ana Belén Morales Luis (abml\_ext@iac.es)

Tesis doctoral dirigida por: Jorge Sánchez Almeida, Casiana Muñoz Tuñón y J. Alfonso López Aguerri

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 29 de noviembre de 2013

Según la teoría de formación de galaxias, estas se formaron jerárquicamente, es decir, las galaxias grandes se formaron a través de la unión de las más pequeñas. Este proceso es ineficiente, por lo que deja muchas galaxias enanas como remanente. Estos restos parecen ser las galaxias extremadamente pobres en metales (XMP de sus siglas en inglés) observadas en nuestro entorno. Las galaxias XMP tienen abundancias químicas similares a las del Universo primordial. Por lo tanto, pueden ser los mejores ejemplos encontrados a nivel local de la primera generación de galaxias con masas bajas a partir de las cuales se formaron las galaxias más grandes. Sin embargo, las galaxias XMP son objetos escasos. Una recopilación de Kunth & Östlin (2000) cita únicamente 31 objetos con metalicidades por debajo de una décima parte de la metalicidad solar. El objetivo de esta tesis es la búsqueda de nuevas galaxias XMP y la caracterización de sus propiedades físicas.

La primera parte de esta tesis describe la búsqueda de galaxias XMP en SDSS/DR7 empleando *k-means*, un algoritmo automático de clasificación no supervisada. Hacemos esta búsqueda de acuerdo con la forma de los espectros de galaxias en la región que contiene [NII]6583 y H $\alpha$ , una región muy sensible a la metalicidad. Nuestra búsqueda da como resultado 32 galaxias de baja metalicidad, 11 de las cuales eran desconocidas. Con el fin de poner esta búsqueda en contexto, llevamos a cabo una recopilación bibliográfica de las galaxias con metalicidad por debajo de una décima parte del valor solar, encontrando sólo 129 objetos.

Uno de los objetivos de esta tesis es estimar las abundancias químicas y las propiedades físicas de las galaxias XMP utilizando el método directo, que es la técnica de análisis más sofisticada para obtener las abundancias elementales. Para ello, diseñamos una herramienta que consiste en un procedimiento independiente programado usando IDL. Esta técnica se usa en esta tesis, pero además está a disposición del público para que otros astrónomos puedan utilizarla.

A menudo el método directo no puede ser aplicado y resulta necesario emplear calibraciones empíricas, como es el caso del índice de N2 (definido como el cociente entre [NII]6583 y H $\alpha$ ), que está relacionado con la metalicidad. Con el objetivo de mejorar las estimaciones de metalicidades obtenidas usando el índice N2, utilizamos la muestra completa de galaxias XMP de la primera parte de esta tesis. Desafortunadamente, haciendo esto nos encontramos con que N2 resulta claramente insuficiente como método para determinar metalicidades en el rango de baja metalicidad. Por lo tanto, es necesario encontrar nuevos índices que sirvan para tal fin.

Finalmente, al realizar la búsqueda sistemática de galaxias XMP descubrimos que una fracción importante de estos objetos con bajo contenido en metales resulta tener forma cometaria o de "renacuajo" (*tadpole* en inglés). En esta tesis medimos la abundancia de oxígeno a lo largo del eje mayor de siete galaxias enanas compactas azules (BCD de sus siglas en inglés) utilizando el método directo. Algunas de ellas presentan gradientes de metalicidad coincidiendo con intensos estallidos de formación estelar, lo cual se interpreta como formación estelar provocada por la acreción de gas externo pobre en metales. Este proceso podría ser responsable de la morfología cometaria de las galaxias XMP. Esta morfología podría ser consecuencia de la acumulación de gas prístino externo que impacta contra un disco preexistente, provocando la formación de estrellas con menor metalicidad.

## Espectroscopia bidimensional de la nebulosa de Orión

Autor: Manuel F. Núñez Díaz

(manufnd@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por:

César Esteban López

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 12 de diciembre de 2013

Las regiones H II son nubes de gas ionizado por la radiación ultravioleta procedente de estrellas masivas calientes recién formadas en su interior, dando como resultado un espectro de líneas de emisión que puede observarse a grandes distancias y, cuyo análisis, nos permite estimar las condiciones físicas y la composición química del gas a diferentes épocas y distancias en el Universo. En regiones H II, las abundancias químicas de elementos más pesados que el He se determinan principalmente a partir de las brillantes líneas de excitación colisional (LEC), pero con la llegada de telescopios más grandes e instrumentos más sensibles también podemos hacerlo a partir de las débiles líneas de recombinación (LR) de algunos elementos. La comparación de ambos resultados ha dado lugar al problema conocido como discrepancia de abundancias (DA), debido a que el valor obtenido a partir de LR es siempre superior al obtenido a partir de LEC. El objetivo principal de esta tesis es ahondar en la comprensión del problema de la DA asociado a regiones H II. Para ello hemos observado la nebulosa de Orión, la región H II galáctica más cercana y brillante, con la técnica emergente de espectroscopia bidimensional a diferentes escalas angulares, haciendo uso de los dos modos de operación del instrumento PMAS instalado en el telescopio 3.5m del observatorio de Calar Alto.

Por un lado, usando el modo estándar del instrumento, que proporciona un campo de visión pequeño y continuo, con una resolución espacial de 1 segundo de arco, hemos obtenido datos de cinco zonas de la nebulosa, seleccionadas por contener rasgos morfológicos notables: frentes de ionización (Barra Brillante y NE-Orión-S), objetos Herbig-Haro (HH 204 y HH 203) y discos protoplanetarios (*proplyds*). Para todos los campos hemos presentado y analizado los mapas de las distribuciones espaciales de: coeficiente de extinción, flujos y cocientes de líneas de emisión, densidades y temperaturas electrónicas, y abundancias químicas a partir de LEC.

Sólo en dos de los campos, NE-Orión-S y *proplyds*, hemos detectado la LR de O II  $\lambda 4650$  con suficiente señal a ruido como para determinar un mapa de la abundancia iónica de O<sup>2+</sup> y compararlo con el obtenido a partir de LEC. Del análisis de la DA en estos dos campos podemos concluir que tal discrepancia no está relacionada con la presencia de estructuras de frentes de ionización (al menos con las características de NE-Orión-S) y que el gas de muy alta densidad (por ejemplo, discos protoplanetarios) sí parece estar jugando un rol importante. En el campo del objeto HH 204 descubrimos un estrecho arco de alta temperatura electrónica justo en el borde del choque de proa que precede al aumento de densidad. Los resultados sugieren que la compresión y el calentamiento del gas en los flujos de alta velocidad producen valores artificialmente mayores y menores, respectivamente, de las abundancias de O<sup>+</sup> y O calculadas a partir de LEC.

Por otro lado, usando el modo PPak del instrumento, que proporciona un campo de visión grande y discontinuo, con un diámetro de fibra de 2,69 segundos de arco, hemos obtenido un mosaico de la zona central de la nebulosa de Orión, que cubre un área de unos 8 minutos de arco cuadrados y proporciona más de 5000 espectros profundos en el rango óptico. Presentamos por primera vez la distribución espacial de los flujos de las LEC de [Ne III], [Cl III], aurales de [S II], [N II] y [O III], así como de las LR débiles de C II y O II. De la comparación de los mapas de intensidades de líneas de emisión nebulares y aurales para un mismo ión encontramos que las líneas nebulares de [N II] y [S II] están fuertemente afectadas por desexcitación colisional en las regiones de mayor densidad (Orión-S y grumos cercanos al Trapecio). Por último, hemos determinado las condiciones físicas de esta región central a partir de varios diagnósticos de LEC: [N II] y [O III] para la temperatura así como [S II], [O II] y [Cl III] para la densidad electrónica, siendo la primera vez que se presentan mapas de la distribución espacial de los dos últimos diagnósticos.

# La Tierra a lo largo del tiempo como ejemplo para la caracterización de exoplanetas habitables

Autora: Esther Sanromá Ramos  
(sanromae@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Enric Pallé

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 21 de enero de 2014

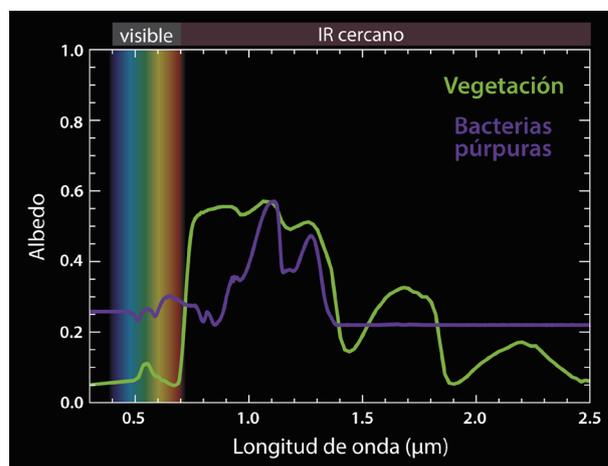
La búsqueda de planetas extrasolares se ha convertido en uno de los campos de mayor interés de la Astrofísica en los últimos años. Desde el descubrimiento del primer planeta fuera del Sistema Solar orbitando una estrella de secuencia principal en 1995, el número de planetas detectados ha crecido exponencialmente. Aunque la mayoría de los exoplanetas encontrados hasta ahora son gigantes gaseosos, en los últimos años hemos sido capaces de detectar planetas cada vez más pequeños, siendo algunos de ellos supertierras que orbitan cerca o incluso dentro de la zona de habitabilidad de sus estrellas. Además, hemos llegado a detectar planetas tan pequeños como La Tierra, e incluso algunos de tamaños similares al de La Luna, por lo que la detección de planetas tipo Tierra parece ser una cuestión de tiempo.

El estudio de La Tierra es una herramienta fundamental tanto para entender e interpretar futuras observaciones de planetas similares al nuestro, como para la caracterización y la búsqueda de vida en otros planetas. En los últimos años, diversos estudios tanto teóricos como observacionales se han llevado a cabo con la finalidad de determinar cómo se verían las características de nuestro planeta si éste fuera visto por un observador extrasolar. En la presente tesis hemos querido ampliar dichos estudios a escalas temporales de millones de años, a lo largo de la evolución terrestre, estudiando cómo diferentes distribuciones continentales, niveles de nubosidad, composiciones atmosféricas y/o la evolución de distintas formas de vida, podrían haber afectado las características fotométricas y espectroscópicas de nuestro planeta.

Las nubes, uno de los parámetros más importantes en el balance energético de nuestro planeta, están asociadas a escalas globales a la orografía y a las corrientes marinas. Por ello, en la primera parte de la presente tesis hemos tratado de estudiar el comportamiento a gran escala de la nubosidad terrestre, con la finalidad de utilizar este conocimiento para reconstruir la posible distribución de la nubosidad en épocas pasadas de La Tierra. El albedo, que está intrínsecamente relacionado con la nubosidad, es otro de los parámetros más importantes en el balance energético del planeta ya que influye directamente en la temperatura superficial. En esta tesis hemos utilizado un modelo de albedo para estudiar la variabilidad fotométrica de nuestro planeta a lo largo de millones de años, cuando la distribución de los continentes era muy distinta a la que conocemos en la actualidad.

Con el objetivo de ampliar el estudio fotométrico llevado a cabo en la primera parte de la tesis, en la segunda parte de la misma hemos estudiado las características espectroscópicas de nuestro planeta. Para ello, hemos utilizado un código de transporte radiativo con la finalidad de generar una base de datos de espectros unidimensionales que cubren un amplio rango de tipos de superficie, ángulos de incidencia y de observación, nubes, aerosoles y composición atmosférica, para luego poder calcular observaciones de La Tierra integradas en el disco para una gran variedad de geometrías.

Finalmente, esta base espectral de datos ha sido utilizada para poder estudiar el posible efecto que la aparición de vida en los océanos y sobre las superficies continentales podría haber tenido en el espectro de nuestro planeta. A lo largo de la evolución terrestre, han tenido lugar diversos eventos tales como la colonización de las bacterias púrpuras –uno de los primeros seres fotosintéticos que poblaron nuestro planeta– o la evolución de los mantos microbianos y de las plantas sobre los continentes. En esta tesis se muestra cómo la presencia de distintos tipos de vida sobre las superficies continentales, podrían detectarse y caracterizarse mediante el estudio de la luz reflejada por nuestro planeta.



Comparación entre el espectro de reflexión de la vegetación (verde) y el de las bacterias púrpuras (morado), desde el visible hasta el infrarrojo cercano. La forma en la que la luz es reflejada por estos dos tipos de organismos es muy distinta debido a su diferente composición. En el caso de las plantas, la cantidad de luz reflejada presenta un considerable aumento en torno a 0.7 micras. Varios estudios han demostrado que este aumento de la reflectividad en el espectro de la vegetación hace posible la identificación de la presencia de plantas en La Tierra, mediante el estudio del espectro de nuestro planeta. Como se puede ver en la curva morada, las bacterias púrpuras también muestran un aumento en reflectividad, en torno a 1 micra, por lo que es de esperar que la presencia de estas bacterias en un planeta extrasolar similar al nuestro sea también identificable mediante el uso de observaciones remotas.

(Autor de la imagen: Gabriel Pérez -SMM (IAC) )

## Estudio de nebulosas planetarias con emisión difusa en rayos X

Autora: Nieves Ruiz Fernández (nieves@iaa.es)

Tesis doctoral dirigida por:

Martín A. Guerrero Roncel

Centro: Universidad de Granada

Fecha de lectura: 21 de marzo de 2014

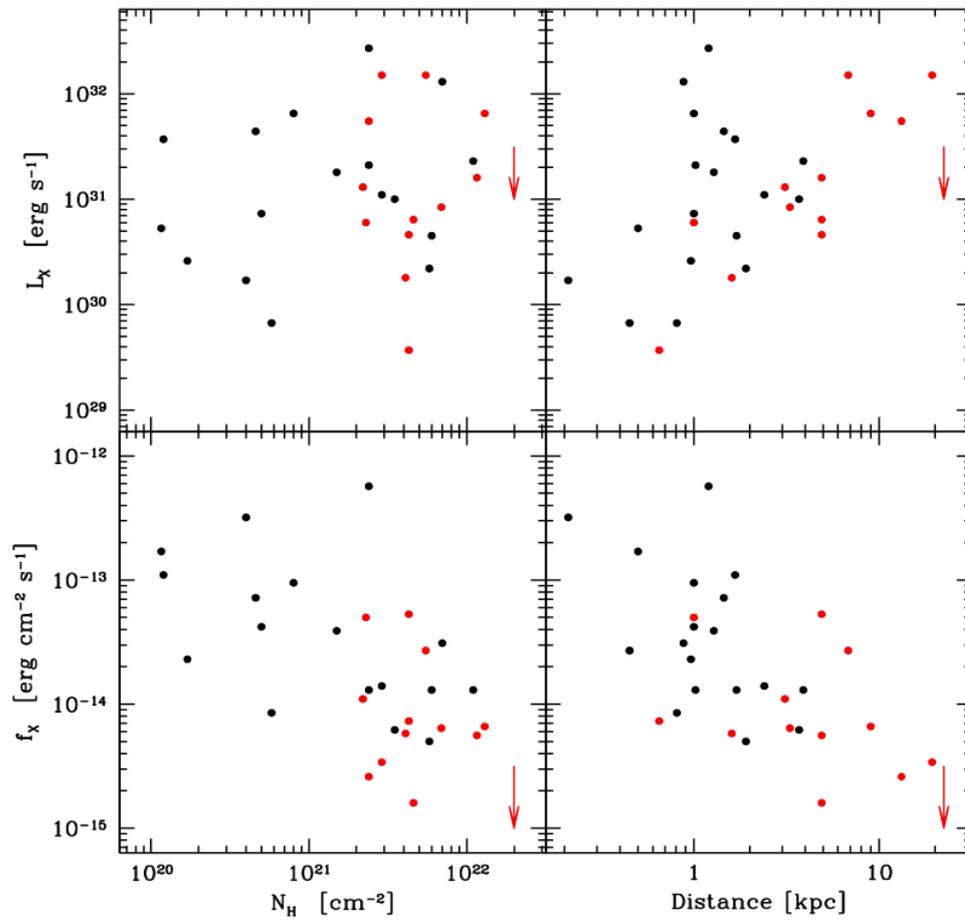
En esta tesis se ha recopilado información de aquellas nebulosas planetarias (PNe) detectadas por Chandra y XMM-Newton. Para aquellas fuentes cuyos espectros permitían un ajuste espectral, este se llevó a cabo, calculándose así sus flujos observados y luminosidades intrínsecas en el rango entre 0.3 y 2.0 keV. Finalmente, se han investigado aquellas PNe para las que ni Chandra ni XMM-Newton detectan emisión difusa en rayos X. En estos casos, se ha usado la cota superior del número de cuentas por unidad de tiempo para establecer cotas superiores para el flujo y la luminosidad. Un primer análisis revela que la sensibilidad de las observaciones de las fuentes no detectadas es, al menos, similar a la de aquellas que sí se detectan. Por consiguiente, el nivel de la emisión de las fuentes que no se detectan es realmente menor que el de aquellas que sí se detectan. Se encuentra que, en general, las fuentes que no se detectan presentan mayores valores de la extinción y están situadas a distancias mayores. Se han podido establecer límites para esos parámetros con la presente tecnología de telescopios y detectores de rayos X, de modo que puede afirmarse que la detectabilidad de fuentes absorbidas por columnas de hidrógeno,  $N_H$ , superiores a  $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  y a distancias superiores a 3 kpc es altamente improbable. Por el contrario, aquellas fuentes que tienen menores extinciones y están a menor distancia son sistemáticamente detectadas.

También se ha planteado el estudio de la región ionizada y de la "burbuja caliente" en la PN NGC 3242. Se trata de una fuente con observaciones en rayos X de XMM-Newton y ópticas del HST cuya estructura de doble capa revela la interacción entre el viento estelar rápido y el material eyectado durante la fase AGB. La temperatura del gas caliente es relativamente baja,  $T_x = 2.35 \times 10^6 \text{ K}$  en comparación con la de  $\sim 6 \times 10^7 \text{ K}$  que se esperaría en el choque adiabático del viento estelar de  $2,400 \text{ km s}^{-1}$ . Esto sugiere que ha existido un proceso de conducción de calor entre la burbuja caliente y la región nebulosa. Sin embargo, la composición química del gas emisor en rayos X presenta valores cercanos a los del viento estelar, lo que resulta paradójico. Se han comparado las propiedades físicas ( $N_e$ ,  $T_e$ ,  $P_{\text{th}}$ ) del gas en la burbuja caliente con las del gas en las capas nebulares. Para ello se ha asumido una temperatura electrónica constante para cada capa visible en el óptico con el fin de determinar su presión térmica. Al comparar con la presión del gas caliente emisor en rayos X contenido en la burbuja central, se encuentra que, para que exista equilibrio hidrostático, debe asumirse un factor de llenado del plasma emisor en rayos X inferior al 5%, lo que indica una capa muy delgada. El ancho

espesor de la capa interna,  $\sim 15\%$  de su radio, y la similitud entre las presiones térmicas del gas caliente y de dicha capa podrían indicar la despresurización de la burbuja caliente y el fin de la fase de evolución nebulosa dominada por la interacción de vientos (Ruiz et al. 2011).

Se han estudiado tres PNe que presentan OVI nebuloso, IC 418, NGC 2392 y NGC 6826, y en ellas se ha detectado emisión difusa en rayos X por Chandra que está confinada dentro de la capa óptica. La presencia de OVI confirma la existencia de una capa de conducción que delimita la "burbuja caliente". La estructura física de estas PNe es por lo tanto consistente con la que predicen los modelos de burbujas calientes creadas por vientos estelares cuando se incluyen fenómenos de conducción de calor. Se encuentra una aparente anti-correlación entre la temperatura en rayos X y el radio de la burbuja caliente, pero vemos que la causa de esta anti-correlación debe asociarse a las diferentes masas estelares de los progenitores más que a la evolución nebulosa. Las PNe con estrellas centrales más masivas son capaces de producir rayos X emitiendo en el interior de burbujas calientes más pequeñas y de mayor brillo superficial. Finalmente, comprobamos que el viento estelar es capaz de suministrar la energía suficiente para la emisión de rayos X, excepto para el caso de NGC 2392. El viento estelar de esta fuente tiene baja velocidad y baja tasa de pérdida de masa, por lo que la luminosidad mecánica del viento es baja. Por esto se sugiere que puede existir una compañera binaria que proporciona la energía adicional necesaria para el gas caliente, aunque ésta no se ha detectado aún de forma directa (Ruiz et al. 2013).

Por último, para investigar las propiedades espectrales y espaciales de la emisión de rayos X suaves detectada por ROSAT en Abell 30, hemos obtenido nuevas observaciones con Chandra y XMM Newton. La emisión de rayos X de Abell 30 se puede separar en dos componentes: una fuente puntual coincidente con su estrella central y emisión difusa asociada a los grumos pobres en hidrógeno y a la estructura con forma de pétalos de trébol en el interior de la vieja nebulosa esférica. Se han determinado los parámetros estelares y propiedades del viento en la estrella central, ajustando su espectro óptico y UV mediante modelos no-LTE. El origen de la fuente puntual con emisión en rayos X en la estrella central de Abell 30 no está nada claro. Es poco probable que sea el resultado de choques dentro del viento estelar, como ocurre en estrellas OB, o de emisión fotosférica de la estrella central. El desarrollo de una burbuja caliente en torno a la estrella podría explicar esa emisión, aunque su pequeño tamaño es desconcertante. Por otro lado, la distribución espacial y las propiedades espectrales de la emisión difusa en rayos X sugiere que ésta es generada durante la etapa en la que la estrella retornó al inicio de la traza post-AGB, cuando rápidos vientos estelares interactuaron con el material altamente procesado expulsado durante el evento VLTP. Choques dentro del plasma caliente pueden contribuir a esta emisión, ya que el material de los grumos es fotoevaporado y barrido por el viento estelar, al tiempo que éste toma parte de esta masa para aumentar su densidad, aunque, por conservación de momento, su velocidad disminuye. También las reacciones de intercambio de carga entre los iones del viento estelar y el material neutro y/o ionizado pueden contribuir a la producción de emisión difusa en rayos X (Guerrero et al. 2012).



Luminosidad intrínseca (arriba) y flujo observado (abajo) en el rango 0.3-2.0 keV en función de los valores de la columna de hidrógeno,  $N_H$  (izquierda) y distancia (derecha) de las PNe detectadas en rayos X (puntos negros) y de las no detectadas (puntos rojos). Los valores de luminosidad y flujos de las fuentes no detectadas son cotas superiores.



**Sociedad Española  
de Astronomía**

Universidad de Barcelona,  
Facultad de Física  
Av. Martí Franquès, 1  
Barcelona 08028

Tfno: +34 91 394 5249  
Fax: +34 91 394 5051