



# Boletín

Sociedad  
Española de  
Astronomía

ISSN 1575-3476  
Depósito legal M-18326-1999  
Número 7, enero 2002

## Contenidos

<b>Editorial</b> .....	1
<b>Sobre las listas de correo</b> ..... <i>La Comisión de Información</i>	2
<b>Comisión Nacional de Astronomía</b> .....	2
<b>Estudio de la producción científica del Personal Investigador en Formación y Perfeccionamiento: Ciencias y Tecnologías Físicas y Astrofísica</b> ..... <i>Olga Suárez Fernández</i> <i>Sergio Lourenso Prieto</i> <i>Santiago Bequería Portugués</i>	4
<b>El Gran Telescopio Canarias. El espejo secundario: un problema preocupante</b> ..... <i>José Miguel Rodríguez Espinosa, Pedro Álvarez Martín</i>	7
<b>Planetarios para divulgar Astronomía... y más</b> ..... <i>Javier Armentia Fructuoso</i>	9
<b>Las galaxias enanas compactas azules</b> ..... <i>José Manuel Vélchez Medina</i> <i>Luz-Marina Cairós Barreto</i>	11
<b>Tesis doctorales</b> .....	22
Las coronas estelares de los sistemas binarios activos..... <i>Jorge Sanz Forcada</i>	22
The circumstellar gas evolution from the AGB to the Planetary Nebula phase..... <i>Eva Villaver Sobrino</i>	23
Estudio del efecto Evershed y de la estructura fina del campo magnético en la penumbra de las manchas solares..... <i>Eduardo J. Vela Villahoz</i>	24
<b>Reseñas de libros</b> .....	25
Astronomía Fundamental..... <i>Xavier Barcons, Francisco J. Carrera</i>	25
Dos diccionarios de Astronomía..... <i>David Galadí-Enríquez</i>	25

### **Comité Editorial**

Agustín Sánchez-Lavega (Coordinador)

wupsalaa@bi.ehu.es

Antonio Alberdi Odriozola

antxon@iaa.es

Fernando Moreno Insertis

fmi@ll.iac.es

Rafael Rebolo López

rrl@ll.iac.es

Jordi Torra Roca

jordi@am.ub.es

Jaime Zamorano Calvo

jaz@astrax.fis.ucm.es

### **Editores**

Benjamín Montesinos

bmm@laeff.esa.es

Xavier Luri

xluri@am.ub.es

Ignasi Ribas

iribas@am.ub.es

Jaime Zamorano

jaz@astrax.fis.ucm.es

### **Sociedad Española de Astronomía**

<http://sea.am.ub.es>

Comisión de Información

[cinfo@sea.am.ub.es](mailto:cinfo@sea.am.ub.es)

## Editorial

En el año 2002 se celebra el décimo aniversario de la fundación de la Sociedad Española de Astronomía. La SEA acoge en este momento a la gran mayoría de los astrónomos españoles. Desde la Comisión de Información, a través de los medios que hemos puesto a disposición de todos –Boletín, página web y listas de correo– hemos procurado actuar de aglutinante de los miembros de la Sociedad, creemos modestamente que con éxito. La intención es que la SEA no represente algo ajeno, sino que cada uno de sus socios se sienta parte de la misma y la haga suya como instrumento de comunicación, discusión y cooperación científica. La participación en las diversas comisiones está abierta a todos. Y nos gustaría decir de forma explícita que la SEA es especialmente de los jóvenes, que contando con medios técnicos a su alcance cada vez más sofisticados, son el futuro de la Astronomía en España en las próximas décadas.

Las cuatro Reuniones Científicas bienales que se han organizado desde 1994 (Alicante, San Sebastián, La Laguna y Santiago de Compostela) son otro de los pilares que la Comisión Científica de la SEA ha cuidado al máximo, potenciando cada vez más la participación de los miembros, y facilitando a los *junior* un foro donde darse a conocer, exponer sus resultados ante la comunidad astronómica y contactar con colegas que trabajen en campos afines. La V Reunión Científica se celebrará en Toledo del 9 al 13 de septiembre de 2002. La información disponible y el formulario de preinscripción se encuentran en la página <http://www.ucm.es/info/sea5/>.

El año 2001 ha visto la primera convocatoria, de las tres previstas, del Programa Ramón y Cajal. Al área de Física y Ciencias del Espacio, correspondieron 79 contratos, de los cuales el 25% fueron a parar a Astrónomos. Es evidente que la demanda superó a la oferta, pero el paso ha de ser considerado como positivo, aunque la Administración no debería quedarse dormida en los laureles sino realizar una política a medio y largo plazo para fortificar el tejido científico del país. No es menos cierto que parte de la responsabilidad de que la Administración no se quede varada, corresponde a los propios científicos, que hemos de procurar convencer a los responsables políticos y a los gestores, de la necesidad de invertir recursos en ciencia básica y experimental, y de colaborar en proyectos e instituciones internacionales para estar en una buena posición a la hora de obtener retornos científicos e industriales.

Y como las casas hay que construirlas desde los cimientos, a los primeros que hay que cuidar, para que no abandonen a las primeras de cambio, es a los estudiantes graduados que comienzan su carrera investigadora. Gracias a los esfuerzos, no siempre valorados en su justa medida, de la Federación de Jóvenes Investigadores, se están consiguiendo poco a poco logros para los becarios predoctorales que mejorarán su situación, como

por ejemplo, el derecho a las prestaciones sanitarias de la Seguridad Social. En algunas autonomías se está llegando incluso más lejos. Este es un claro ejemplo de que si no se informa, motiva –¡y protesta!– a las autoridades, es difícil que acudan a tu puerta a ofrecerte algo. En este número del Boletín, como hicimos en el anterior, les damos un espacio para que nos informen de sus actividades. El informe que nos presentan sobre la producción científica del personal investigador en formación y perfeccionamiento es muy interesante.

Con respecto al futuro, tenemos a las puertas la puesta en funcionamiento del GTC y el lanzamiento de la misión *INTEGRAL* de la Agencia Espacial Europea, en la que un grupo español ha coordinado uno de los instrumentos. Y es evidente que a medio plazo la adhesión a ESO es uno de los puntos clave para la Astronomía española, una asignatura pendiente y un muy buen banco de pruebas no sólo por el propio fin en sí, sino por el recorrido hacia esa meta: a veces el viaje es tanto o más importante que el punto de destino. No es ningún secreto que en muchas ocasiones la información no fluye hacia la gran mayoría de la comunidad de Astrónomos como sería deseable y eso provoca que las políticas de hechos consumados causen malestar, si esa comunidad no ha sido informada y su opinión solicitada. No tenemos disculpa para argüir que no disponemos de los medios necesarios para consultar y discutir de una forma ágil unos con otros. Si entre todos podemos conseguir, y el esfuerzo creemos que no es desorbitado, que la transparencia sea una de las características de nuestro colectivo, habremos avanzado mucho más de lo que uno se imagina.

Los editores

---

## Sobre las listas de correo

Partiendo de una sugerencia de nuestro colega Jon Marcaide se ha llevado a cabo una reestructuración del sistema de listas de correo de la SEA con la creación de una lista específica para anuncios. La estructura resultante es la siguiente:

### Lista de noticias

Esta lista se mantiene para la distribución de información oficial de la SEA. No se aceptarán anuncios de ningún tipo salvo los relacionados directamente con la SEA.

La suscripción a esta lista está restringida a los miembros de la SEA.

### Lista de discusión

Se mantiene esta lista como foro abierto de discusión sobre temas de interés general. Dado que en esta lista los mensajes distribuidos no están sometidos a ningún control, depende de vosotros que su uso se ajuste a este propósito. Por favor, evitad mandar anuncios a la lista de discusión.

La suscripción a esta lista está restringida a los miembros de la SEA.

### Lista de anuncios

Esta lista de nueva creación está dedicada a la difusión de anuncios de interés general (plazas, congresos, etc).

Al contrario que las listas anteriores, se ha decidido que esta lista esté abierta a toda la comunidad astronómica (nacional e internacional) como herramienta de difusión de información de interés general. Os invitamos a informar de su existencia a aquellos colegas que puedan estar interesados en ella.

Aprovechamos para recordaros que la SEA mantiene otras listas dedicadas a temas específicos. Podeis encontrar información sobre ellas, así como instrucciones para daros de alta o de baja de cualquiera de las listas, en las paginas de la SEA (<http://sea.am.ub.es>).

Finalmente, os recordamos que para un correcto funcionamiento de las listas y de la SEA es importante que actualiceis vuestra dirección de correo electrónico en caso de cambios. Para ello podeis contactar con la Secretaría de la SEA, [secretaria@sea.am.ub.es](mailto:secretaria@sea.am.ub.es)

La Comisión de Información

## Comisión Nacional de Astronomía

El pasado mes de junio, el Real Decreto 663/2001 modificó el reglamento de la Comisión Nacional de Astronomía, vigente desde 1989. La primera reunión de los vocales natos, entre los que se cuenta el presidente de la SEA, tuvo lugar el 20 de septiembre de 2001, y en ella se procedió a elegir a los vocales por áreas.

La nueva Comisión Nacional de Astronomía se ha reunido por primera vez el 29 de enero de 2002 en su nueva composición:

### COMISIÓN NACIONAL DE ASTRONOMÍA

**José Antonio Canas Torres** (presidente)

*Director General del Instituto Geográfico Nacional*

**Rolf Tarrach Siegel** (vicepresidente)

*Presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

**Rafael Bachiller García** (secretario)

*Observatorio Astronómico Nacional*

### VOCALES NATOS

**Fernando Cascales Moreno** (director del INTA)

**Vicente Gómez Domínguez** (delegado de la ESA)

**Francisco Sánchez Martínez** (director del IAC)

**Jesús Gómez González** (director del OAN)

**Rafael Boloix Carlos-Roca** (director del ROA)

**Rafael Rodrigo Montero** (director del IAA)

**Eduard Salvador Solé** (presidente de la SEA)

### VOCALES POR ÁREAS CIENTÍFICAS

**Jesús Martín-Pintado Martín** (Física Estelar y Medio Interestelar)

*Observatorio Astronómico Nacional*

**José Luis Ballester Mortes** (Sol y Sistema Solar)

*Universitat de Ses Illes Balears*

**Rosa Domínguez Tenreiro** (Cosmología)

*Universidad Autónoma de Madrid*

**Jordi Torra Roca** (Astronomía de posición)

*Universitat de Barcelona*

**Carlos E.L. Martínez Roger** (Instrumentación)

*Instituto de Astrofísica de Canarias*

**José Miguel Mas Hesse** (Espacio)

*LAEFF*

**J.M. Vilchez Medina** (Galaxias)

*Instituto de Astrofísica de Andalucía*

Entre los acuerdos tomados en esta segunda reunión, figura el de hacer público un resumen de los temas tratados. Esperamos que, en breve, podáis ver ese resumen en las páginas de la SEA.



La Sociedad Española de Astronomía (SEA) anuncia la celebración de la V Reunión Científica, junto con la Asamblea Ordinaria, en Toledo, del 9 al 13 de septiembre de 2002. Ambos eventos coinciden con el décimo aniversario de la SEA.

Los Comités Científico y Local solicitan información de aquellos Astrónomos interesados en asistir, que les será de gran ayuda para configurar el programa científico y organizar todos los aspectos logísticos en Toledo. Conforme vayamos teniendo información actualizada la iremos haciendo pública en la página <http://www.ucm.es/info/sea5/>. Os agradeceríamos que nos enviaseis el formulario de preinscripción cuanto antes. La SEA anima especialmente a los miembros júnior a participar en la Reunión Científica y a presentar sus contribuciones, tanto en forma oral como de póster.

Esperamos veros en Toledo. Gracias de antemano a todos.

Para más información:

Comités Local y Científico: [sea5@laeff.esa.es](mailto:sea5@laeff.esa.es)

<http://www.ucm.es/info/sea5/>

# Estudio de la producción científica del Personal Investigador en Formación y Perfeccionamiento: Ciencias y Tecnologías Físicas y Astrofísica

## Introducción

La Federación de Jóvenes Investigadores/Precarios<sup>1</sup> (FJI/Precarios), por medio de su Comisión de Documentación, ha realizado un informe sobre la producción científica del Personal Investigador en Formación y Perfeccionamiento (PIFP) en España. El objetivo de este informe es reivindicar, mediante datos y cifras concretas, la situación laboral de este colectivo. Utilizando criterios similares a las empleados por la Administración para evaluar la actividad investigadora de sus investigadores de plantilla, este trabajo demuestra que la producción científica del PIFP, pre y postdoc, no sólo es comparable a la de otros estamentos del sistema de investigación español, sino que supone una aportación decisiva al mismo.

En este artículo presentamos un extracto de dicho informe, donde hemos recogido, por una parte, los datos pertenecientes a los departamentos del área de conocimiento de Ciencias y Tecnologías Físicas y, por otra, los de los centros y departamentos de Astrofísica.

## Consideraciones generales

La base de datos en que se fundamenta el presente estudio se ha elaborado a partir de una encuesta<sup>2</sup> realizada entre abril y septiembre de 2001 por miembros de la FJI. La unidad básica de dicha encuesta ha sido el Departamento, ya pertenezca a una Universidad o a alguno de los diversos organismos de investigación dependientes del Estado, de las Comunidades Autónomas o administraciones locales. Para obtener los datos correspondientes a cada Departamento, se han utilizado, en casi todos los casos, las memorias anuales de la actividad investigadora de los respectivos centros.

El informe completo está disponible en

<http://www.precarios.org/docs.php3>

Los datos se refieren a los años naturales 1999 o 2000, o bien a los cursos académicos 1998/1999 o 1999/2000. Por tanto, la unidad de muestreo es el departamento-año. Con respecto al personal investigador, se utilizan los siguientes términos:

- Personal Investigador de Plantilla (PIP): incluye a todos los investigadores de plantilla (CSIC y

OPIs), profesores titulares y adjuntos (Universidad), etc; se excluye a toda persona con título de Doctor que no forme parte de la plantilla del Centro/Departamento (relación contractual o funcionarios), como personal “vinculado” o “habilitado”, investigadores “free-lance”, etc.

- Personal Investigador en Formación y Perfeccionamiento (PIFP): incluye a todos los investigadores no incluidos en las plantillas de los centros, y que son considerados por la Administración como estudiantes de posgrado; se desglosan en:

- a) Personal Investigador en Formación y Perfeccionamiento – Investigadores Predoctorales (PIFP-pre): becarios, contratados con cargo a proyecto, contratados por obra o servicio, contratos de formación, etc, que estén realizando su Tesis Doctoral u otras tareas de investigación. No se tendrán en cuenta contratos de obra o para cometidos concretos, contratos de formación del INEM, etc, que no realizan trabajo de investigación, pero sí aquellos que realizan su Tesis u otras tareas de investigación sin disponer de financiación.
- b) Personal Investigador en Formación y Perfeccionamiento – Investigadores Postdoctorales (PIFP-post): becarios y contratados por obra o servicio con título de Doctor.

La unidad básica de producción científica considerada en este estudio es la *contribución*. Una contribución es cada una de las firmas que suscriben la autoría de un artículo en una publicación científica. Así, siempre que los artículos estén firmados por más de una persona, habrá más contribuciones que artículos. El utilizar la contribución evita el tener que asignar directamente la autoría del artículo a uno sólo de sus autores (normalmente el primero), y permite un mejor manejo de los casos en que investigadores pertenecientes a colectivos diferentes (PIP, PIFP-pre y PIFP-post) suscriben un mismo artículo. No obstante, sí se ha hecho distinción entre el primer firmante de un artículo y los demás firmantes, pues se ha visto que en la mayoría de las disciplinas es práctica común el que sea la persona con mayor responsabilidad en el trabajo, o la que se ha encargado de su redacción la que firme en primer lugar.

Sólo se han tenido en consideración los artículos publicados en revistas internacionales que aparecen en el *Science Citation Index*.

## Muestreo

La submuestra que hemos recogido para este artículo corresponde a los datos obtenidos de los siguientes Institutos y Departamentos: Instituto de Física de Cantabria (IFCA, CSIC-Universidad de Cantabria); Departamento de Física Teórica de la Materia Condensada, UAM; Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos, Universidad de Zaragoza; Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de

<sup>1</sup><http://www.precarios.org>

<sup>2</sup>El formulario y las condiciones de la encuesta pueden consultarse en <http://www.iac.es/galeria/slouren/CPro/cpro.html>

PI	Ciencias y Tecnologías Físicas		
	NI	C1	CT
PIP	199 (44%)	73 (38%)	378 (59%)
PIF-pre	179 (39%)	61 (32%)	117 (19%)
PIF-post	75 (17%)	57 (30%)	143 (22%)

PI	Astrofísica		
	NI	C1	CT
PIP	76 (35%)	33 (30%)	157 (47%)
PIF-pre	90 (40%)	39 (35%)	71 (21%)
PIF-post	54 (25%)	38 (35%)	106 (32%)

**Tabla 1.** Distribución del personal investigador y producción científica: centros del Area de Ciencias y Tecnologías Físicas (arriba) y de Astrofísica (abajo), presentes en el “Estudio de Productividad”. PI: Personal Investigador, NI: Número de Investigadores, C1: Número de contribuciones-año como primer autor, CT: Número de contribuciones-año totales.

Zaragoza; Departamento de Física Aplicada, Universidad Politécnica de Catalunya; Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) / Departamento de Astrofísica, Universidad de La Laguna; Departamento d’Astronomía i Meteorologia, Universidad de Barcelona. Para los datos de Astrofísica, se han tenido en cuenta estos dos últimos centros/departamentos, además del IFCA, aunque hay que notar que el personal de dicho centro se reparte entre Astrofísica y Estructura de la Materia. Siendo la muestra de centros de Astrofísica pequeña, engloba sin embargo aproximadamente a cerca de un 40% del total del censo de astrónomos españoles<sup>3</sup>.

### Datos básicos

En la Tabla 1 mostramos los datos que se han obtenido de dichos departamentos. Para hacer un análisis de estos datos, se han definido los siguientes índices:

- El Índice de Productividad (IP) es el número medio de contribuciones por investigador y año ( $IP = \text{número contribuciones-año} / \text{número investigadores}$ ).
- El Índice de Productividad como primera firma (IP1) es el número de contribuciones como primera firma por investigador y año ( $IP1 = \text{número contribuciones primera firma-año} / \text{número investigadores}$ ). Como se ha dicho, en la mayoría de las disciplinas es costumbre reservar la primera firma del artículo para el investigador que ha tenido mayor responsabilidad en la investigación, por lo que el IP1 puede considerarse el mejor baremo de la productividad investigadora.
- El Índice de Productividad Relativo (IPR) es el número medio de contribuciones como primera firma por cada contribución ( $IPR = \text{número contri-$

PI	Ciencias y Tecnologías Físicas		
	IP	IP1	IPR
PIP	1.90	0.37	0.19
PIF-pre	0.65	0.34	0.52
PIF-post	1.91	0.76	0.40

PI	Astrofísica		
	IP	IP1	IPR
PIP	2.07	0.43	0.21
PIF-pre	0.79	0.43	0.55
PIF-post	1.96	0.70	0.36

**Tabla 2.** Índices de contribución científica: centros del Area de Ciencias y Tecnologías Físicas (arriba) y de Astrofísica (abajo), presentes en el “Estudio de Productividad”.

buciones primera firma-año / número contribuciones-año =  $IP1/IP$ ).

Utilizando estos índices se obtienen los resultados que muestra la Tabla 2 para PIP, PIF-pre, PIF-post.

### Conclusiones

En primer lugar, cabe destacar el hecho de que el 61.8% de los artículos científicos españoles en revistas internacionales de impacto, en esta muestra de departamentos de Física, están firmados en primer lugar por un Investigador en Formación o Perfeccionamiento. En concreto, el 31.9% de los artículos presentan una primera firma de PIFP-pre (no doctores) y el 29.8% de PIFP-post (doctores). En Astrofísica, el PIFP contribuye como primer autor al 70% de los artículos.

Si el Índice de Productividad como primer autor del Personal Investigador de Plantilla es de 0.37 contribuciones por persona y año, el Personal Investigador en Formación y Perfeccionamiento alcanza valores perfectamente comparables: 0.34 en el caso de los investigadores predoctorales y 0.76 para los postdoctorales.

Si en el índice de productividad los tres colectivos presentan, con matices, una situación similar, existen en cambio diferencias en las pautas de publicación. Así, el Índice de Productividad Relativo del PIP es considerablemente menor que el del PIFP: 0.19 contribuciones como primer autor por cada contribución, frente a las 0.52 del PIFP-pre y las 0.40 del PIFP-post. Eso hace que el Índice de Productividad general, que tiene en cuenta todas las contribuciones y no sólo las primeras firmas, sea más elevado en el caso del PIP: 1.90 contribuciones por PIP y año, 0.65 para el PIFP-pre y 1.91 para el PIFP-post.

En Astrofísica el comportamiento es muy parecido. Es decir, para el PIFP es mucho menos frecuente firmar un artículo en segundo lugar que para el PIP. Este hecho se puede explicar a partir de la división de trabajos que es habitual en los grupos de investigación. Estos

<sup>3</sup>Boletín SEA, vol. 1, número 1, nov. 1998

suelen tener una estructura piramidal en la que el jefe del grupo ejerce su supervisión sobre todos los trabajos del mismo, en virtud de la cual firma en todos los trabajos, mientras que la base formada por investigadores PIFP sólo tiene participación en un número limitado de trabajos de los que son directos responsables.

Hay que notar algunas puntualizaciones en este análisis: i) no se está valorando la labor docente del PIP (sobre todo) y del PIFP; ii) no se está considerando la contribución del PIFP en otras tareas ajenas a la producción científica propiamente dicha, como soporte de observaciones en los telescopios, soporte técnico, etc. Sin embargo, hay que considerar que el número de publicaciones en revistas internacionales con árbitro es, como se sabe, el criterio principal<sup>4</sup> usado por los organismos o comisiones de evaluación de proyectos científicos, como la CNEAI (Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora) en los propios centros, para evaluar la actividad investigadora. Las conclusiones fundamentales de este estudio se mantienen, independientemente de los índices empleados.

En resumen, estos resultados, así como los del estudio de productividad en su conjunto, demuestran que dentro del trabajo en equipo que supone la labor investigadora la contribución del PIFP es decisiva; y que no es cierto que su labor tenga, como ha querido hacer ver el Gobierno<sup>5</sup>, un carácter 'exclusivamente formativo' o sea 'en su exclusivo beneficio'. Gracias a estudios como éste se está comenzando a reconocer la labor productiva del PIFP y, con ello, sus derechos y deberes como trabajadores.

Olga Suárez Fernández            [olga@laeff.esa.es](mailto:olga@laeff.esa.es)

Sergio Lourenso Prieto            [slouren@ll.iac.es](mailto:slouren@ll.iac.es)

Santiago Beguería Portugués   [sbegueria@ipe.csic.es](mailto:sbegueria@ipe.csic.es)

---

<sup>4</sup><http://www.univ.mecd.es/cneai/criterios.htm>

<sup>5</sup>[http://www.congreso.es/public\\_oficiales/L7/CONG/DS/CO/CO\\_136.PDF](http://www.congreso.es/public_oficiales/L7/CONG/DS/CO/CO_136.PDF), DS Congreso, Com. de CyT, pg.3933

## El Gran Telescopio Canarias. El espejo secundario: un problema preocupante

### Resumen

*La construcción del Gran Telescopio Canarias (GTC) avanza visiblemente a buen ritmo. Aunque no todo este avance sigue dentro de las fechas planificadas: el espejo secundario, basado en un sustrato de berilio, plantea una incógnita preocupante por las dificultades que están apareciendo en su fabricación.*

*La participación internacional en el proyecto es ya una realidad y las comunidades astronómicas con acceso garantizado a este telescopio preparan sus planes para la explotación científica del GTC.*

Habiendo transcurrido seis meses desde el artículo presentado en el anterior boletín de nuestra Sociedad, el progreso en la construcción del GTC es evidente para todos los que consultamos con frecuencia sus páginas web (<http://www.gtc.iac.es/>). A través de las imágenes de la cámara en el ORM hemos podido ver a lo largo de estos meses cómo ha progresado la instalación de la cúpula (Figura 1). Actualmente está próximo a completarse su recubrimiento exterior y la colocación de las compuertas de observación. Las condiciones meteorológicas han comenzado a estropearse en el Observatorio y se trabaja con ahínco para tratar de cerrar la cúpula antes de la entrada del invierno.

También ha sido evidente el progreso en el desarrollo de la obra civil, donde hemos visto cómo se levantaba el edificio anexo y, aunque no accesible por la cámara web, el edificio auxiliar. En el primero se ubicarán la sala de control, laboratorios, talleres y otros servicios directos del telescopio; mientras que en el segundo, más alejado del telescopio, se ubicarán las instala-



**Fig. 1.** Vista del edificio del GTC en el ORM donde se aprecia el estado de avance en el montaje de la cúpula y el edificio anexo cerrado y cubierto. Fotografía tomada el 13 de noviembre de 2001.



**Fig. 2.** La estructura del telescopio montada en la fábrica de Tarragona. Fotografía tomada el 13 de septiembre de 2001.

ciones generadoras de calor y vibraciones tales como las plantas de refrigeración, grupo electrógeno, transformadores, etc. Muchas de estas instalaciones se están realizando actualmente.

En Tarragona, la estructura del telescopio está completamente montada, como muestra la Figura 2. Actualmente se está procediendo al control dimensional de esta estructura, previo al montaje y pruebas de los mecanismos de movimiento en altura: cojinetes hidrostáticos, motores y codificadores. En este ensamblaje en fábrica no se montan los mecanismos de movimiento en acimut cuya pista de rodadura se está actualmente mecanizando. Como en el caso de la cúpula, este montaje en fábrica ha de permitir detectar posibles defectos antes del envío al ORM, así como adquirir una gran experiencia previa al montaje en el observatorio.

Prácticamente la totalidad de los bloques de ZERODUR<sup>TM</sup> ya han sido suministrados por SCHOTT (Alemania). El pulido de estos bloques continúa progresando en París, por parte de SAGEM; el primero de estos segmentos ya ha alcanzado un grado avanzado de pulido como muestra la Figura 3. Un hito importante ha sido la puesta en marcha del sistema de medida interferométrica con la utilización de hologramas generados por ordenador. Este sistema permitirá la medida y caracterización de las etapas avanzadas del pulido de los segmentos para realimentar este proceso iterativo.



**Fig. 3.** El segmento 5/2 (Graja) una vez pasado el proceso de asferización y pulida su superficie a escala especular. A partir de ahora comienza para él el proceso de ajuste a la forma definitiva. Fotografía tomada en octubre de 2001 por gentileza de SAGEM.

Actualmente, el principal escollo en el desarrollo del proyecto es la construcción del espejo secundario. Las empresas americanas AXSYS y Brush Wellmann, subcontratadas por SAGEM, están teniendo dificultades en la fabricación y suministro del substrato de berilio requerido. Como consecuencia de los tres intentos fallidos habidos hasta la fecha, esto supone un obstáculo en el camino del proyecto y retrasa las fechas de finalización del mismo en más de seis meses sobre las estimaciones iniciales. Se están estudiando las posibles acciones que lleven a contener los riesgos acumulados en este suministro.

Ya se ha formalizado con la Universidad de Florida el contrato para el diseño detallado y fabricación de CANARICAM. CANARICAM será una cámara y espectrógrafo para el rango infrarrojo medio, entre 5 y 25 micras. Además, tendrá capacidad de realizar polarimetría y coronografía. La instalación de CANARICAM en el telescopio está prevista para finales de 2003. CANARICAM y OSIRIS (<http://www.iac.es/proyector/OSIRIS/>) son los dos instrumentos científicos de Día Uno del GTC.

A lo largo del año 2002 se comenzará a configurar el Grupo de Operación y Mantenimiento del GTC; una parte importante del mismo estará formada por las personas encargadas de la operación científica.

En el mes de julio se firmó el acuerdo de participación en el GTC de las principales instituciones astronómicas mexicanas: el INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica) y el Instituto de Astronomía de la UNAM; y en el mes de octubre se firmó igualmente el Acuerdo de participación de la Universidad de La Florida. Ambos acuerdos contemplan la participación en el GTC al nivel de un 5% cada uno. Además, se establece un amplio marco de colaboración en programas de observación, de intercambio de perso-

nal y becas de formación pre y postdoctorales.

Durante los días 6 al 8 de febrero de 2002, organizado por el IAC y el IAA, se celebrará en Granada la primera reunión para abordar la ciencia a desarrollar con el GTC. En Granada se reunirán las tres comunidades astronómicas que utilizarán el GTC para intercambio de ideas y planes, como primer paso para establecer fructíferas colaboraciones. Un selecto plantel de expertos internacionales invitados, entre los que se cuentan M. Pettini (IoA, Reino Unido), E. Lada (UFL, Estados Unidos), C. Eiroa (UAM), M. Peimbert (UNAM, México), G. Monnet (ESO), J. González (UNAM, México) y D. Lutz (MPE, Alemania) entre otros, sentará las bases para la discusión de los temas más candentes que se podrán abordar con el GTC. Aunque esta reunión será de naturaleza marcadamente científica, también se abordarán temas técnicos de interés relevante para el funcionamiento científico del GTC. Desde aquí os animamos a participar en esta primera reunión científica (<http://www.iac.es/proyector/scigt/>).

José Miguel Rodríguez Espinosa, Pedro Álvarez Martín  
 espinosa@11.iac.es, pam@11.iac.es

---

## Planetarios para divulgar Astronomía. . . y más

Desde hace casi veinte años, existen en nuestro país centros interactivos de ciencia (es decir, museos, casas o parques de la ciencia) en los que existe una sala de proyección de estrellas y planetas, es decir, un planetario. Y también algunos centros, como los de Madrid, Castellón o Pamplona, que son principalmente planetarios. Poco a poco su número ha ido creciendo, también su capacidad de atracción a un público muy amplio, desde escolares a jubilados, pasando por todo tipo de colectivos, familias. . .

Si echamos un vistazo a las producciones de planetario que en la actualidad están “en pantalla”, vemos además que las temáticas y los tratamientos de estos documentales tan especiales son muy variados, enfocándolos a veces desde un punto de vista más clásico, otras veces acercándose a la cosmología desde la ciencia ficción y otras en un lenguaje visual dirigido específicamente a los niños. En concreto, en el centro donde trabajo, el Planetario de Pamplona, intentamos cubrir todas las áreas, aparte de la oferta escolar llamada “Escuela de estrellas” se proyectan varios programas: “El sueño de Alejandro” (sobre Astronomía en la Grecia clásica, constelaciones, los viajes. . .), “Supernova” y “Dibujos en el cielo” (una producción para los más pequeños sobre las constelaciones), además de “El robot espacial”.

Una primera consideración importante es que muchas de estas producciones son montajes audiovisuales bastante complejos, que incluyen no sólo una narración y los efectos clásicos del cielo estrellado y los planetas de un planetario, sino que incluyen vídeo, animaciones por ordenador, numerosas diapositivas —a menudo capaces de llenar la cúpula en envolventes *all-skies*, o creando panoramas sobre los que aparece el cielo— y otros efectos, incluyendo en algún caso la proyección de láser. Se trata, por lo tanto, de ambiciosos proyectos de divulgación científica, en concreto de Astronomía, Astrofísica y Ciencias del Espacio, que también muy a menudo



Fig. 1. Escuela de estrellas en el Planetario de Pamplona.

beben de la Historia, la Literatura y otras artes, para configurar un documental imaginativo y atrayente.

Esto contrasta con una cierta idea de que los planetarios sólo sirven para visualizar de forma sencilla fenómenos de la mecánica celeste o la Astronomía de posición. De hecho, en los planetarios actuales, el “cielo” es solamente una parte de la historia. Con estas posibilidades audiovisuales, las temáticas que se pueden abordar son mucho más amplias, y a lo largo de los años, los temas más punteros de la investigación astronómica están entrando en estos centros, que se convierten así, de paso, en lugares donde la gente se informa de qué se investiga, qué nuevos proyectos existen, por dónde va la ciencia que sigue avanzando.

Algunas de estas películas son, además, coproducciones entre varios centros, de manera que algunas de ellas pueden alcanzar cifras de visitantes muy altas (algunas películas de planetario han llegado a ser vistas por más de 250 000 personas). Esta forma cooperativa de trabajar permite a los centros proyectos más ambiciosos, además de contar con las sinergias de varios equipos de producción audiovisual. Cuando uno ve los programas de los planetarios españoles, y los compara con lo que existe en otros países europeos, o con Estados Unidos, se ve que hay producciones que nada tienen que envidiar a las logradadas con los amplísimos presupuestos que pueden llegar a manejarse fuera de España. Quizá sería pecar de chovinismo (pero un pecado muy leve), pero se podría llegar a afirmar que incluso lo hacemos mejor. . . y más entretenido.

En muchos de estos centros trabajan astrónomos o astrofísicos, gente con formación específica en estas áreas que diseñan no solamente los guiones sino que se involucran en todas las áreas de producción audiovisual. Estos profesionales son posiblemente uno de los valores más importantes para la divulgación de la Astronomía en nuestro país (sin restar importancia a los gabinetes de las instituciones ni a la labor que personalmente hacen muchos investigadores y docentes en activo, obviamente). Esto es así por la vocación de los planetarios de alcanzar al gran público, y por su capacidad de atraer el interés de los medios de comunicación (es corriente que desde los planetarios, además, se colabore con medios de comunicación de forma cotidiana o esporádica).

En definitiva, el papel divulgador de los planetarios es, por propia naturaleza y vocación de estos centros, de primera magnitud en eso que podemos llamar “popularizar” la Astronomía. Y una vez dicho esto, que puede tener algo de autobombo, habría que analizar si es suficiente, y de qué manera se podría mejorar. . . A la primera cuestión, es obvio que nunca es suficiente: entre la situación actual y pensar que la Astronomía estuviera en boca de todos continuamente hay muchísimo margen en el que poder avanzar. Así que me voy a centrar en algunas posibilidades de la segunda cuestión.

En primer lugar, admitiendo el papel de intermedio de los planetarios entre la ciencia y la sociedad,

habría que conseguir un mayor dinamismo en esa relación. Raramente los planetarios “generan” contenidos científicos que se podrían publicitar (aunque en algunos planetarios trabajan personas que paralelamente investigan, o existe algún que otro proyecto de investigación en el que se considera este papel como algo importante). De esta manera, los planetarios, normalmente beben de lo que se va publicando, lo que se va conociendo. No es raro, por lo tanto, que suceda lo que sucede en general con estos temas: las instituciones que cuentan con más presupuestos o que dedican más esfuerzo a la comunicación, generan más información, que se plasmará en los planetarios –como en los medios de comunicación. Las redes están rompiendo un poco ese monopolio de los grandes, facilitándonos a todos acceder a trabajos de manera sencilla, pero está claro que existe un déficit importante aún. Obviamente, la SEA y este Boletín son una buena punta de lanza para favorecer esta comunicación. Desde el otro lado, el de los planetarios, aún no existe una asociación profesional (aunque se está constituyendo) que facilite, por nuestra parte, que esa información viaje también hasta nuestros centros, y pueda ser utilizada.

En segundo lugar, podría ser interesante ir un poco más allá: aparte de poder mover la información, se podrían “mover” los profesionales. La experiencia en el Planetario de Pamplona, que también se ha dado (y da) en otros centros, es que es posible colaborar directamente con investigadores y docentes para crear nuevos proyectos de planetario. Las escalas de este tipo de colaboraciones son múltiples, lo que quiere decir que también pueden ser complejas. Y si uno piensa en que las cosas se han de hacer bien para que salgan bien, el funcionamiento un tanto posibilista (que implica un *gratis et amore* en el aspecto económico que no es siempre motivador) de los planetarios no ayuda mucho al establecimiento de redes que gestionen conocimientos y recursos humanos para estos fines. Y esto es un problema: uno puede pensar en presupuestos para comunicación dentro de los proyectos de investigación como una justa y necesaria reivindicación, evidentemente, pero la situación no parece estar para pedir cosas aparentemente “cosméticas”. Igualmente, uno podría pensar en que se puedan realizar proyectos de comunicación en cuya financiación se contemple la colaboración del mundo profesional. En esto, tampoco la situación parece ayudar mucho.

Sin embargo, quizá deberíamos plantearnos la cuestión de otra manera: si coincidimos en que los planetarios pueden hacer un papel de comunicación importante, de igual forma que coincidimos en que la investigación que se realiza en España es interesante y es necesario que se conozca; si coincidimos en que dentro de este papel divulgador las acciones podrían servir más a los intereses de la investigación, de igual forma que coincidimos en que los investigadores han de valorar más el papel de la comunicación de su trabajo, como parte de su trabajo; entonces, los vínculos deben surgir de forma natural. Para ello sólo hace falta eso que se

llama “voluntad de las partes”: más información sobre lo que se hace, en investigación y en comunicación, y favorecer que las sugerencias de los dos mundos circulen y fructifiquen. De esta manera, el papel mediador de los planetarios quedaría reforzado, y su trabajo serviría más a la comunidad científica que es su justificación. ¿Le ponemos el cascabel al gato? Esperamos que sea pronto...

Javier Armentia Fructuoso

planetario@cin.es

---

## Las galaxias enanas compactas azules

José Manuel Vílchez Medina jvm@iaa.es

Instituto de Astrofísica de Andalucía - CSIC

Luz-Marina Cairós Barreto luzma@uni-sw.gwdg.de

Universitäts-Sternwarte Göttingen, D-37083 Göttingen,  
Alemania

### Abstract

*Star-forming dwarf galaxies constitute one of the most numerous classes in the Universe. They are present in a large variety of environments and they are observed for a large range of redshifts. Since the seventies we do know that in many of these objects intense episodes of massive star formation are observed. The intensity of these bursts and its duration must be necessarily short, since the gas reservoirs available do not allow such high star formation rates to be maintained for long periods. In a substantial fraction of these galaxies an older stellar component has been detected underlying the more recent star forming bursts. However, in a group of these objects no underlying component has been yet detected and they may qualify for really young objects. The detection and spectrophotometric characterization of these underlying components still is an observational challenge. The study of star-forming dwarf galaxies would provide relevant information for our knowledge of the evolution of galaxies.*

### Resumen

Las galaxias enanas con formación estelar constituyen una de las clases más numerosas en el Universo. Están presentes en una gran variedad de entornos y se observan en un amplio rango de desplazamientos al rojo. Sabemos desde los años setenta que en muchas de estas galaxias se observan episodios muy intensos de formación de estrellas masivas. La intensidad de estos brotes de formación estelar es tal que su duración debería ser forzosamente corta, ya que las reservas de gas disponibles no permiten mantener durante periodos prolongados estos altos ritmos de formación estelar. En una fracción considerable de estas galaxias enanas se ha detectado la presencia de una componente estelar más vieja, subyacente a los brotes mas recientes. Sin embargo, en un grupo de galaxias enanas esta componente no ha sido observada, por lo que podrían constituir claros ejemplos de galaxias jóvenes. La detección y caracterización espectrofotométrica de estas componentes subyacentes constituye aún un gran reto observacional. El estudio de las galaxias enanas nos está aportando información muy relevante para nuestro conocimiento de la evolución de las galaxias.

### Introducción: Galaxias enanas

Las galaxias enanas son objetos muy abundantes en nuestro Grupo Local y han sido reconocidos y catalogados en gran número también en cúmulos de galaxias cercanos, lo que nos indica que, muy probablemente, son los objetos más comunes en el Universo (Davies & Phillips 1988). Las galaxias enanas tienen una magnitud absoluta en el azul  $M_B \geq -18$  y son de tamaños menores, y masas y luminosidades más bajas que las galaxias llamadas “normales”; presentan brillos superficiales menores que éstas y sus colores ( $U-B$ ) y ( $B-V$ ) globalmente son más azules. Las densidades superficiales de H I y la relación masa de hidrógeno a masa total ( $M_{\text{HI}}/M_{\text{total}}$ ) que presentan son más altas que las que presentan las galaxias elípticas o espirales. Sin embargo, a pesar de su “ubicuidad”, son las galaxias “normales”, no las enanas, las que predominan en los catálogos dada la menor luminosidad de éstas, lo que supone en la práctica una clara restricción para su selección. Sólo los catálogos limitados hasta una distancia fija (ver por ejemplo Kraan-Korteweg 1986; Tully 1988) están libres de este sesgo observacional.

En los últimos años se ha puesto de manifiesto la relevancia de las galaxias enanas en diversos campos de la Astrofísica, especialmente tras el descubrimiento del exceso de galaxias enanas azules a desplazamientos hacia el rojo moderados (e.g. Tyson 1988; Broadhurst et al. 1988, Ferguson 1992; Babul & Rees 1992). Este hecho parece indicarnos que ha podido existir una gran población de galaxias enanas con formación estelar, cuya actividad ha cesado en la actualidad (Guzmán et al. 1997). Hay que tener en cuenta por otra parte que cada vez más resultados sugieren que el acrecimiento y los “mergers” o fusiones de galaxias enanas juegan un papel muy importante en la formación de las galaxias (Schweizer 1998).

Por otra parte, las galaxias enanas son laboratorios ideales para estudiar los procesos de *formación estelar* ya que en ellas no “operan” mecanismos adicionales como, por ejemplo, las ondas de densidad. Como veremos mas adelante, este papel relevante se ve acentuado en el caso de las galaxias enanas azules cuyo estado cuasi-primitivo (baja metalicidad y mucho gas) las convierte en objetos ideales para imponer restricciones al estudio de la *nucleosíntesis primordial* y para explorar posibles escenarios en la *formación de las galaxias*.

Por último, desde el punto de vista dinámico, dado que presentan masas pequeñas y bajas velocidades de rotación, las galaxias enanas irregulares son objetos idóneos para comprobar la relación de Tully-Fisher (TF) en el caso extremo de objetos cuyos movimientos están dominados por la turbulencia (Patterson 1995).

### Clasificación

Las galaxias enanas se agrupan en varias clases, cada una de ellas con diferentes propiedades, pero que

al mismo tiempo muestran una intersección común entre sus parámetros físicos y su estructura. Existen tres clases fundamentales de galaxias enanas: i) las enanas elípticas o esferoidales (dE/dSph), ii) las enanas irregulares (dIrr) y iii) las enanas con formación estelar intensa (también conocidas como galaxias *starbursts*, H II o compactas azules, BCD de sus siglas en inglés). A continuación presentamos una breve descripción de las características principales de cada tipo. Aunque este trabajo está centrado en el estudio de las enanas compactas azules, es conveniente incluir un breve repaso de las propiedades más importantes de las dEs y las dIrrs, a las que habremos de referirnos en diversos apartados del texto, por ejemplo, al abordar las posibles conexiones evolutivas entre los distintos tipos de enanas.

### Enanas elípticas (dE) y esferoidales (dSph)

La distinción entre dE y dSph aun hoy no está del todo clara (Binggeli 1994; Kormendy & Bender 1994; Ferguson & Binggeli 1994). En este trabajo nos referiremos a ambas como dEs. Estas galaxias presentan isofotas regulares, elípticas y son de forma esferoidal (Davies & Philips 1988; Bothum et al. 1986). Su población estelar consiste principalmente en estrellas viejas, de población II. Se suele aceptar la idea de que son objetos “apagados”, en los que la actividad cesó tiempo atrás. Sin embargo, hay evidencias observacionales de una población de edad intermedia en dEs del Grupo Local y de Fornax, indicando que para algunos de estos sistemas ha habido al menos dos episodios separados de formación estelar (Davies & Philips 1988; Held & Mould 1994; Da Costa 1994). Presentan metalicidades en el rango,  $1/3 Z_{\odot} \leq Z \leq Z_{\odot}$ , y contienen muy poco o ningún H I (Davies & Philips 1988; Hodge 1971; ver también Blitz et al 2000 para un enfoque más completo sobre el contenido total de gas de estas galaxias).

### Enanas irregulares (dIrr)

Estas galaxias muestran una apariencia irregular, casi caótica en el óptico. En general tienen bajo brillo superficial, con estrellas de población I y de población II, las primeras indicando una actividad reciente de formación estelar. La fracción de masa en H I es relativamente alta (alrededor de un 15% según Roberts & Haynes 1994) y sus metalicidades varían en el rango,  $1/30 Z_{\odot} \leq Z \leq 1/3 Z_{\odot}$  (Davies & Philips 1988; Bothum et al. 1986). Las dIrr suelen albergar zonas con formación estelar, que se encuentran muy repartidas en “nódulos” sobre las galaxias, en lugar de aparecer concentradas en un núcleo compacto central. Las galaxias irregulares rotan lentamente con velocidades típicas alrededor de 50–70 km s<sup>-1</sup>.

Las galaxias más pequeñas y menos luminosas de entre las irregulares pueden llegar a alcanzar velocidades de rotación muy bajas, comparables a las velocidades características de los movimientos turbulentos aleatorios del gas, dando lugar a un patrón de velocidades

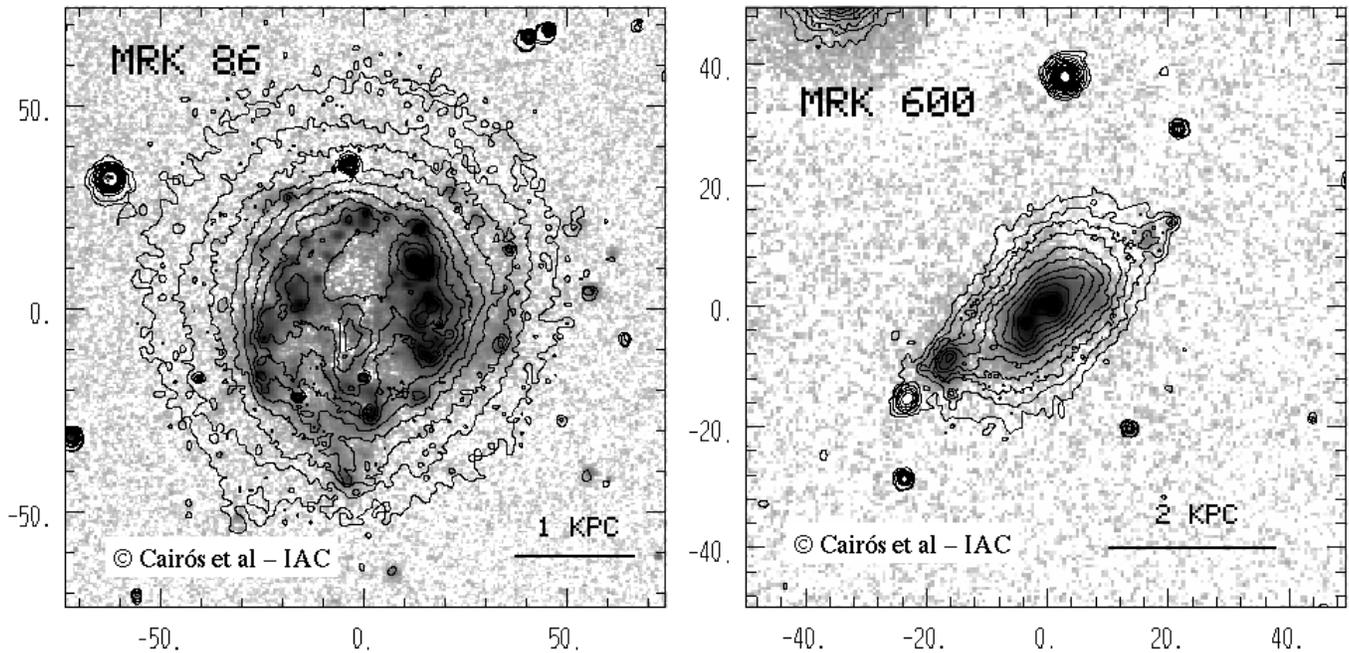
muy desordenado. Sus curvas de rotación muestran que a menudo se comportan como sólidos rígidos (Gallagher & Hunter 1984; Hunter & Gallagher 1986), al contrario de lo que ocurre en las galaxias espirales, cuyos discos muestran rotación diferencial (Gallagher & Hunter 1984).

Algunas galaxias irregulares presentan propiedades que, de acuerdo a los criterios generales de clasificación que se han establecido, se llegan a solapar con la definición de las enanas con formación estelar activa, que se describen en el apartado siguiente.

### Enanas con formación estelar activa

En este grupo se incluyen galaxias muy ricas en gas, que están experimentando, o han experimentado recientemente, fuertes brotes o “estallidos” de formación estelar (a veces incluso abarcando toda la galaxia, y conocidas por su denominación en inglés “*starbursts*”). La Figura 1 ilustra dos ejemplos significativos de esta clase tomados de Cairós et al. (2001b): Mrk 86 (Gil de Paz et al. 2000) y Mrk 600. En ambos objetos se muestra la distribución de regiones de formación estelar trazadas por la emisión H $\alpha$  del gas ionizado (niveles de grises) sobre el mapa de isocontornos de la emisión del continuo estelar de la galaxia en la banda B.

En los trabajos pioneros de Haro (1956) y Zwicky et al. (1960–68) se habla por primera vez de lo que ambos denominan “*galaxias compactas*”; denominación que hace referencia al alto brillo superficial que presentaban en las placas fotográficas. Estos objetos se dividieron en dos grandes grupos, galaxias rojas y galaxias azules, atendiendo a sus colores integrados. Más de diez años después, Sargent & Searle (1970) dirigen de nuevo la atención a este grupo de objetos, al descubrir que algunas galaxias compactas del catálogo de Zwicky tenían espectros prácticamente idénticos a los de las regiones H II –como se denomina a las regiones de hidrógeno ionizado– gigantes de los discos de las galaxias espirales. A estos nuevos objetos los llamaron “regiones H II extragalácticas aisladas”. En la actualidad utilizamos distintos nombres para esta familia de galaxias, siendo los más extendidos galaxias H II o BCD’s. Aunque generalmente ambos términos se usan indistintamente, han sido definidos atendiendo a diferentes criterios observacionales: las galaxias H II son seleccionadas principalmente a partir de placas obtenidas con la técnica de prisma-objetivo (véase p.ej. Terlevich et al. 1991), debido a sus intensas líneas de emisión; mientras que las BCDs fueron seleccionadas por sus colores muy azules y su aspecto muy compacto en placas fotográficas. Estos criterios de selección se pueden traducir en algunas diferencias, pues las propiedades observables en el óptico de las galaxias H II están dominadas por una o varias regiones H II. En un sentido estricto no todas las BCDs son galaxias H II, porque sólo en una fracción de las BCDs las regiones H II gigantes son la componente dominante. Además los brotes de formación estelar de las galaxias H II tienden a ser más



**Fig. 1.** Distribución de las zonas de formación estelar, trazadas por la emisión en  $H\alpha$  en niveles de grises, de dos galaxias BCD típicas : Mrk 86 y Mrk 600. Las isofotas correspondientes a la emisión en la banda B de la galaxia subyacente están rodeando los brotes de formación estelar centrales. Nótese la diferencia en la morfología de las dos componentes subyacentes. Las escalas  $x, y$  están en segundos de arco respecto al centro.

jóvenes (Telles 1995).

Dentro de esta clase de enanas se pueden incluir también a las *galaxias amorfas* (Marlowe et al. 1997). Estos son objetos morfológicamente semejantes a las elípticas o a las S0, pero en los que el resto de propiedades globales (masa, color, ritmo de formación estelar) se corresponden con las que presentan las dIrr (Gallagher & Hunter 1987). Tienden a ser más grandes y más luminosas que las BCD (Sandage & Brucato 1979; Krienke & Hodge 1974).

### *Distribución espectral y propiedades de las galaxias enanas compactas azules*

En las galaxias enanas compactas azules se observan episodios muy intensos de formación de estrellas masivas (e.g. Searle et al. 1973). La intensidad de estos episodios es tal que su duración debe ser necesariamente corta, porque las reservas de gas disponibles en dichas galaxias no permiten mantenerlos activos durante periodos prolongados. La presencia en estas galaxias de un elevado número de estrellas jóvenes cubriendo todo el espectro de masas, con edades y metalicidad similares, y concentradas en un volumen reducido, las convierte en excelentes laboratorios para estudiar los procesos de formación y evolución de estrellas masivas, así como su interacción con el medio interestelar y su impacto en la evolución de las galaxias.

Thuan & Martin (1981) enunciaron las principales características de las BCDs: baja luminosidad ( $M_B \geq -$

18), apariencia compacta en el óptico (diámetro  $d \leq 1$  kpc) y espectros similares a los de las regiones H II.

Posteriores trabajos (Kunth & Sargent 1986; Izotov & Thuan 1998) han confirmado que son objetos de baja metalicidad ( $Z_{\odot}/50 \leq Z \leq Z_{\odot}/3$ ), siendo la BCD I Zw 18 la galaxia de menor metalicidad conocida, con  $Z \approx 1/50 Z_{\odot}$  (Vílchez & Iglesias-Páramo; Legrand et al. 2000). De la forma de su espectro y de sus colores tan azules, se infiere la presencia de una población importante de estrellas jóvenes de gran masa. El ritmo de formación de estas estrellas en las BCDs ha sido estimado (Fanelli et al. 1988) situándose entre 0.1 y 1  $M_{\odot}$  año $^{-1}$  típicamente. Estas tasas de formación estelar tan elevadas no pueden ser mantenidas más de  $10^9$  años, sin que se agoten las reservas de gas disponibles ( $\approx 10^8 - 10^9 M_{\odot}$ , Thuan & Martin 1981). Esto implica que en las BCDs la formación estelar ha debido proceder necesariamente de forma intermitente, alternando intensos brotes de duración  $\leq 10^7$  años, seguidos por episodios de calma bastante más largos, de entre 1 a  $3 \times 10^9$  años (Thuan 1991).

Las propiedades de las BCDs las convierten en el marco ideal para realizar estudios espectroscópicos. Globalmente, su espectro corresponde al de una región H II, presentando líneas de emisión y absorción en un amplio rango de longitudes de onda (Kunth & Ostlin 2000).

En el rango *ultravioleta* destacan especialmente las características espectrales típicas de las poblaciones estelares más jóvenes, que se concentran en (super)cúmulos ionizantes, combinadas con algunas líneas

de emisión correspondientes a hidrógeno o a iones de alto potencial de ionización de elementos como carbono, silicio, entre otros; algunas de estas líneas muestran perfiles P Cygni muy acusados.

En el rango *óptico*, las BCDs presentan un espectro muy característico, rico en líneas de emisión, y dominado por la serie de Balmer del hidrógeno y líneas de helio, así como numerosas líneas “prohibidas” de varios elementos como oxígeno, azufre, nitrógeno, neon, etc, producidas por excitación colisional de los correspondientes iones. El continuo en este rango es pequeño y sin características muy aparentes en absorción, excepto en aquellos objetos que pudiesen albergar además poblaciones estelares más evolucionadas (e.g. Mas-Hesse & Kunth 1991). En el *infrarrojo* cercano y medio, el continuo está dominado por la emisión del polvo caliente o templado, y superpuestas a éste, numerosas líneas de emisión de hidrógeno y otros elementos, pero también de moléculas de distintos tipos, bandas de absorción interestelar, y algunas características espectrales sin una definitiva identificación.

En los rangos del *infrarrojo* lejano y ondas *submilimétricas*, la emisión térmica del polvo parece dominar la fotometría de estos objetos; aunque hay que tener en cuenta que, como veremos después, la pobreza de metales de buena parte de las BCDs, en principio no va a favorecer que existan componentes masivas de polvo.

La emisión en el rango de *radio* viene dominada por el continuo térmico, con un espectro del tipo  $F_\nu \approx \nu^{-0.1}$ , cuyo exponente es característico de las regiones de hidrógeno ionizado. Un interesante aspecto relacionado en este rango es la detección de otras componentes del continuo radio de las BCDs que pudieran tener una naturaleza no térmica. En los últimos años se ha detectado esta componente “extra” en un buen número de casos, en los que se observa superpuesta al continuo térmico. Se han barajado distintas hipótesis para explicar su origen. Entre estas hipótesis destaca la invocación de los efectos de las explosiones de supernova que, por otra parte, se tienen que haber producido necesariamente en los intensos brotes de formación estelar de las BCDs.

## *Temas “candentes” en la Astrofísica de las galaxias compactas azules*

Como comentamos al principio, el estudio de las galaxias enanas, y de las BCDs en particular, resulta una pieza clave en diversos campos de la Astrofísica. Presentamos seguidamente una panorámica de varias de las líneas de investigación de mayor actividad actualmente en la física de las BCDs:

### **Teorías sobre la formación estelar en las BCDs**

Las BCDs representan los laboratorios ideales para estudiar múltiples aspectos relacionados con la *formación estelar*. No presentan velocidades de rotación lo suficientemente altas como para mantener ondas de densidad y, por tanto, la formación estelar debe proceder a través de un mecanismo diferente.

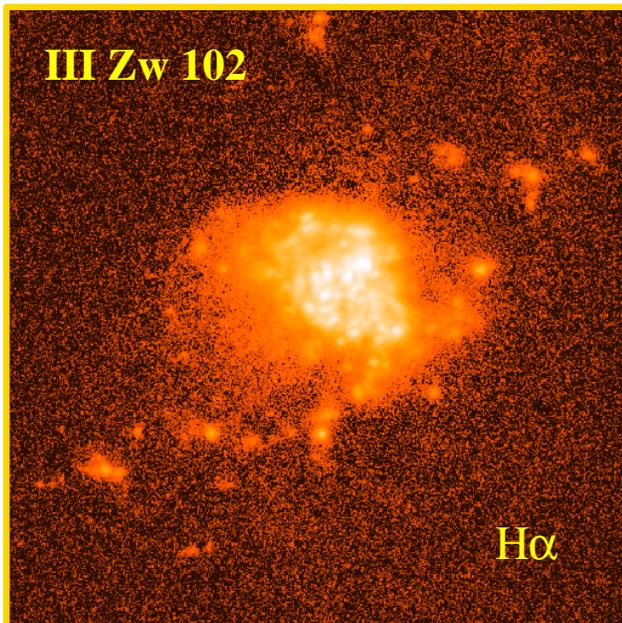
Searle & Sargent (1972) y Gerola et al. (1980), han propuesto como un posible mecanismo la teoría de “*Stochastic Self Propagating Star Formation*” (SSPSF) o “formación estelar estocástica autopropagada”. En esta teoría una galaxia experimenta fuertes brotes de formación estelar, seguidos por largos periodos de inactividad, en los que la formación estelar se “recupera” del efecto del brote. La formación estelar ocurre en “celdas”, cuyo tamaño es independiente del tamaño de la galaxia en cuestión (Hunter 1982), pero siendo estas “celdas” más numerosas en las galaxias mayores. Aunque la teoría SSPSF puede explicar cómo *mantener* la formación estelar activa en las BCDs, aún no está claro cual es el mecanismo que *dispara* la formación de brotes masivos en estas galaxias.

### **Entorno, interacciones, morfología: “Disparo” de la formación estelar**

Se ha propuesto que las *interacciones* podrían jugar un papel importante como el agente que *dispara* la formación de brotes masivos (Brinks & Klein 1988; Brinks 1990; Campos-Aguilar & Moles 1991; Campos-Aguilar et al. 1993). Tras esa idea, se han llevado a cabo varias búsquedas de galaxias compañeras en el óptico (Telles & Terlevich 1995), concluyéndose en todos los casos que no existen indicios claros de que la mayor parte de las galaxias enanas hayan experimentado interacciones con galaxias brillantes en este rango.

Sin embargo, búsquedas mas recientes en radio (Brinks 1990; Taylor et al. 1993, 1995, 1996) han puesto de manifiesto que muchas BCDs sí parecen presentar compañeros que emiten en radio. Estos compañeros son objetos ricos en gas y de bajo brillo superficial que, muy probablemente, estén interaccionando con la galaxia brillante, y que por lo tanto podrían “disparar” los brotes de formación estelar.

Sabemos que algunas de las propiedades mas importantes de las galaxias con formación estelar pueden verse modificadas dependiendo de su entorno (p. ej. Haynes et al. 1984; Vílchez 1995, 1999; Hashimoto et al. 1998; Iglesias-Páramo & Vílchez 1999); en particular su ritmo de formación estelar. Este hecho es de capital importancia a la hora de entender los resultados que se obtienen para las galaxias compactas azules más brillantes descubiertas a desplazamientos hacia el rojo moderados ( $\approx 0.3-1$ ), para las que observar su entorno cercano es un arduo trabajo —si no imposible— con los medios disponibles. Nuestro grupo ha explorado el entorno de una amplia muestra de BCDs buscando, por



**Fig. 2.** Imagen profunda en  $H\alpha$  de la galaxia III Zw 102 en la que se pueden apreciar las estructuras encadenadas de brotes de formación estelar que parten desde el “núcleo” dibujando estructuras parecidas a las colas de marea.

primera vez, posibles compañeros cercanos de muy bajo brillo, no solo las galaxias más grandes (Noeske et al. 2001). Los resultados obtenidos, corroborados posteriormente por trabajos independientes (Pustil’nik et al. 2001) apuntan a que existe una presencia significativa de tales compañeros en el entorno de las BCDs. Ahora queda proseguir con el estudio morfológico y espectroscópico, para detectar las huellas de posibles interacciones, determinando así su incidencia estadística en la historia de la formación estelar y la morfología de las BCDs.

Hasta el momento no se ha hecho una *clasificación morfológica* definitiva de las BCDs. Varios intentos (Loose & Thuan 1985; Melnick 1987; Telles 1995) han puesto de manifiesto que existe una gran variedad de morfologías, desde las galaxias más compactas y aparentemente aisladas, hasta las que muestran extensiones difusas, colas y signos de posibles fusiones o “mergers”. La Figura 2 ilustra un ejemplo de morfología con colas de formación estelar dibujadas por la emisión de  $H\alpha$  de la BCD III Zw 102.

Loose & Thuan (1985) desarrollaron un esquema de clasificación basándose en la forma y localización de los brotes de formación estelar en relación con la estructura completa en el óptico de la galaxia y en la forma de sus isofotas más externas. Melnick (1987) describe los sistemas atendiendo a que sean interactuantes, múltiples o aislados. Telles (1995) divide estos objetos en dos grandes grupos, los objetos del tipo I, que son sistemas irregulares, con isofotas externas distorsionadas y extensiones (colas, puentes...) y los del tipo II, que son sistemas regulares y compactos, con mor-

fología simétrica. Nuestros resultados indican que hay mucha información de las BCDs que todavía no se ha podido obtener; en particular en lo referente a la estructura subyacente, a muy bajo brillo superficial, para lo que se necesita realizar observaciones muy profundas (medidas del orden de la centésima del brillo del cielo oscuro). Volveremos a tratar este punto más adelante en relación con el estudio de la población subyacente.

### Supervientos galácticos en BCDs

En galaxias de baja masa como las BCD, las velocidades de escape son relativamente bajas y los brotes de formación estelar masiva, en principio podrían dar lugar a la expulsión de material fuera de las mismas. Los fotones ionizantes y los vientos que se originan en las supernovas (SNs) originan agujeros en las distribuciones de  $H\text{I}$ , como los observados en las galaxias Holmberg II (Puche et al. 1992) o Holmberg I y M 81 (Westpfahl & Puche 1994). Utilizando técnicas espectroscópicas, hace una década demostramos la existencia de material a muy alta velocidad en el medio interestelar de BCDs y regiones  $H\text{II}$  gigantes, tras detectar un notable ensanchamiento de la base de las líneas de  $H\alpha$  a niveles de brillo del orden del 5% del pico (Castañeda et al. 1990; véase Izotov et al. 1994). Las líneas observadas implican la existencia de velocidades muy elevadas, en el rango de  $\approx 1000\text{--}3000\text{ km s}^{-1}$ .

La estructura de los complejos de formación estelar activa está en buena medida producida por la existencia de fuertes vientos asociados a los cúmulos ionizantes (Muñoz-Tuñón et al. 1996; Maíz et al. 1999). Estos cúmulos “barren” el gas de sus proximidades y pueden dar lugar a “agujeros” en la distribución de material muy aparentes, con formas espectaculares, particularmente en las imágenes en  $H\alpha$  de galaxias “starburst” tomadas con el HST.

La existencia de supervientos galácticos en BCDs está también reforzada por la observación de estructuras extensas y lóbulos alargados, como se han observado en las imágenes de rayos X de galaxias como VII Zw 403 (Papaderos et al. 1994; Bomans 2001).

El fenómeno de los supervientos podría dar lugar a un mecanismo de auto-control de las galaxias, amén de contribuir al enriquecimiento químico del medio intergaláctico. Está claro que no ocurrirán nuevos episodios de formación estelar en BCDs hasta que el efecto de las estrellas masivas haya desaparecido y el gas neutro se enfríe y colapse de nuevo (Hunter et al. 1994). Por tanto si la galaxia realmente ha perdido todo el gas, cesaría automáticamente la formación estelar (Dekel & Silk 1986).

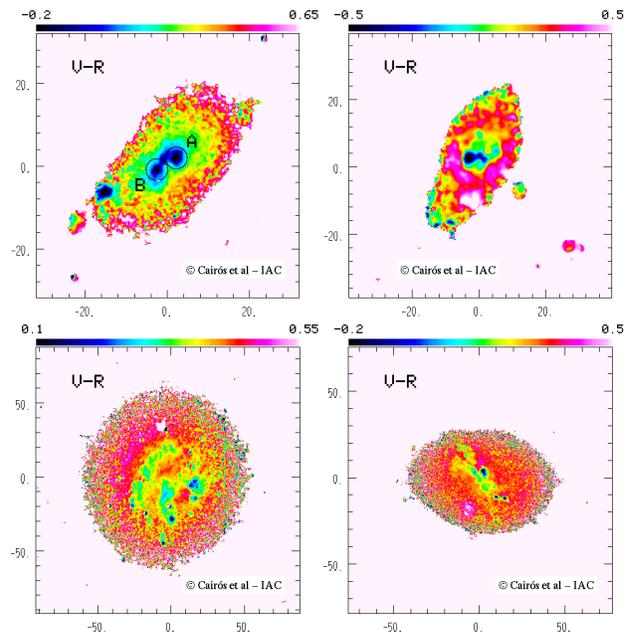
Resultados recientes, a partir de nuevos modelos hidrodinámicos y evolutivos de BCDs, vienen a indicar que la posibilidad de una pérdida total del material gaseoso en las BCDs —lo que entendemos como el efecto de un superviento; o “blow-away” en la literatura especializada— es pequeña, al contrario de lo que

se creía hasta hace muy poco tiempo. Estos resultados provienen de modelos que tienen en cuenta la forma del potencial gravitatorio y la distribución espacial del material gaseoso; en particular la geometría de su halo y disco, así como el contenido de materia oscura (Silich & Tenorio-Tagle 2001, D’Ercole et al. 2001).

### ¿Existe evolución entre galaxias enanas? Posibles conexiones evolutivas

Se han analizado distintos “canales” que en principio podrían *conectar evolutivamente* a los diferentes tipos de galaxias enanas (véase un excelente resumen en Thuan et al. 1992), sin embargo aún no se ha alcanzado ninguna conclusión definitiva. Existen dos hipótesis principales y alternativas acerca de la conexión dIrr–dE. Por un lado se propone que las dE son los remanentes apagados de las dIrr, que pueden haber perdido el gas vía diversos mecanismos: supervientos originados en las SNs (Puche et al. 1992), vientos galácticos (Patterson & Thuan 1992; McNamara et al. 1994). Faber & Lin (1983), Kormendy (1985) y Binggeli & Cameron (1991), argumentan a favor de esta hipótesis basándose en la similitud de los perfiles de brillo superficial de ambos tipos de enanas. Otros autores, sin embargo, sostienen que las dIrr y las dE son dos tipos distintos de galaxia enana, que evolucionan paralelamente (Bothum et al. 1986, James 1994). Encuentran que, en promedio, las dE son más rojas que las dIrr y, para un brillo superficial central dado,  $\mu_o$ , las dIrr tienen longitudes de escala mayores. Las dIrr, de brillos superficiales menores que las dE, tendrían que sufrir una extinción de  $\approx 1.5$  mag para presentar un color semejante al de las dE. Pero, incluso así, una galaxia dIrr enrojecida de ese modo sería todavía mayor que una elíptica con el mismo  $\mu_o$ .

Las dIrr se han interpretado como BCD durante su período de inactividad (Thuan 1985; Davies & Philips 1988). Esta afirmación se apoya en la similitud que presentan los colores en el infrarrojo cercano (Thuan 1985), las propiedades en HI (Staveley-Smith et al. 1992) y las distribuciones espaciales (Pustil’nik et al. 1995) de ambos tipos de galaxias. No obstante, los colores infrarrojos de las dIrr parecen más azules que los de las BCDs (James 1994) (aunque antes de analizar en detalle habría que descontaminar de manera precisa los colores en el óptico-infrarrojo de la contaminación por líneas de emisión). Patterson & Thuan (1996) encuentran que en un diagrama magnitud absoluta frente a longitud de escala, las dIrr presentan dos ramas diferenciadas. Parece que existe un subconjunto de las dIrr que tienen longitudes de escala más pequeñas, para una magnitud absoluta dada, que el promedio de las dIrrs. La componente subyacente exponencial que encuentran Papaderos et al. (1996) está en la misma rama en el plano magnitud absoluta–longitud de escala que este subconjunto de dIrrs, este hecho es el que sugiere que las BCDs podrían estar relacionadas con estas dIrrs *más pequeñas*. Bothum et al. (1986) concluyen que las



**Fig. 3.** Mapas de color  $V-R$  de cuatro galaxias BCD representativas. Las escalas  $x, y$  están en segundos de arco y la escala de grises en magnitudes. En la BCD superior izquierda (Mrk 600), los dos grandes brotes centrales de formación estelar han sido marcados. Nótese la extensa componente subyacente más roja en tres de las cuatro galaxias.

BCDs más grandes son objetos ricos en gas análogos a las dEs. Si a las BCDs de su muestra se les aplica una extinción de  $\approx 1.5$  mag, los objetos resultantes tienen propiedades muy similares a las de las dEs. Así, mientras hay problemas para ligar a las dIrrs y a las dEs, se ha sugerido que las *BCDs podrían ser el puente* entre ambos tipos de enanas: comenzando por un brote intenso de formación estelar en una dIrr, seguido de un mecanismo de pérdida de gas (por ejemplo, supervientos producidos por SN) que, al “apagarse” podría dar lugar a una dE.

Es por eso que el estudio de las propiedades estructurales de la componente subyacente de bajo brillo de las BCDs, es muy importante en este sentido, pues va a permitir hacer comparaciones directas entre las componentes de muy bajo brillo de los distintos tipos de enanas. Hasta la fecha, dada su gran dificultad, apenas se han realizado este tipo de estudios, y los pocos trabajos que existen se refieren a muestras reducidas. En la Figura 3 mostramos mapas de color  $V-R$  para cuatro galaxias típicas extraídos del estudio de Cairós (2000) donde se puede apreciar la existencia de una componente subyacente de bajo brillo y colores más rojos.

Un argumento fuerte en contra de este canal evolutivo lo constituye el hecho de que las BCDs muestran, en general, brillos superficiales centrales mayores que las Irr con lo que no cabría esperar entonces una evolución en el sentido Irr  $\rightarrow$  BCD  $\rightarrow$  dE a menos que se admita que la componente subyacente de bajo brillo superficial puede experimentar cambios en sus propiedades estructurales, lo que parece poco probable a la

luz de los resultados obtenidos.

También se han sugerido otros posibles canales evolutivos muy interesantes; por ejemplo Silk y colaboradores (1987) propusieron que las dE pueden evolucionar a BCD, una vez que las dE capturan grandes nubes de gas que habrían quedado como remanentes desde el proceso de formación de las galaxias. En el sentido opuesto, Meurer y colaboradores (1992) han sugerido que las galaxias BCD pueden llegar a convertirse en galaxias dE “nucleadas”, presumiblemente tras sufrir las consecuencias de desarrollar un fuerte viento galáctico.

En este sentido, resultados más recientes (Cairós et al. 2001a,b) encuentran que las BCDs ocupan el mismo lugar geométrico que el resto de las enanas en el diagrama magnitud absoluta frente a longitud de escala, con lo que se refuerza así la hipótesis de la existencia de una conexión evolutiva entre los diferentes tipos de galaxias enanas.

### Estructura de ionización y composición química de las BCD: Abundancias pregalácticas

Las galaxias BCD son los objetos más apropiados para llevar a cabo una determinación de la *abundancia de helio primordial*. Se trata de galaxias muy poco evolucionadas químicamente y, por tanto, contienen muy poco He producido en las generaciones de estrellas nacidas después del Big-Bang. Estas galaxias están experimentando intensos brotes de formación estelar, que originan regiones H II supergigantes de alta excitación. En estas regiones se puede llevar a cabo una determinación de la abundancia He en el gas ionizado muy precisa, midiendo su espectro de líneas de emisión. La teoría de la emisión nebular es simple y la física de la recombinación se entiende lo suficientemente bien como para proporcionar, en principio, la precisión requerida.

Del estudio del espectro de líneas de emisión de las BCDs se pueden obtener, como en el caso de las regiones H II, las propiedades físicas de densidad y temperatura electrónica de su gas ionizado utilizando indicadores espectrales derivados a partir de cocientes de flujos de líneas colisionales, como los muy populares que se obtienen de las líneas de [S II] y [O II] para la densidad, o de [O III] y [N II] para las temperaturas electrónicas. Una vez conocidas las propiedades físicas, se pueden determinar las abundancias químicas a partir de los flujos de las líneas medidas en el espectro. Utilizando espectros de alta calidad de BCDs tomados con telescopios desde tierra o utilizando el HST, se han calculado abundancias de los elementos O, N, C, Ne, S, Ar, además de la abundancia de helio y otros elementos con emisión menos fuerte en galaxias enanas como es el caso de Fe o Si. Por debajo de  $12 + \log O/H \approx 8.2$  los cocientes de la abundancia de todos los elementos mencionados anteriormente con respecto a la abundancia de oxígeno parecen presentar un comportamiento sin variaciones notables, reflejando el grueso de su producción como elementos primarios. Aunque en el caso de C y

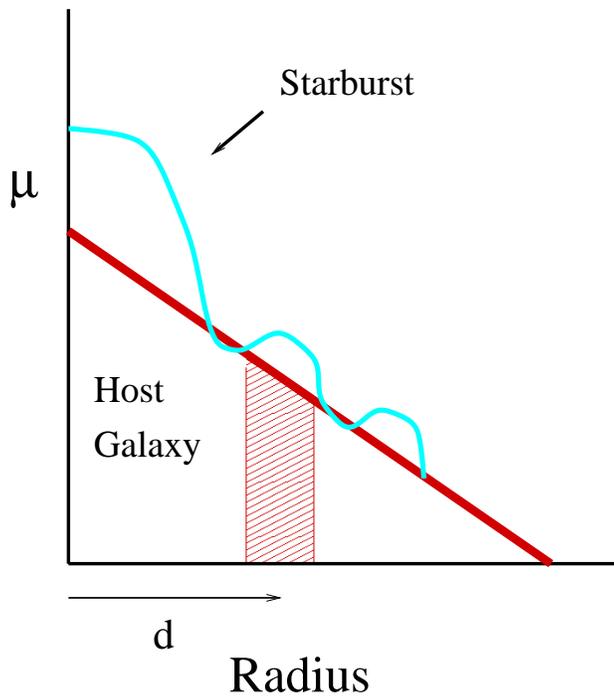
N, se establece una ligera tendencia hacia abundancias mayores, que podría esperarse asociada al retraso diferencial en la incorporación al medio de los productos de la nucleosíntesis en distintos rangos de masas estelares. La BCD I Zw 18 sigue ostentando el “record” de la galaxia de menor metalicidad conocida, con  $Z \approx 1/50 Z_{\odot}$  (Vilchez & Iglesias-Páramo 1998; Izotov & Thuan 1998).

La abundancia química de algunos de estos elementos puede obtenerse también a partir de otras líneas de emisión, sobre todo en otros rangos espectrales y especialmente en el infrarrojo, para las que la dependencia sobre las condiciones físicas precisas del medio interestelar es menor.

Durante las dos últimas décadas aproximadamente, la espectroscopía óptica de BCDs nos ha permitido avanzar en el estudio de la evolución de las galaxias, y muy especialmente en el estudio de su evolución química. Los resultados más espectaculares obtenidos, desde tierra y desde el espacio con HST, nos presentan a las BCDs como una clase de objetos poco (algunos prácticamente nada) evolucionados, que nos animan a perseguir la búsqueda de las galaxias más jóvenes del cosmos como si de un “Santo Grial” se tratase. El motivo de esta búsqueda es doble: de un lado, la baja metalicidad de las BCDs las convierte en objetos de gran interés cosmológico, algunos de ellos ideales para determinar la abundancia primordial de helio,  $Y_p$ , y así imponer restricciones a los modelos de nucleosíntesis primordial del *Big-Bang*. De otro lado, de encontrarse tales objetos la existencia misma de BCDs de contenido metálico extremadamente bajo podría aportar pruebas cuasi-inalteradas sobre la evolución de los primeros fragmentos protogalácticos, facilitando así posibles conexiones evolutivas con galaxias conocidas como por ejemplo las *Lyman break* que se observan a gran corrimiento al rojo.

Especulando, esta familia de objetos podrían asociarse a huellas de “fluctuaciones” de menor amplitud. Las observaciones con grandes telescopios, del tipo 8–10 metros, ya nos están permitiendo establecer el valor de  $Y_p$  y del deuterio primordial D/H con la mayor precisión alcanzable.

Aunque la búsqueda de las galaxias enanas primordiales, la vemos aún como una especie de “quimera” –tímidamente explorada– es muy posible que el futuro nos depare algunas gratas sorpresas, en particular cuando podamos extender el estudio a las galaxias compactas azules luminosas a corrimientos al rojo considerables. Para este fin necesitaremos avanzar sobre los grandes telescopios hoy disponibles, y llegar a observarlas en infrarrojo o radiofrecuencia, utilizando telescopios tipo OWL/EL de más de 30 metros de diámetro o complejos de radiotelescopios como ALMA, algunos de los cuales ya están en proyecto.



**Fig. 4.** Diagrama esquemático de brillo superficial  $\mu$  frente al radio,  $d$ , de la estructura típica de una BCD: uno o varios brotes de formación estelar reciente, de colores más azules y brillantes, se disponen superpuestos a una componente subyacente de bajo brillo superficial más extensa. Al realizar la fotometría de cualquiera de los “starbursts” de la BCD necesariamente habrá que descontaminar de la emisión subyacente.

### La componente estelar subyacente

La baja metalicidad de las BCDs, junto con su alto ritmo de formación estelar, hizo que en un principio se especulara con la posibilidad de que se trataba de objetos genuinamente jóvenes, experimentando su primer brote de formación estelar. Actualmente las evidencias parecen indicar que, en un alto porcentaje de los casos, lo que observamos es un intenso brote de formación estelar, que tiene lugar superpuesto a una galaxia más vieja (González Delgado et al. 1999). En las imágenes, los brotes aparecen con frecuencia rodeados de emisión extensa, más débil y más roja (Loose & Thuan 1985; Kunth et al. 1985) y los perfiles de brillo superficial de las BCDs, cuando se obtienen de imágenes “profundas”, se ajustan bien a una función exponencial en las partes externas (Cairós & Vílchez 1998; Cairós et al. 2001a; Papaderos et al. 1996; Telles 1995; James 1994). Los colores de estas partes externas de muy bajo brillo superficial son consistentes con los de una población estelar más vieja. En la Figura 4 se presenta esquemáticamente el perfil radial de brillo superficial de una BCD donde los brotes de formación estelar reciente, “starburst”, se encuentran superpuestos al perfil de la galaxia subyacente.

La caracterización de la componente subyacente de bajo brillo en BCDs es fundamental para determinar

el estado evolutivo de estas galaxias e investigar sus posibles conexiones evolutivas con el resto de galaxias enanas; sin embargo, la debilidad de esta componente ha hecho que, hasta el momento, este objetivo no haya sido viable. En nuestras observaciones recientes hemos logrado desvelar dicha componente subyacente para una muestra significativa de BCDs.

Históricamente, el estudio de la componente subyacente de bajo brillo se intentó abordar, primero utilizando fotometría infrarroja. Thuan (1983) realizó fotometría de apertura de una muestra de 36 BCDs en los filtros  $J$ ,  $H$ ,  $K$  y atribuyó el exceso de flujo observado a la presencia de una población de estrellas gigantes rojas de tipos K y M, por tanto una población anterior al brote actual (la duración de los brotes es corta respecto de la edad de las gigantes rojas). Concluyó que ninguna de sus galaxias era un objeto realmente joven. Sin embargo, Campbell & Terlevich (1984) cuestionaron este resultado, mostrando que el exceso de flujo infrarrojo se puede justificar de igual forma incluyendo una población de estrellas supergigantes rojas (con edades entre 1–7 Maños). Melnick et al. (1985) afirman que los colores en el IR cercano no son suficientes para separar ambos tipos de estrellas (por lo tanto no permiten extraer conclusiones acerca de la edad de las poblaciones estelares presentes); es necesario además el uso de un *indicador de luminosidad* (p. ej. líneas o rasgos espectrales cuya intensidad es sensible a la clase de luminosidad de las estrellas que las originan). En particular dichos autores proponen la banda de CO en el infrarrojo cercano,  $\lambda$  2.35  $\mu\text{m}$ . Otros indicadores que han sido sugeridos son el triplete del Ca II en el infrarrojo fotográfico,  $\lambda\lambda$  8498, 8542 y 8662  $\text{\AA}$  (Jones et al. 1984, Oloffson 1989) o las líneas de Na I,  $\lambda\lambda$  8183 y 8195  $\text{\AA}$  (Oloffson 1989). La utilización de estos indicadores presenta ciertos inconvenientes: por un lado, necesitan de mucho tiempo de telescopio y de una alta resolución en el IR, y además se ha puesto de manifiesto que pueden ser sensibles a otros factores, como la metalicidad, lo que implicaría la necesidad de observaciones adicionales (McGregor 1987, Mayya 1997).

En algunos trabajos recientes se ha abordado este punto utilizando fotometría CCD de gran campo. Cuando la BCD está lo suficientemente cerca como para resolver en estrellas individuales al menos algunas de sus componentes, entonces el uso de diagrams color–magnitud puede ayudar a discernir la existencia de poblaciones más viejas. Es notable en este sentido el caso de I Zw 18 en la que se han descubierto numerosas estrellas AGB en el cuerpo principal de la galaxia utilizando el telescopio espacial Hubble (Ostlin 2001). Cuando resolver las estrellas de una BCD se convierte en una tarea difícil o imposible, la fotometría superficial multibanda es la herramienta más poderosa para estudiar las poblaciones estelares de dichos objetos.

Afortunadamente, los detectores actuales permiten medir brillos superficiales lo suficientemente débiles –“profundos”– como para llegar a detectar y carac-

terizar la débil componente estelar subyacente de las BCDs, tanto en el rango óptico como en el infrarrojo cercano. Este hecho tiene una significación capital, dado que proporciona información resuelta espacialmente, sobre los flujos, perfiles y colores promedio de las diferentes poblaciones de estas galaxias. Papaderos et al. (1996a), Telles & Terlevich (1995) y Doublier et al. (1997,1999) han intentado atacar este objetivo realizando fotometría superficial de varias muestras de BCDs. El problema principal de estos trabajos, sin embargo, ha radicado en la calidad insuficiente de los datos o el uso de muestras muy reducidas y heterogéneas (Papaderos et al. 1996a; Doublier 1997, 1999), o bien sesgadas hacia un tipo particular de objetos (galaxias H II), por lo tanto produciendo conclusiones difícilmente generalizables.

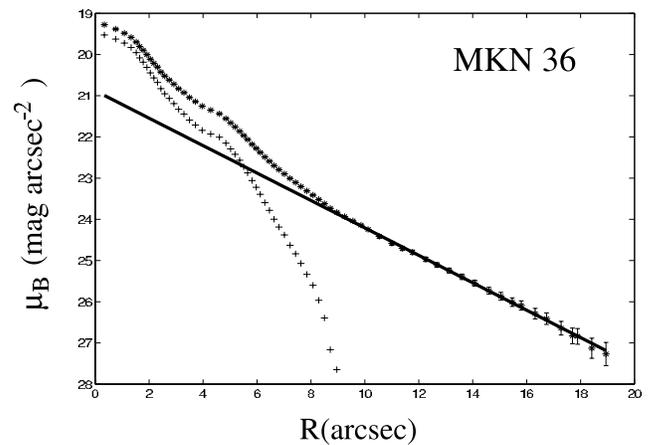
Nuestros resultados más recientes (Cairós et al. 2001a,b) han abordado el estudio de una muestra de 28 BCDs, con morfologías diversas y cubriendo un amplio rango de luminosidades. Hemos utilizado observaciones fotométricas en banda ancha, –filtros  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$ ,  $I$ – y en filtros estrechos – $H\alpha$  y su continuo adyacente–. La alta calidad de los datos nos ha permitido alcanzar el objetivo de medir niveles de brillo superficial del orden de  $26$ – $27$  mag arcsec $^{-2}$  (filtro  $B$ ). Nos permitió además delimitar los distintos brotes de formación estelar, que aparecen claramente diferenciados de la componente estelar subyacente tanto en los mapas de color, como en la distribución espacial de  $H\alpha$ . Por tanto, esta preciosa información nos ha permitido separar espacialmente, y de manera natural, las regiones de la galaxia con formación estelar activa de aquellas otras en las que la formación estelar ya ha cesado.

Por último, hemos podido realizar, por primera vez, un análisis cuantitativo de la componente estelar subyacente desvelada, mostrando que se ajusta a un disco exponencial, como se ilustra en la Figura 5 para el caso de Mrk 36, una de las BCD estudiadas con metalicidad más baja. A partir de los parámetros estructurales derivados para el disco (básicamente brillo superficial central y longitud de escala) se ha logrado derivar la luminosidad y los colores promedio de esta débil componente estelar subyacente. En este momento trabajamos en la interpretación de estos resultados, combinados con datos espectroscópicos y nueva información fotométrica en el infrarrojo cercano, intentando componer el complicado puzzle de la *conexión evolutiva entre las galaxias enanas*.

En la página <http://www.iac.es/proyect/GEFE/BCDs/BCDframe.html> puede obtenerse más información sobre nuestros resultados del análisis multifrecuencia de BCDs así como un atlas (en color) completo de los mapas de color y  $H\alpha$  de una muestra de BCDs.

## Agradecimientos

Agradecemos al Comité Editorial de la SEA la oportunidad brindada para presentar este artículo, su gene-



**Fig. 5.** Ajuste de la componente subyacente del perfil radial de brillo en la banda  $B$  de la galaxia BCD Mrk 36. Esta BCD, de muy baja metalicidad, presenta una componente exponencial de bajo brillo bajo el brote brillante central. La detección de esta componente sólo ha sido posible gracias a la profundidad de la observación realizada, que llega a medir brillos superficiales menores de la centésima del brillo superficial del cielo oscuro.

rosidad y paciencia. Las correcciones sugeridas por un árbitro anónimo han ayudado a mejorar este artículo. Es un placer agradecer el apoyo continuo y la colaboración de los miembros de nuestro grupo, especialmente a Casiana Muñoz, Nicola Caon, J. Nicolás González-Pérez (IAC); Begoña García (ING); Jorge Iglesias (LAM); Guillermo Tenorio, Sergei Silich (INAOE).

## Bibliografía

- Babul, A., & Rees, M. 1992, MNRAS, 255, 346  
 Binggeli, B. 1994, en Proceedings del ESO/OHP “Workshop on Dwarf Galaxies”, Garching: European Southern Observatory y (ESO), eds. G. Meylan and P. Prugniel, p.13  
 Binggeli, B., & Cameron, L.M. 1991, A&A 252, 27  
 Blitz, L., & Robishaw, T. 2000, ApJ 541, 675  
 Bomans, D. 2001, Reviews of Modern Astronomy 14, en prensa.  
 Bothum, G. et al. 1986, AJ 92, 1007  
 Brinks, E., & Klein, U. 1988, MNRAS, 231, 63  
 Brinks, E. 1990, en “Interstellar Medium in Galaxies” Dordrecht: Kluwer, p. 39  
 Broadhurst, T.J., Ellis, R. S., & Shanks T. 1988, MNRAS, 235, 827  
 Cairós, L.M. 2000, Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna  
 Cairós, L.M., Caon, N. Vílchez, J. M., González-Pérez, J.N., Iglesias-Páramo, J. 2001b, ApJS en prensa  
 Cairós, L.M., & Vílchez, J. M. 1998, en *The Magellanic Clouds and other Dwarf Galaxies*, eds. Richtler T. & Braun J.M., Shaker Verlag. (Bonn-Alemania), p. 235  
 Cairós, L. M., Vílchez, J. M., González-Pérez, J.N.,

- Iglesias-Páramo, J., & Caon, N. 2001a ApJS , 133, 321
- Campbell, A.W., & Terlevich, R. 1984, MNRAS 211, 15
- Campos-Aguilar, A., & Moles, M. 1991, A&A, 241, 358
- Campos-Aguilar, A., Moles, M., & Masegosa, J. 1993, AJ, 106, 1784
- Castañeda, H., Vílchez, J.M., & Copetti, M. 1990, ApJ 365, 164
- Da Costa, G. 1994, en Proceedings del ESO/OHP "Workshop on Dwarf Galaxies", Garching: European Southern Observatory (ESO), eds. G. Meylan and P. Prugniel, p. 221
- Davies J.L., & Phillips, S. 1988, MNRAS 233, 553
- Dekel, A., & Silk, J. 1986, ApJ 303, 39
- D'Ercole, A., & Brighenti, F. 1999, MNRAS 309, 941
- Doublier, V., Comte, G., Petrosian, A., Surace, C., & Turatto, M. 1997, A&AS 124, 405.
- Doublier, V. et al. 1999, A&AS 138, 213
- Faber, S.M., & Lin, D.N.C. 1983, ApJ 266, L21
- Fanelli, M.N., O'Connell, R. W., & Thuan, T.X., 1988, ApJ, 334, 665
- Ferguson, H.C. 1992, in Proceedings of the 27<sup>th</sup> Rencontre de Moriond, *Physics of Nearby Galaxies: Nature or Nurture?* ed. Thuan T.X., Balkowski C. & Van J.T.T. (Gif-Sur-Yvette: Editions Frontieres), p.443
- Ferguson, H.C., & Binggeli, B. 1994, A&A Review, vol.6, no.1, pag.67
- Gallagher, J., & Hunter, D.A. 1984, Ann. Rev. A&A 22, 37
- Gallagher, J., & Hunter, D.A. 1987, AJ 94, 43
- Gerola, H. et al. 1980, ApJ 242, 517
- Gil de Paz, A., Zamorano, J. Gallego, J., & Domínguez, F.B. 2000, A&AS 145, 377
- González Delgado, R.M. et al. 1999, ApJS 125, 479
- Guzmán, R., Gallego, J., Koo, D.C., Phillips, A.C., Lowenthal, J.D., Faber, S.M., Illingworth, G.D., & Vogt, N.P. 1997, ApJ 489, 559
- Haro, G., 1956, BOTT, 2, 8
- Hashimoto, Y., Oemler, A., Lin, H., & Tucker, D.L. 1998 ApJ 499, 589
- Haynes, M., Giovanelli, R., & Chincarini, G.L. 1984; ARA&A 22, 445
- Held, E.V., & Mould, J.R. 1994, AJ 107, 1307
- Hodge, P. 1971, Ann. Rev. A&A 9, 35
- Hunter, D.A. 1982, ApJ 260, 81
- Hunter, D.A., & Gallagher, J. 1986, PASP 98, 5
- Hunter, D.A. et al. 1994, AJ 108, 84
- Iglesias-Páramo, J., & Vílchez, J.M. 1999, ApJ 518, 94
- Izotov et al. 1994, ApJ 435, 647
- Izotov, Y., & Thuan, T.X. 1998, ApJ 500, 188
- James, P.A. 1994, MNRAS, 269, 176
- Jones, J.E. et al. 1984, ApJ 283, 457
- Kormendy, J. 1985, ApJ 295, 73
- Kormendy, J., & Bender, R. 1994, en Proceedings del ESO/OHP "Workshop on Dwarf Galaxies", Garching: European Southern Observatory (ESO), eds. G. Meylan and P. Prugniel, p. 161
- Kraan-Korteweg, R.C. 1986, A&AS 66, 255
- Krienke, J.O.K., & Hodge, P.W. 1974, AJ 79, 1242
- Kunth, D., & Ostlin, G. 2000, A&A Review 10, 1
- Kunth, D., & Sargent W.L.W. 1986, ApJ 300, 496
- Kunth, D., Martin, J.M., Maurogordato, S., & Vigroux, L. 1985, in *Star-Forming Dwarf Galaxies and Related Objects*, en: Kunth D., Thuan T.X., Tran Thanh Van J. (eds) Frontieres.
- Legrand, F. et al. 2000, A&A 354, 504
- Loose, H.-H., & Thuan, T. X. 1985, en *Star-Forming Dwarf Galaxies and Related Objects*, eds. Kunth D., Thuan T.X., Van T.T., Paris: Editions Frontieres, p.73
- Maíz-Apellániz, J., Mas-Hesse, J.M., Muñoz-Tuñón, C., Vílchez, J.M., & Castaneda, H.O. 1998, A&A 329, 409
- Marlowe, A. et al 1997, ApJS 112, 285
- Mas-Hesse, M., & Kunth, D. 1991, A&AS 88, 399
- Mayya, Y.D. 1997, ApJ 482, L149
- McGregor, P.J. 1987, ApJ 312, 195
- McNamara, B.R. et al. 1994, AJ 108, 844
- Melnick, J. 1987, en "Starbursts and galaxy evolution" Proceedings of the 22 Moriond Astrophysics Meeting, Gif-sur-Yvette, France, Editions Frontieres, p. 215
- Melnick, J. et al. 1985, Rev. Mex. A&A 11, 91
- Meurer, G.R. et al. 1992, AJ 103, 60.
- Muñoz-Tuñón, C. et al. 1996, AJ 112, 1636
- Noeske, K., Iglesias-Páramo, J., Vílchez, J.M., Papaderos, P., & Fricke, K. 2001, A&A 371, 806
- Oloffson, K. 1989, A&AS 80, 317
- Ostlin, G. 2001, en "The Evolution of Galaxies I. Observational Clues" Vílchez, J.M., Stasińska, G., Pérez, E. eds. 2001 en prensa.
- Papaderos, P. et al. 1994, A&A 291, 13
- Papaderos, P., Loose, H.-H., Thuan, T. X., & Fricke, K. J. 1996a, A&AS, 120, 207
- Papaderos, P. et al 1996b A&AS 314, 59
- Patterson, R.J. 1995, PhD Thesis, University of Virginia
- Patterson, R.J., & Thuan, T.X. 1992, ApJ 400, L55
- Patterson, R.J., & Thuan, T.X. 1996, ApJS 107, 103
- Pustil'nick et al. 1995, ApJ 433, 499
- Pustil'nick et al. 2001, A&A 373, 24
- Puche, D. et al. 1992, AJ 103, 1841
- Roberts M.S., & Haynes M.P., 1994 Ann. Rev. A&A 32, 115
- Sandage, A., & Brucato, R. 1979, AJ 84 492
- Sargent, W.L.W., & Searle, L. 1970, AJ, 162, L155
- Schweizer, F. 1998, en "*Galaxies Interactions and Induced Star Formation*" Saas-Fee Advanced Course, 26, 105
- Searle L., Sargent W.L.W., & Bagnuolo, W.G. 1973, ApJ, 173, 25
- Silich, S., & Tenorio-Tagle, G. 2001, ApJ 552, 91
- Silk, J., Wyse, R.F.G., & Shields, G.A. 1987, ApJ 322, L59
- Staveley-Smith, L. et al. 1992, MNRAS 258, 334
- Taylor C., Brinks E., & Skilman E.D., 1993, AJ 105,

128

- Taylor, C.L., Brinks, E., Grashius, R.M., & Skillman, E.D. 1995, ApJS, 102, 1 89.
- Taylor C., Thomas D., Brinks E., & Skilmann E.D., 1996, ApJS 107, 143
- Telles, J.E. 1995, PhD Thesis, *The Structure and Environment of H II Galaxies*, Cambridge University
- Telles, J.E., & Terlevich, R. 1995, MNRAS, 275, 1
- Telles, J.E., & Terlevich, R. 1997, MNRAS, 286, 183
- Terlevich, R., Melnick, J., Masegosa, J., Moles, M., & Copetti, M.V.F. 1991, A&AS, 91, 285
- Thuan, T.X. 1983, ApJ 268, 667
- Thuan, T.X. 1985, ApJ 299, 881
- Thuan, T.X., & Martin, G.E. 1981, ApJ 247, 823
- Thuan, T.X. et al. 1991, ApJ 378, 65
- Thuan, T.X. et al. (eds) 1992, Proceedings of the 27<sup>th</sup> Rencontre de Moriond, *Physics of Nearby galaxies: Nature or Nurture?* (Gif-Sur-Yvette: Editions Frontieres)
- Tully, R.B. 1988, Nearby Galaxies Catalog, Cambridge University Press
- Tyson, J.A. 1988, AJ 96, 1
- Vílchez, J.M. 1995, AJ, 110, 1090
- Vílchez, J.M. 1999, en “ESO Workshop: Chemical Evolution from Zero to High Redshift” eds. J. Walsh & M. Rosa , p. 175
- Vílchez, J. M., & Iglesias-Páramo, J. 1998, ApJ, 508, 248
- Westpfahl, D., & Puche, D. 1994 en Proceedings del ESO/OHP “Workshop on Dwarf Galaxies”, Garching: European Southern Observatory (ESO), eds. G. Meylan & P. Prugniel, p. 295
- Zwicky F. 1971, *Catalogue of Selected Compact Galaxies and Post-Eruptive Galaxies*, publicado por el autor, Suiza
- Zwicky, F., Herzog, E., Will, P., Karpowicz, M., & Kowal, C. 1960–1968, *Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies* (Pasadena: Caltech)
-

## Tesis doctorales

### *Las coronas estelares de los sistemas binarios activos*

Jorge Sanz Forcada      jsanz@astropa.unipa.it

**Director/es:** Andrea K. Dupree y Manuel Cornide Castropiñeiro

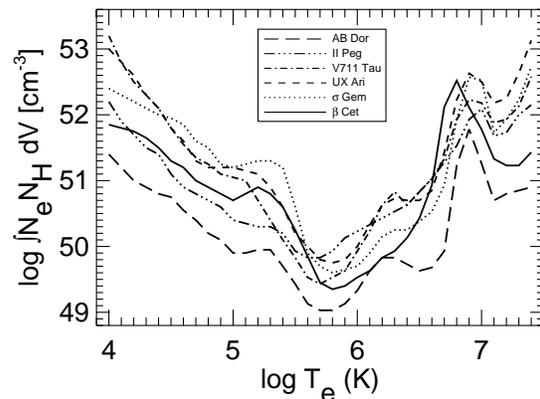
**Centro:** Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

**Lectura:** 19 de octubre de 2001

El estudio de las coronas estelares cuenta, como tantos otros campos en la Astrofísica, con la gran limitación que supone la falta de resolución espacial que permita discernir las estructuras responsables de su emisión. Por otra parte, las características propias de las coronas, con temperaturas superiores al millón de grados, hacen prácticamente imposible su estudio con telescopios en Tierra, siendo los satélites de observación en el extremo ultravioleta (EUV) y rayos X la base de la investigación en este campo. Debido a la mencionada falta de resolución espacial, se suele recurrir al empleo de la *Distribución de la Medida de Emisión* (EMD), lo que da una idea de la forma en que se distribuye la materia con la temperatura en la corona estelar.

En los últimos 25 años se han venido obteniendo espectros de baja resolución o fotometría básica en los rangos de las altas energías, que han permitido obtener una idea simplificada de la emisión de la corona mediante ajustes de dichos espectros con coronas emitiendo en un pequeño número de temperaturas (normalmente 2 temperaturas). La verdadera estructura de las coronas estelares no ha empezado a conocerse hasta la llegada del *Explorador del Extremo Ultravioleta (EUVE)*, que mediante la obtención de espectros de alta resolución ha proporcionado flujos individuales de líneas espectrales formadas en el rango de temperaturas entre  $\sim 5 \times 10^5$  K y  $\sim 6 \times 10^7$  K, que han permitido calcular las primeras *distribuciones* de la medida de emisión. Lamentablemente la mayoría de los estudios publicados aplicando los modelos de emisión atómica para explicar las observaciones no aprovechan todo el potencial de los mismos, limitándose a hacer ajustes globales al espectro con dudosa fiabilidad, o en el mejor de los casos suponiendo que toda la emisión de cada línea espectral procede de una sola temperatura.

A lo largo de esta tesis se describe el comportamiento de las coronas estelares en 28 estrellas de últimos tipos, a través del análisis de los datos proporcionados por el *EUVE* a lo largo de 8 años de funcionamiento, mediante el estudio de sus curvas de luz y espectros. Estos espectros se han utilizado para el cálculo de la EMD empleando *todo* el rango de emisión proporcionado por los modelos atómicos para las líneas espectrales de iones de Fe IX–XXIV. El cálculo de la EMD ha sido aplicado a 22 sistemas binarios activos (principalmente estrellas de tipo RS CVn o BY Dra) y 6 estrellas ais-



**Fig. 1.** Comparación entre las Distribuciones de la Medida de Emisión de 6 estrellas con diferentes parámetros físicos.

ladas o con compañeras en órbita lejana. El estudio de la EMD en la corona ha sido extendido a la región de transición mediante la inclusión en el análisis en primera aproximación de líneas medidas con IUE procedentes de iones de C, O, Si y N.

Tratándose del primer estudio sistemático de este tipo, el análisis de estos datos ha dado lugar a la identificación de coronas que se encuentran en estado activo con mucha frecuencia, con emisiones de fulguraciones que multiplican la luz de la estrella en el rango EUV hasta por un factor 17, y la observación de modulación rotacional en algunos casos. El estudio de los espectros ha mostrado incrementos muy destacables en la intensidad de las líneas de altos estados de ionización del hierro durante fulguraciones. Los cocientes de flujos de las líneas han permitido la estimación de densidades electrónicas de  $\log N_e(\text{cm}^{-3}) \sim 11.5 - 13.5$  para  $T \sim 10^7$  K, implicando volúmenes emisores del orden de  $\sim 0.001 R_*$ . Por último, el análisis de la EMD en los sistemas ha mostrado unas sorprendentes similitudes entre la mayoría de las estrellas, independientemente de factores como la clase de luminosidad, el periodo de rotación o la edad de la estrella (véase Figura 1). Como características a destacar se encuentra la presencia de una estrecha elevación en la medida de emisión, más conocida con el término inglés *bump* (traducible como “joroba”) presente en torno a  $\sim 8 \times 10^6$  K, y con una tendencia general en la EMD en función de la temperatura, primero decreciente, entre  $\sim 10^4$  K y  $\sim 10^5$  K, para luego pasar a ser creciente entre  $\sim 10^6$  K y la joroba, con un mínimo no bien acotado, pero presente entre  $\sim 10^5$  K y  $\sim 10^6$  K, dependiendo del caso. Además un segundo pico parece dominar la EMD en casos de poca actividad como el solar (en torno a  $\sim 2 \times 10^6$  K).

Finalmente se ha propuesto, como explicación más plausible a las distribuciones observadas, el balance entre bucles con diferentes temperaturas máximas de emisión como responsable de la forma general de la EMD, observándose una coincidencia notable en la presencia de las dos temperaturas en que encuentran sus máximos estos bucles.

## *The circumstellar gas evolution from the AGB to the Planetary Nebula phase*

Eva Villaver Sobrino                      villaver@stsci.edu

**Director/es:** Arturo Manchado y Guillermo García-Segura

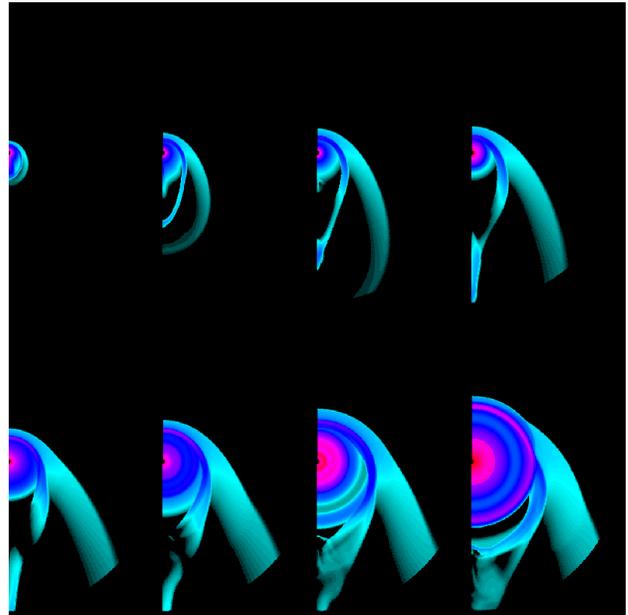
**Centro:** Instituto de Astrofísica de Canarias

**Lectura:** 20 de julio de 2001

Las estrellas progenitoras de las Nebulosas Planetarias (NPs) ascienden por la rama asintótica de gigantes (RAG) tras agotar el hidrógeno y el helio como combustibles nucleares. Al finalizar la evolución durante la RAG la estrella se mueve, a luminosidad constante, hacia temperaturas efectivas más elevadas, provocando la ionización de la envoltura estelar previamente eyectada y dando lugar a la formación de la NP. En la formación y posterior evolución de las NPs intervienen varios procesos (p.e. interacción de vientos, fotoionización del gas), pero quizás el más estrechamente ligado a lo que luego será la estructura de la NP y el menos tratado hasta la fecha sea el efecto de la pérdida de masa durante la RAG. La evolución estelar durante la RAG se caracteriza por altas tasas de pérdida de masa moduladas por los pulsos térmicos. El viento estelar genera las estructuras observadas alrededor de estrellas durante la RAG y durante las fases de proto-NP y NP, su formación es compleja, depende del tratamiento de la pérdida de masa en evolución estelar y requiere el uso de modelos numéricos para su estudio.

En esta tesis se ha estudiado, por primera vez, la evolución del gas circunestelar desde la fase de pulsos térmicos durante la RAG hasta la formación de la NP. Para ello, se han realizado simulaciones numéricas, utilizando descripciones realistas del viento estelar en cada fase, tal y cómo predicen los modelos teóricos de evolución estelar. Se ha investigado, en un intento por obtener una visión completa del proceso de formación de las NPs y de sus características, la evolución del gas eyectado para todo el rango de masas, que, de acuerdo con la teoría de evolución estelar, dan origen a su formación. Para ello, se han utilizado seis modelos con masas 1, 1.5, 2, 2.5, 3.5 and 5  $M_{\odot}$  y metalicidad solar siendo estos los primeros modelos de formación de NPs que tienen en cuenta la influencia de la masa de la estrella progenitora. También se ha estudiado el efecto de la presión ejercida por el MI. Para realizar una comparación detallada de nuestros modelos con observaciones se obtuvieron espectros *echelle* de alta resolución de una amplia muestra de NPs que morfológicamente presentan capas múltiples y se estudió la cinemática de las diferentes capas.

Como resultado de las simulaciones se encuentra que la evolución del gas es altamente no lineal y que las modulaciones del viento durante la RAG no permanecen grabadas en la estructura del gas, ya que dan lugar



**Fig. 1.** Logaritmo de la densidad del gas a intervalos temporales de 60,400 años de una estrella de  $1 M_{\odot}$  moviéndose a  $20 \text{ km s}^{-1}$  respecto a un MI homogéneo con densidad  $0.01 \text{ cm}^{-3}$ . Los gráficos cubren desde las altas tasas de pérdida de masa durante la AGB hasta la formación de la NP.

a la formación de capas con una vida media de  $\sim 20000$  años. Por lo tanto, concluimos que no es posible utilizar las observaciones para recuperar información acerca de la historia de pérdida de masa sufrida por la estrella y, en particular, el número de pulsos térmicos que ha experimentado, o el intervalo de tiempo transcurrido entre dos eventos consecutivos de pérdida de masa. Encontramos que el MI tiene un efecto no despreciable en el frenado y compresión de las capas externas. Además, un porcentaje muy alto de la masa contenida en las capas externas es material del MI que ha sido barrido por el viento. Se ha considerado, por primera vez, el efecto que tiene la fase de transición entre la RAG y la NP en la estructura del gas, encontrando que determina el tamaño y la evolución dinámica de la capa interna de la NP. Se explica la diferencia que se observa entre las edades dinámicas en NPs y el estado evolutivo de sus estrellas centrales y se enfatiza la importancia de los efectos dinámicos de la fotoionización en la formación de capas. Se encuentra también que las observaciones infraestiman la masa ionizada presente en las NPs.

Se ha estudiado la interacción de la estrella con el MI. Para ello se ha considerado, por vez primera, que la estrella, mientras evoluciona, se mueve a través de un MI homogéneo. Encontramos que, en contradicción con lo que se ha venido considerando hasta la fecha, no son necesarias ni altas velocidades relativas, ni altas densidades del MI para que se produzca la interacción y que además tiene importantes consecuencias en la estructura del gas desde el comienzo de la evolución (ver Figura 1).

## *Estudio del efecto Evershed y de la estructura fina del campo magnético en la penumbra de las manchas solares*

Eduardo J. Vela Villahoz

**Director/es:** Jorge Sánchez Almeida

**Centro:** Instituto de Astrofísica de Canarias

**Lectura:** 14 de diciembre de 2001

A pesar de que se conoce la existencia de las manchas solares desde hace mucho tiempo, todavía no se entienden completamente los procesos físicos que hacen posible que las manchas solares aparezcan, mantengan su estructura casi inalterada durante semanas o incluso meses, y finalmente desaparezcan.

Ello se debe, principalmente, a que es muy reducido el número de observaciones con resoluciones espaciales por debajo del segundo de arco, capaces de resolver las escalas en las que se cree que ocurren la mayoría de los procesos que intervienen tanto en la formación como en el mantenimiento de una mancha. Además, las escasas observaciones de este tipo ofrecen, con frecuencia, resultados contradictorios.

Esos mismos motivos hacen muy difícil la identificación inequívoca del origen del efecto Evershed, un importante fenómeno presente en todas las manchas y descubierto hace más de noventa años.

La polarización instrumental es un inconveniente común a las observaciones capacitadas para responder a las cuestiones arriba planteadas, por lo que en esta tesis se introduce un método destinado a minimizar dicho inconveniente de una forma sencilla: las líneas sin polarización instrumental. Se describen, asimismo, unas observaciones de muy alta resolución espacial (límite por difracción igual a 0.3 segundos de arco) en las que se aplica este método, y se presentan unos veloces códigos numéricos basados en este tipo de líneas que, a partir de los datos polarimétricos recogidos en las observaciones, obtienen información acerca del campo magnético y de la velocidad.

A continuación, haciendo uso de dicha información, se investiga la estructura fina de los campos magnético y de velocidad en la penumbra de las manchas solares, encontrando lo siguiente:

- El campo magnético tal vez forma estructuras más pequeñas que los filamentos penumbrales.
- El campo magnético suele ser más horizontal en los filamentos oscuros que en los brillantes y, quizá, también más intenso.
- Las mayores velocidades asociadas al efecto Evershed tienden a ocurrir en los filamentos oscuros de la penumbra.
- La relación hallada entre la velocidad y la inclinación del campo magnético es compatible con que el efecto Evershed sea consecuencia de flujos de materia.

- La relación entre la velocidad en la línea de visión y su gradiente parece depender de una forma sistemática del ángulo heliocéntrico de la mancha observada. Especialmente destacado es que el signo de la velocidad no siempre coincide con el de su gradiente.

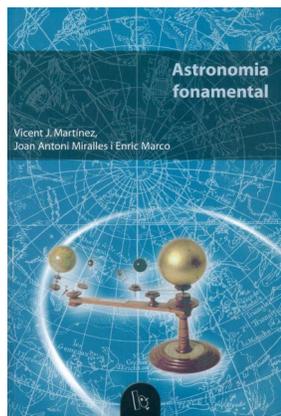
Por último, se propone un escenario simple según el cual la penumbra estaría formada por tubos de flujo magnético colocados uno encima de otro de modo que el campo se volviera más horizontal con la profundidad. Además, dichos tubos transportarían flujos de sifón cuyas velocidades máximas aumentarían con la profundidad (en los niveles fotosféricos de la penumbra). Las conclusiones más importantes referentes a este escenario son:

- Podría explicar por qué las asimetrías de las líneas espectrales indican que la velocidad aumenta con la profundidad en la penumbra de una manera distinta a la que se infiere de la comparación de líneas con diferentes alturas de formación.
- Consigue reproducir, al menos cualitativamente, las características más destacadas de la relación observada en la penumbra entre la velocidad en la línea de visión y su gradiente.

## *Astronomia Fonamental*

Vicent J. Martínez, Joan Antoni Miralles y Enric Marco

Publicacions de la Universitat de València, 272 páginas, 18.03 euros (3000 pesetas), ISBN 84-89784-70-1.



Una vez aprobados ya los planes de estudios de Ciencias Físicas y Matemáticas en casi todas las Universidades, e incluso en algunas de ellas ya reformados, la Astronomía ha pasado a ser materia común en muchos de ellos. Este hecho, que sólo se daba anteriormente en un selecto número de Universidades, conlleva un replanteamiento de la docencia de la Astronomía que pasa de ser un conjunto de materias “para aquellos que quieran seguir esta especialidad” a ser un componente fundamental de las Ciencias Físicas o Matemáticas. El libro *Astronomia Fonamental* (en catalán, de momento) constituye un texto que si no lo hubieran escrito ya sus autores, habría que encargárselo. Su gran virtud consiste en que es la herramienta ideal para dar soporte a esa asignatura típicamente iniciadora en la Astronomía que muchas Universidades han incorporado en el primer ciclo. En ese sentido el libro cumple un doble objetivo: por un lado el iniciar en una amplia gama de conocimientos sobre las variadas facetas de la Astronomía a aquellos alumnos que acabarán estudiando una especialidad de Astronomía en el segundo ciclo; por otro lado, y no menos importante, el asegurar que aquellos alumnos de estas licenciaturas que no cursen una especialidad de este tipo en el segundo ciclo, no terminen su licenciatura sin tener unos conocimientos básicos de Astronomía.

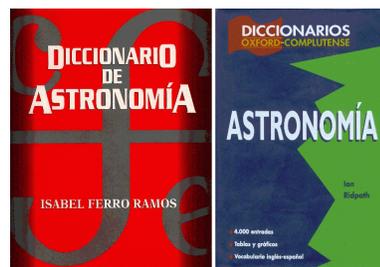
El libro cubre en 269 páginas los temas principales que deberían estudiarse para cumplir los objetivos anteriores con un nivel suficiente. Empieza con una introducción general e histórica, después repasa la Astronomía esférica y el movimiento de los astros (con un enfoque que delata quizá su mayor orientación a la Licenciatura de Matemáticas). Después entra ya en la descripción del Sistema Solar (con cierto detalle), el espectro electromagnético, las estrellas, las galaxias y por último, la Cosmología. Aunque las extensiones relativas de los capítulos puedan no reflejar los pesos relativos de la investigación en las distintas ramas de la Astronomía, probablemente sean las más adecuadas para una introducción general, que es lo que pretende ser.

En conjunto, es una obra muy recomendable como introducción general a la Astronomía para alumnos de licenciatura, misión que cumple con brillantez.

Xavier Barcons, Francisco J. Carrera  
barcons,carreraf@ifca.unican.es

Ian Ridpath, *Diccionario de Astronomía*, Diccionarios Oxford-Complutense, Ed. Complutense (1998). Traducción: Alejandro Ibarra Sixto. ISBN 84-89784-70-1.

Isabel Ferro Ramos, *Diccionario de Astronomía*, Fondo de Cultura Económica (1999). ISBN 968-16-6076-6.



Un fenómeno curioso del mercado editorial en España consiste en el gran éxito que cosechan las grandes obras lexicográficas. Las ediciones recientes de diccionarios como el de la Real Academia, el de María Moliner o el “Secó” se han vendido por decenas de miles. Sin embargo, el fenómeno parece restringido a los diccionarios de carácter general. Con la intención de paliar esta circunstancia, presentamos dos diccionarios especializados sobre Astronomía en castellano.

La Editorial Complutense ha publicado la traducción al castellano de la serie de diccionarios científicos especializados de Oxford University Press, de autores y temas variados, y calidades bien distintas. El volumen sobre Astronomía lo ha elaborado un científico de prestigio y experto divulgador, Ian Ridpath, y resulta ser uno de los mejores de la serie. Contiene más de 4000 entradas con definiciones extensas y que abarcan todos los aspectos de la Astronomía, desde la observación visual hasta la cosmología pasando por biografías de científicos destacados.

La editorial mejicana Fondo de Cultura Económica asumió el riesgo de publicar el *Diccionario de Astronomía* confeccionado originalmente en lengua española por la astrónoma profesional cubana Isabel Ferro Ramos. También cubre todos los aspectos de la Astronomía y con un enfoque más enciclopédico que hace que, aunque cuente con solo unas 2500 entradas, los contenidos globales sean comparables (y en algunos aspectos superiores) a los del diccionario de Ridpath.

Ambos diccionarios están disponibles en las librerías usuales y son complementarios. La calidad de la obra de Ridpath sufre por el hecho de tratarse de un trabajo traducido. Como es bien sabido, la traducción directa de obras lexicográficas confeccionadas en otra lengua implica siempre riesgos y limitaciones si no se emprende junto al trabajo de traducción otro de revisión y adaptación integral, algo que no se ha hecho en este caso. Así, aparecen términos estrambóticos que deberían haberse adaptado, se introducen distinciones terminológicas inglesas que en castellano no existen y se incrementan algunas dudas y vacilaciones que ya de por sí son frecuentes en la terminología Astronómica. Si bien el diccionario de Ferro Ramos es algo menos amplio, presenta la ventaja de estar redactado en castellano desde el principio y tanto por este motivo como por el tratamiento diferente (menos escolar, más académico) que da a los artículos, complementa a la perfección el de Ridpath. Resulta interesante, por ejemplo, comparar el tratamiento dado en ambas obras a términos como *Gran Explosión*, *aurora*, *luz antisolar* o *cuásar*, en cada caso con sus diferencias de ortografía, matiz, orientación y contenido.

En definitiva, se trata de libros recomendables que en las bibliotecas de los astrónomos hispanohablantes deberían estar siempre a mano y bien juntos en la misma estantería.

David Galadí-Enríquez galadied@inta.es



**Sociedad Española de Astronomía**  
Av. Diagonal 647  
E-08028 Barcelona

Secretaría: [secretaria@sea.am.ub.es](mailto:secretaria@sea.am.ub.es)  
Teléfono: 93-4021125

<http://sea.am.ub.es>