



# Boletín

Sociedad  
Española de  
Astronomía

ISSN 1575-3476  
Depósito legal M-18326-1999  
Número 6, julio 2001

## Contenidos

|                                                                                                                                                                                                                                                |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Editorial</b> .....                                                                                                                                                                                                                         | i     |
| <b>Comisión de información</b> .....                                                                                                                                                                                                           | i     |
| <b>Cartas a los Editores</b> .....                                                                                                                                                                                                             | ii    |
| <b>Presentación de la nueva Junta Directiva</b> .....<br><i>Eduard Salvador Solé</i>                                                                                                                                                           | iv    |
| <b>Contaminación lumínica en Catalunya: historia de una Ley</b> .....<br><i>Pere Horts Font</i>                                                                                                                                                | v     |
| <b>El Gran Telescopio Canarias prepara su integración en el ORM</b> .....<br><i>José Miguel Rodríguez Espinosa, Pedro Álvarez Martín</i>                                                                                                       | vi    |
| <b>Estudio sociológico de los doctores españoles en el campo de la Astronomía</b> .....<br><i>Eduardo Battaner López, Antonio Jesús Delgado Sánchez, José Miguel Rodríguez Espinosa,<br/>Eduard Salvador Solé, José María Torrelles Arnedo</i> | ix    |
| <b>Instrumentación radioastronómica en la Estación Espacial de Robledo</b> .....<br><i>José Francisco Gómez, Cristina García Miró</i>                                                                                                          | xvi   |
| <b>La misión <i>Planck</i></b> .....<br><i>Enrique Martínez González</i>                                                                                                                                                                       | xvii  |
| <b>SOHO y su contribución a la física del Sol</b> .....<br><i>Vicente Domingo Codoñer</i>                                                                                                                                                      | 1     |
| <b>Tesis doctorales</b> .....                                                                                                                                                                                                                  | xxii  |
| Contribución al estudio de la dinámica Galáctica: superposición de sistemas estelares.....<br><i>Santiago Alcobé</i>                                                                                                                           | xxii  |
| Improving the image quality of large segmented mirror telescopes.....<br><i>Carmen Dolores Bello Figueroa</i>                                                                                                                                  | xxiii |
| A Comprehensive Study of High Metallicity-Giant Extragalactic HII Regions.....<br><i>Marcelo Castellanos Beltrán</i>                                                                                                                           | xxiv  |
| Las enanas marrones y planetas aislados en cúmulos jóvenes: caracterización, evolución y función de masas.....<br><i>Víctor Javier Sánchez Béjar</i>                                                                                           | xxv   |
| Estudio de las propiedades óptico-infrarrojas de la muestra B3-VLA de radio cuásares y su relación con el entorno.....<br><i>Sebastián F. Sánchez Sánchez</i>                                                                                  | xxvi  |
| <b>Reseñas de libros</b> .....                                                                                                                                                                                                                 | xxvii |
| Astronomía General: Teórica y Práctica.....<br><i>Eduard Masana Fresno</i>                                                                                                                                                                     | xxvii |
| <b>La imagen</b> .....<br><i>Fernando Comerón Tejero</i>                                                                                                                                                                                       | xxvii |

### **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

Nos encontramos ante uno de los números más densos en contenido de cuantos hasta ahora hemos editado, de modo que no nos extenderemos demasiado en este editorial para dejaros que aprovecheis el tiempo leyendo las distintas contribuciones que incluimos en este Boletín.

Por primera vez, y esperamos que no sea la última, tenemos dos "Cartas a los editores", una llamando la atención sobre la situación del personal investigador en formación y otra acerca de la entrada de España en el *European Southern Observatory*. La larga periodicidad del Boletín hace imposible un debate ágil sobre el papel impreso, por lo que os animamos a utilizar la lista de correo [discusion@sea.am.ub.es](mailto:discusion@sea.am.ub.es) para intercambiar opiniones sobre estos temas, tan importantes para todos. Os recordamos que, al igual que el Boletín, las listas de la SEA son foros de total libertad de expresión para sus socios, siempre y cuando no se llegue a la ofensa personal o institucional. Nunca nos anquilosaremos si logramos hablar y acercarnos sobre las posturas en que tengamos discrepancias.

Como veis en la portada del Boletín, además de las secciones habituales incluimos una gran variedad de temas, desde una puesta al día del estatus del GTC y la historia de la gestación de la Ley de Protección del Cielo en Catalunya, hasta una descripción de la instrumentación radioastronómica disponible en la Estación de Robledo de Chavela y un artículo sobre la misión *Planck*. Llamamos la atención sobre un detallado y aleccionador estudio sociológico preparado por cinco compañeros de la SEA acerca de la situación de los doctores españoles en Astronomía. En esta ocasión sólo publicamos un artículo de revisión, dedicado a *SOHO*, escrito por Vicente Domingo.

No quisieramos cerrar estos párrafos sin agradecer a Javier Gorgas su paso como editor del Boletín. Ha sido una etapa corta, pero como bien ha podido comprobar, intensa. Le deseamos lo mejor en su nueva etapa como Tesorero de la SEA, y damos la bienvenida a Jaime Zamorano como nuevo editor del Boletín.

Los editores

---

## Comisión de información

Como ya se anunció en su momento a través de la lista de noticias, hemos puesto en marcha en las páginas de la SEA una herramienta que permite la búsqueda de la dirección de correo electrónico y el teléfono de los miembros de la SEA a partir de su nombre y/o apellidos.

| Miembros                                                                                                                                                                                                                                         |                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Búsqueda por nombre y/o apellidos en la lista de miembros</b>                                                                                                                                                                                 |                                       |
| <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                             | <input type="button" value="Buscar"/> |
| Sólo se admiten búsquedas simples.<br>Por ejemplo las claves "Joan Manel", "Serrat", "Manel S" servirán para encontrar "Joan Manel Serrat". Por el contrario, la clave "Joan Serrat" no servirá.<br><b>No se pueden usar comodines (* ? etc)</b> |                                       |
| Para cualquier consulta o sugerencia contactar con <i>Xavier Luri</i><br><a href="mailto:webmaster@sea.am.ub.es">webmaster@sea.am.ub.es</a>                                                                                                      |                                       |
| <b>Por orden alfabético:</b> <a href="#">Miembros.dvi</a> , <a href="#">Miembros.ps</a>                                                                                                                                                          |                                       |
| <b>Por centros:</b> <a href="#">Centros.dvi</a> , <a href="#">Centros.ps</a>                                                                                                                                                                     |                                       |

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

Para el correcto funcionamiento de esta herramienta, así como de la SEA en general, es muy importante que dispongamos de vuestros datos actualizados. Os recordamos que podeis notificar cualquier cambio a la secretaria de la SEA, [secretaria@sea.am.ub.es](mailto:secretaria@sea.am.ub.es).

La comisión de información

---

### *La situación del Personal Investigador en Formación en España*

Como muchos de vosotros ya sabeis, el colectivo de Personal Investigador en Formación, en el que se incluyen de manera indiscriminada estudiantes de doctorado, becarios de investigación y otras figuras no muy bien delimitadas, está siendo especialmente maltratado en los últimos tiempos.

Con el fin de reivindicar los derechos que consideramos básicos para cualquier trabajador, se ha creado la “Federación de Jóvenes Investigadores – Precarios”. Esta Federación agrupa once asociaciones regionales de precarios, que luchan por cosas tan básicas como el derecho a la Seguridad Social, a bajas por maternidad o enfermedad, o a un subsidio de desempleo.

En los últimos tiempos, la investigación en España está alcanzando niveles críticos, ya que el hecho de alcanzar un doctorado hace tiempo que ya no asegura un futuro laboral estable, sino que cada vez hay más doctores pendientes de becas de investigación, algo que es totalmente inaceptable. Ocurre lo mismo con los becarios predoctorales, que realizan tareas importantes dentro de sus laboratorios y en muchas ocasiones están obligados a impartir docencia sin que en ningún momento sean reconocidos estos trabajos.

Desde *Precarios* consideramos que un correcto diseño de la carrera investigadora pasa por dotar de derechos básicos al personal que se inicia en la ciencia. Nuestras conversaciones con el gobierno, con partidos políticos, sindicatos, universidades y OPIs trabajan en esta línea, aunque en muchas ocasiones se hace oídos sordos a nuestras protestas o se intentan callar con palabras bonitas pero sin hechos. Por este motivo ha habido ya varias movilizaciones, como la manifestación del 2 de febrero en Madrid con más de 4000 participantes o los encierros de 24 horas en diversas universidades entre el 7 y el 8 de junio.

Consideramos que es fundamental el apoyo de la comunidad científica a nuestras reivindicaciones. Para ello, y por si os interesa saber más acerca de lo que estamos haciendo, os instaría a visitar nuestra página: <http://www.precarios.org>. En ella, aparte de otras muchas cosas, tenemos un Manifiesto que ya han firmado más de 3000 investigadores contratados, y que podeis suscribir siguiendo las indicaciones que ahí se muestran.

Olga Suarez Fernández      [olga@mail2.udc.es](mailto:olga@mail2.udc.es)  
Vicepresidenta de la Federación de Jóvenes Investigadores

*De cómo la comunidad astronómica española está ahora en mejores condiciones para su entrada en el ESO, y si bastaría con ¡pagar y ver ESO!*

Parto de la base de que la entrada de España en el Observatorio Europeo Austral (ESO) es globalmente beneficiosa para la Astronomía española. Cada uno puede sin duda encontrar múltiples razones para la adhesión al ESO.

Es obvio que la Astronomía española ha crecido de modo espectacular en los últimos años, sin que esto signifique motivo para el descanso. Falta mucho por hacer, y en Ciencia también se aplica el símil de la bicicleta, si se deja de pedalear se cae uno. Este crecimiento se ha debido en buena medida a la instalación en nuestro país de telescopios avanzados en su época, de países con comunidades astronómicas mucho más pujantes que la española en su momento. Sin olvidar, por supuesto, el buen aprovechamiento hecho de estas instalaciones por parte de la propia comunidad española, y del clima de desarrollo general de la Ciencia habido en España en la década de los 80 y parte de los 90.

Este crecimiento ha fallado sin embargo en algunos aspectos. En particular en lo relativo a la construcción de instrumentación astronómica puntera. En parte, esto puede haber sido consecuencia natural del tipo de educación excesivamente formal y teórica que es habitual en este país, unido a la dificultad de los centros españoles para contratar y retener personal técnico cualificado, dadas las pobres estructuras salariales y escasas expectativas profesionales para este tipo de personal. Otra razón para el atraso en instrumentación de la Astronomía española es el de que los españoles hemos sido meros usuarios de los telescopios e instrumentos que otros países han instalado en nuestro suelo, con muy escaso margen para incidir en los planes de futuro de estas instalaciones, y menos aún en sus programas de instrumentación. Esto puede estar cambiando en la actualidad, pero históricamente ha sido el caso.

Volviendo al asunto de la adhesión de España al ESO, creo que este país y su comunidad astronómica están ahora en mejores condiciones de lo que lo han estado nunca para dicha adhesión. Esto es así porque la comunidad astronómica española ha sabido explotar científicamente los telescopios e instrumentación instalados por otros países en observatorios españoles. La Astronomía española es por tanto hoy día una comunidad pujante y bien integrada en la Astronomía internacional. Véase, por ejemplo, el porcentaje de la literatura mundial en astronomía publicada por autores españoles, o la participación española en misiones de Astronomía espacial.

Sin embargo, es importante notar que en nuestro país existen otros aspectos de vital importancia que lo distinguen de otros países europeos en lo relativo a la Astronomía. Me refiero a la existencia en España

de observatorios cuya calidad para la observación astronómica es igualable solo a la de los mejores lugares del planeta. Además, la construcción del GTC, que con sus más y sus menos como cualquier proyecto semejante, progresa satisfactoriamente, es una baza en el haber de la Astronomía española que la sitúa entre los pocos países capaces de llevar adelante proyectos científicos de semejante envergadura.

Por ello, una posible y quizás necesaria adhesión de España al ESO no debiera hacerse de cualquier modo. España no puede, por adherirse a ESO, descuidar sus observatorios. Al contrario, ¿puede alguien no imaginarse el enorme potencial para la Astronomía española si formase parte de ESO y tuviese el GTC, el WHT, etc? ¿Qué otro país tendría tanto acceso a tiempo de telescopio, en el norte y en el sur?

Mi visión es ambiciosa. No creo que baste “pagar y ver” ESO. Creo que al mismo tiempo que negocia su adhesión al ESO, España debe ayudar al ESO a darse cuenta de lo mucho que tiene que ganar si a su vez ESO entra en España. Esto supondría una oportunidad clave para dotar a Europa de recursos observacionales en el hemisferio norte al menos comparables a las del sur. ¿O es que Europa sólo aspira a observar el hemisferio sur?

Por otra parte, el aprendizaje, escaso si se quiere pero no nulo, realizado o realizándose por la comunidad española en cuanto a la puesta en operación de telescopios e instrumentación, nos sitúa en mejor posición para usar eficientemente los telescopios, del norte o del sur, e incluso para participar con opiniones fundamentadas y con capacidades propias en los desarrollos de instrumentación futura para no sólo el GTC sino también los telescopios del ESO. ¡No creo que esto hubiera sido posible unos años antes!

José Miguel Rodríguez Espinosa [espinosa@ll.iac.es](mailto:espinosa@ll.iac.es)



# Presentación de la nueva Junta Directiva

Quisiera aprovechar este canal de comunicación tan nuestro como es el Boletín para saludaros y comentaros brevemente los objetivos que nos hemos marcado, desde la nueva Junta Directiva de la SEA, para los próximos cuatro años. Ante todo os pido disculpas por no haber podido incluir esta reseña en el número de enero del Boletín coincidiendo con el principio del nuevo mandato. Simplemente, no hubo tiempo para reunir a la Junta antes de su edición.

La renovación en la Presidencia de la SEA junto a otros cargos importantes como el de Vicepresidente o el de Tesorero es una buena ocasión para hacer un alto en el camino y reflexionar sobre lo andado. Para los más jóvenes y, por tanto, con menor memoria histórica empezaré recordando que la SEA tiene sólo 8 años, es decir, únicamente se han producido dos relevos de ese tipo desde su fundación. Pues bien, a pesar de su corta edad, la SEA ha alcanzado, sin duda alguna, la plena madurez. De hecho, ya se han producido las primeras bajas de socios, algunas voluntarias y otras por acuerdo de la Asamblea a propuesta del Tesorero. Pero las nuevas incorporaciones no cesan. Por ejemplo, el pasado año hubo 8 nuevos numerarios y 37 nuevos junior, aparte de las 14 personas que pasaron de junior a numerario al haber leído su tesis. Actualmente la SEA tiene un total de 372 socios, desglosados en 251 numerarios, 111 junior y 10 asociados. Así pues, si nos limitamos a los socios que poseen el título de Doctor como colectivo más representativo de lo que se normalmente entiende por Astronomía profesional, podemos afirmar con satisfacción que la gran mayoría –el 85 %– de todos los que son están.

La buena salud de la SEA también se manifiesta a través de la actividad que desarrolla. Basta ver el nivel alcanzado por el Boletín, fruto de la gran labor realizada por sus editores y por el Comité Editorial. O el gran interés que despiertan, especialmente entre los más jóvenes, las Reuniones Científicas bienales y las impecables publicaciones a que dan lugar. Luego está el nuevo Premio SEA a la mejor tesis doctoral y el trabajo continuo de las distintas comisiones: Científica, de Personal –véase, por ejemplo, el trabajo sociológico que se presenta en este Boletín–, de Enseñanza de la Astronomía, de Léxico y de Astronomía Amateur. Y no olvidemos las páginas *web* de la SEA y, sobre todo, las listas de Noticias y de libre Discusión que se han ido convirtiendo, poco a poco, en un elemento central de intercambio de información entre todos nosotros al tiempo que fiel reflejo de nuestras preocupaciones e intereses.

Todo ello en ocho años y sobre la base exclusiva del trabajo voluntario de unas pocas personas. Realmente creo que no está nada mal. En todo caso está claro que el camino andado por la SEA durante este

tiempo es ya irreversible. Así pues, podemos y debemos fijarnos nuevas metas más ambiciosas que la hasta ahora contemplada: poner en marcha y afianzar la sociedad. Como comenté en Santiago creo que ha llegado el momento de avanzar en lo que podríamos llamar la verdadera razón de ser de la sociedad. Va siendo hora de intentar conseguir que la Administración tenga en cuenta nuestra opinión a la hora de decidir sobre el futuro de la Astronomía en nuestro país. No pedimos ser nosotros los que decidamos; sólo pedimos ser escuchados y, en lo posible, tenidos en cuenta. La SEA representa perfectamente, como decía, al conjunto de los profesionales españoles en el ámbito de la Astronomía y Astrofísica. Luego, no contar con nuestra opinión a la hora de organizar nuestro futuro es un contrasentido que sólo se explica por la inercia de un pasado todavía cercano en el que no existía nuestra sociedad.

Pero para que la SEA pueda ser escuchada es necesario que tenga una opinión formada –lo cual no quiere decir, evidentemente, que todos tengamos que pensar de la misma manera–. Por eso otro objetivo que nos hemos marcado es el de intentar mantener informados a los socios sobre los temas de interés y debatirlos abiertamente entre nosotros, aprovechando las reuniones científicas, con el fin de enriquecernos con el debate y permitir al mismo tiempo a la Junta pulsar la opinión de los socios. No olvidemos que, como marcan los Estatutos, la SEA pretende ser un foro de discusión entre los profesionales de la Astronomía en España. En esta misma línea también nos proponemos organizar un sistema de consulta rápida o referéndum electrónico que permita a la Junta poder tomar decisiones urgentes en asuntos importantes teniendo en cuenta el sentir mayoritario de la sociedad.

Finalmente, para que la SEA tenga un mayor peso específico y sea escuchada por la Administración conviene incrementar en lo posible el número de actividades que organiza o promueve. Esto requiere una mayor holgura económica para lo cual convendría disponer de recursos complementarios a los aportados por los socios mediante el sistema de cuotas. Por este motivo nos proponemos buscar el mecenazgo de fundaciones o instituciones públicas y privadas.

No se nos escape que ninguno de estos tres grandes objetivos es fácil de alcanzar, especialmente el último. Sin embargo, debemos intentarlo. Para terminar quisiera pedir os vuestra comprensión ante los posibles fallos que podamos cometer y vuestra colaboración para que la Astronomía en España siga su camino ascendente.

Eduard Salvador Solé

eduard@am.ub.es

# Contaminación lumínica en Catalunya: historia de una Ley

El pasado 16 de mayo, el Parlament de Catalunya aprobó el texto de la “Llei d’ordenació ambiental de la il·luminació exterior per a la protecció del medi nocturn”, que, en el futuro, controlará la contaminación lumínica en Catalunya. Este hecho marca un hito en el proceso de generalización del reconocimiento social del valor del cielo y el ambiente nocturnos, y supone el inicio de un proceso de difusión social de la existencia de la contaminación lumínica y sus efectos negativos, algo de lo que, por lo general, únicamente teníamos constancia los astrónomos.

¿Cómo se gestó la ley? ¿De dónde surgió? La historia es larga y mencionaré únicamente sus hitos principales. Todo comenzó en 1993, cuando un reducido grupo de astrónomos aficionados de mi ciudad, Figueres, cobramos conciencia de que el deterioro acelerado del cielo nocturno iba a acabar con nuestra dedicación a la Astronomía. En solitario, establecimos contacto con la OTPC (Oficina Técnica de Protección del Cielo), del IAC, y la *International Dark-Sky Association*, recopilamos información y elaboramos propuestas, que presentamos a nuestro Ayuntamiento, sin resultado. En paralelo, empezamos a generalizar una campaña estatal de denuncia, con el apoyo del IAA, IAC, Greenpeace y agrupaciones de astrónomos aficionados, que fue anunciada en la Asamblea General de la SEA del año 1994 y presentada públicamente a principios de 1995 en la Facultat de Física de la UB. Notificada la campaña a las instancias pertinentes, no hubo respuesta favorable, pero al menos sirvió para conmocionar ligeramente y sensibilizar al colectivo de los astrónomos aficionados al respecto. Los contactos políticos que tuve entonces, se tradujeron en la aprobación de una moción en el Parlamento catalán, reconociendo el problema por primera vez.

Las elecciones municipales de 1995 lo cambiaron todo. Hice mi personal campaña de difusión del fenómeno y después de las elecciones, se elaboró un estudio del alumbrado de Figueres que proporcionó la prueba de los beneficios que se conseguían evitando la contaminación lumínica. Se aprobó un plan de regulación en 1996 y así mi ciudad se convirtió en la primera del territorio en disfrutar de protección. Divulgué la noticia en los medios de la astronomía amateur y ello redundó en el inicio de otros movimientos de denuncia, entre los que ya se destacaba Cielo Oscuro, de Madrid.

A partir de aquí, el despegue. Decidimos crear Cel Fosc, una iniciativa decidida en el seno del Grup d’Estudis Astronòmics (GEA). Elaboramos una Web de información, con una lista de correos que se convirtió inmediatamente en un foro de debate y de activismo. Nunca me cansaré de decir que, sin ambas cosas, difícilmente estaría escribiendo ahora este artículo. Ciertamente, el dinamismo que nos proporcionó Inter-

net fue nuestra mejor baza. Elaboramos una propuesta didáctica: un mapa de la contaminación lumínica en Catalunya. Se transmitió a todos los centros educativos y fue noticia en todos los medios. Así, en Catalunya empezaron a proliferar iniciativas en distintas ciudades: Tàrrrega fue la primera en redactar una ordenanza municipal para proteger el cielo nocturno. Poco después, empezaron a surgir muchas iniciativas puntuales en otras localidades. Algunas fructificaban y otras no, pero lo esencial era que estábamos consiguiendo dar a conocer el fenómeno.

Haciendo gestiones políticas y aprovechando el eco mediático, fuimos al Parlament a pedir una ley. Y nos dijeron que sí. En junio de 1997 se aprobó por unanimidad una proposición instando a la Generalitat a legislar. El Departament de Medi Ambient lo asumió y buscó asesoramiento científico en los departamentos de Astronomia i Meteorologia de la UB y el de Projectes d’Enginyeria de la UPC. Se constituyó una comisión técnica, en la que, además de los representantes de los citados departamentos y nosotros, había miembros de ayuntamientos, grupos ecologistas, fabricantes, el Institut Català d’Energia y otros. Elaboramos un texto muy consensuado que tuvo que seguir después un largo camino. Fue sometido a múltiples consultas, dada la amplitud de instancias e intereses afectados por la ley. Su tramitación se demoró debido al paréntesis electoral, pero, al fin, a principios de 2001, llegó al Parlament.

Su tramitación parlamentaria ha sido modélica, por no decir ejemplar. Reinó un gran espíritu de colaboración en las sesiones de la comisión que lo tramitó. Se recogieron todas las enmiendas propuestas y así, se llegó al pleno del día 16 de mayo, con un texto definitivo que se aprobó por unanimidad: 131 votos a favor, 0 en contra, 0 abstenciones. Mejor, imposible. El final feliz todavía no ha llegado, dado que la ley precisa de un reglamento técnico que tiene su complejidad y que tendrá sus momentos de polémica. Pero todo apunta a que los que colaboraremos en su elaboración vamos a hacer bien las cosas. La ley ya se aplicará a partir de septiembre en aquellos aspectos que no precisen desarrollo reglamentario, como prohibir láseres, y el reglamento deberá estar concluido dentro de nueve meses. Se abrirá, a partir de entonces, una nueva etapa: la de generalizar su aplicación y control. Mientras tanto, nuestra acción se va a dirigir a incitar a otras comunidades autónomas a emular el ejemplo catalán, adaptando nuestra ley. De conseguirlo, habremos iniciado el proceso de recuperación del cielo nocturno en España.

Pere Horts Font

phorts@ctv.es

# El Gran Telescopio Canarias pre-para su integración en el ORM

La actividad en el proyecto Gran Telescopio Canarias (GTC) está preparándose para una fase crítica, como es la integración en la montaña. Con el cilindro y pilar de la obra civil acabados, está a punto de comenzar el montaje de la cúpula sobre el cilindro de hormigón. El telescopio está bastante avanzado a su vez y su traslado a La Palma para su alzamiento en el ORM está previsto para fines de este año. Más de la mitad de los segmentos del primario han sido fabricados, y su pulido ha comenzado ya. También los instrumentos de primera luz han avanzado notablemente y ahora es posible empezar a conocer sus prestaciones con cierta precisión. El proyecto progresa de acuerdo con lo esperado, si bien se atisban algunos retrasos que esperamos no afecten de forma significativa a las fechas finales del proyecto.

El GTC continúa con paso firme en su nada fácil andadura, por la complejidad del proyecto, hacia su instalación en el ORM. Gran parte de la fabricación de sus principales componentes está a punto de finalizar, o en estado avanzado de construcción. Este es el caso por ejemplo de la obra civil, con el cilindro que soporta la cúpula terminado (puede verse en <http://www.gtc.iac.es/>). Asimismo se ha acabado la cimentación del edificio anexo donde se ubicarán los laboratorios, sala de control, talleres y otras dependencias de servicio. Se ha asfaltado por fin la carretera de acceso, lo que evitará polvo y molestias para las demás instalaciones del ORM.

La cúpula a su vez ha sido finalizada en la factoría de URSSA en Vitoria, donde ha sido montada para pruebas (Figura 1). Dichas pruebas han sido exhaustivas y en su mayor parte satisfactorias. Así se han probado las velocidades y aceleraciones de rotación de la cúpula, el movimiento de apertura y cierre de las ventanas, así como el de las compuertas de observación. Ha habido problemas sin embargo con la compuerta grande de observación (40 toneladas, de las 450 toneladas de la cúpula completa) cuyo movimiento suave no se ha conseguido con las suficientes garantías. Se están analizando los problemas y se tienen estrategias para solucionarlos. Esto ha supuesto un inesperado retraso en el transporte de la cúpula al observatorio. Transporte que por otra parte se ha iniciado para evitar mayores retrasos del modo siguiente: para proseguir con las pruebas de la compuerta de observación en factoría, y al mismo tiempo comenzar el envío de partes de la cúpula al ORM, se ha calzado la cúpula de modo que se ha podido extraer la viga carril, que es la viga que soporta directamente el carril, o riel, sobre el que se apoyan los carretes móviles que permiten el movimiento de la cúpula. Dicha viga carril ya está en el ORM y se está procediendo a su montaje sobre el cilindro de hormigón.

El montaje en fábrica de la cúpula ha sido una excelente medida, por un lado para comprobar su fun-



**Fig. 1.** Vista de la cúpula montada para pruebas en la factoría de Vitoria.

cionamiento y corregir problemas, llegado el caso, en unas condiciones más favorables que las que se darían en el observatorio. Segundo, para aprender en fábrica la mejor forma de proceder en la montaña, esperando que el montaje en el observatorio se vea de esta forma facilitado.

También la estructura mecánica del telescopio hace progresos en fábrica. En la actualidad se está procediendo al montaje del telescopio para pruebas en la factoría de Tarragona. Como muestra la Figura 2 tanto el suelo rotante como la montura hasta el anillo de elevación, así como las plataformas Nasmyth, están montados. Pronto se añadirá el propio anillo de elevación y se comenzará con el montaje del tubo. Al mismo tiempo la celda del primario está prácticamente acabada como puede verse en la Figura 3. El telescopio completo, excepto los mecanismos de rotación en acimut, estará montado en fábrica y listo para pruebas en agosto de este año. Posteriormente se desmontará para su traslado al observatorio, donde su montaje definitivo está previsto para fin de año, una vez acabado el montaje de la cúpula.

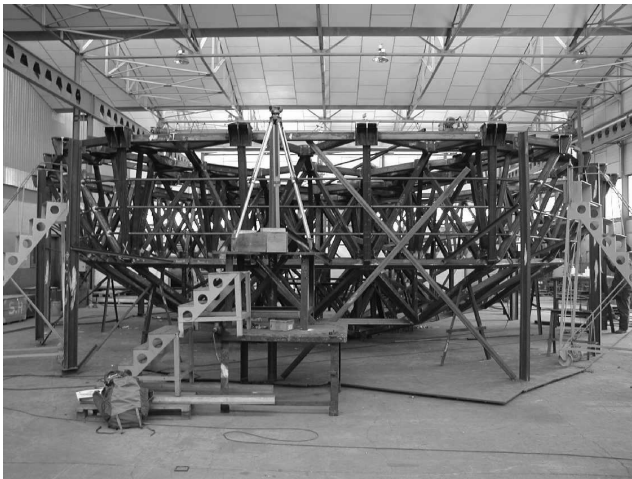
En cuanto a la óptica, SCHOTT (Alemania) ha continuado la producción de los segmentos del primario, habiendo ya fabricado más de la mitad de éstos. A su vez, SAGEM/REOSC (Francia) está completando el montaje para el pulido iónico y las pruebas ópticas de los segmentos, habiéndose iniciado ya la asferización del primer segmento. Esta primera asferización servirá, como es lógico, para validar el procedimiento, que una vez completado podrá realizarse con cinco robots sobre otros tantos segmentos simultáneamente. La Figura 4 muestra la parte de atrás de uno de los segmentos del primario con las almohadillas de enganche de los árboles de palancas de los actuadores ya pegadas. Los espejos secundario y terciario están también en proceso de fabricación, así como sus mecanismos de accionamiento.

Otros sistemas en avanzado proceso de fabricación





**Fig. 2.** La montura del telescopio en la fábrica de Tarra-gona, mostrando el suelo rotante, el yugo y las plataformas Nasmyth.



**Fig. 3.** La celda del espejo primario montada en fábrica.

son las Cajas de Adquisición y Guiado, y el instrumento de pruebas, que se está construyendo en el Instituto de Astronomía de la UNAM (México).

El sistema de control del telescopio se está desarrollando enteramente en la Oficina del Proyecto, y está basado en las últimas tecnologías de programación orientada a objeto (C++ y Java). El sistema de control del GTC permite tanto realizar observaciones y analizar los datos obtenidos como llevar a cabo operaciones de ingeniería para mantenimiento. Está dividido en varios subsistemas. Por una parte, para cada uno de los diversos elementos del GTC (e.g. telescopio, cúpula, primario, secundario, sistema de adquisición y guiado, instrumentos) se utiliza un conjunto de *hardware* y *software* que permite realizar las tareas de control necesarias. Por otra, existen subsistemas del propio sistema de control encargados de la coordinación de los subsistemas de bajo nivel (e.g. planificador de observaciones, secuenciador de observaciones). La primera versión del paquete de desarrollo ya ha sido distribuida a los dife-



**Fig. 4.** Parte trasera de uno de los segmentos del primario con las almohadillas de enganche del árbol de palancas que transmite las fuerzas y momentos de los actuadores.

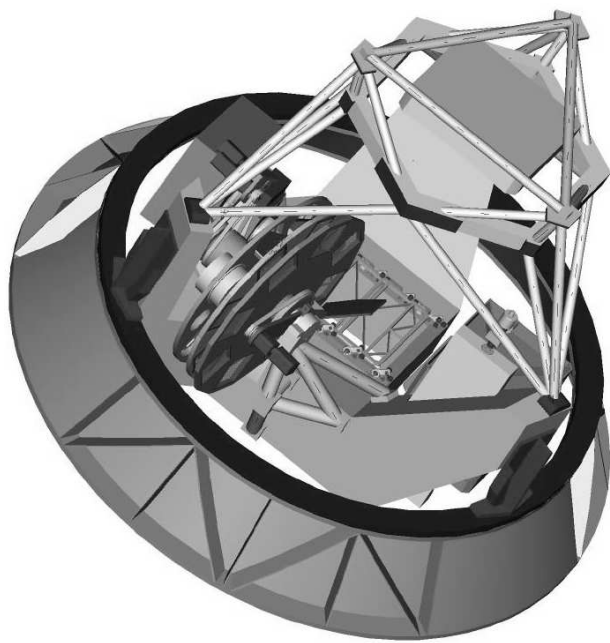
rentes contratistas que lo requieren.

También los instrumentos científicos han dado claras muestras de avance. OSIRIS ha tenido su revisión de diseño preliminar el pasado mes de abril. El diseño óptico de OSIRIS (Figura 5) se ha finalizado cumpliendo con todos los requisitos científicos, alcanzando una calidad de imagen excelente. Incluso se ha construido alguna lente de prueba para demostrar su viabilidad.

Las capacidades científicas de OSIRIS están siendo analizadas por su grupo científico que está planteando programas de observación para su explotación óptima. Es cada vez mas claro que la utilización de los filtros sintonizables y las posibilidades de transferencia de carga de los detectores de OSIRIS permitirán realizar observaciones de objetos en líneas y continuo cuasi-simultáneamente, obteniéndose reducciones en un factor cinco en la substracción del ruido de cielo. Esto redundará en una mayor sensibilidad frente a fuentes débiles donde la observación está severamente limitada por el ruido de cielo.

Aunque durante la revisión de diseño se notó bastante avance en todos los frentes, óptica, mecánica, electrónica y control, etc., el calendario de ejecución de OSIRIS parece crítico. Por esta razón, y a instancias del Comité Científico Asesor, se ha decidido diseñar y construir un instrumento científico de repuesto, llamado ELMER. Dicho instrumento está concebido de modo que sea simple, no tenga riesgos inasumibles, y tenga capacidades científicas que permitan a la comunidad hacer ciencia de frontera en caso de que los instrumentos de "Día Uno" lleguen tarde al GTC. Por su sencillez –campo reducido para no complicar la óptica– ELMER será uno de los instrumentos más sensibles nunca construidos. ELMER es, como se ha dicho antes, un instrumento de emergencia que solo se instalará en el GTC si OSIRIS tuviera retraso.

El contrato para el diseño detallado y fabricación



**Fig. 5.** Un esquema de OSIRIS.

de CANARICAM está a punto de ser firmado con la Universidad de Florida. Este instrumento cuenta con la ventaja de ser de segunda generación, es decir basado en un instrumento similar producido por el mismo grupo para GEMINI, con una serie de mejoras que no afectan grandemente al diseño original. Tales mejoras supondrán sin embargo un instrumento con elevadas prestaciones, tales como la posibilidad de realizar polarimetría y coronografía en el infrarrojo térmico, de gran utilidad para el estudio del polvo en zonas de formación estelar, o de objetos de muy baja luminosidad en torno a objetos luminosos.

En la oficina de proyecto se están abordando los temas de integración en el ORM. Pronto habrá más actividad en la montaña que en la propia oficina. Por eso se están diseñando cuidadosamente las estrategias de montaje, integración, pruebas y puesta a punto tanto del telescopio como de los instrumentos científicos. El próximo año toca fundamentalmente integración, una tarea difícil, que exigirá el máximo esfuerzo de todos los implicados.

Un aspecto de interés para la comunidad más joven es la formación del grupo de Astronomía del GTC. Este grupo se encargará inicialmente de asistir en las tareas de las pruebas científicas durante la puesta a punto del GTC, y posteriormente en la operación científica del telescopio. Operación que incluye la calibración de los instrumentos y el telescopio, el control de las prestaciones de estos, la realización de observaciones de servicio, la monitorización de los programas de observación por colas, el control de la calidad científica de los datos, el correcto funcionamiento de los archivos, etc. En estos momentos se está definiendo este grupo de Astronomía, y se espera que las primeras contrataciones se realicen

a mitad del año 2002.

Los acuerdos internacionales con México y la Universidad de Florida están ahora próximos a firmarse. El proceso ha durado más de lo que hubiésemos querido, debido a los inevitables contrastes realizados por los servicios jurídicos de todas las instituciones involucradas. La firma de estos acuerdos está prevista para los próximos meses, y está ahora pendiente de las agendas de las altas personalidades que han de firmar. Nos gustaría añadir que creemos que los acuerdos alcanzados son beneficiosos para todas las partes. Los acuerdos incluyen, por ejemplo, en el caso de México, acceso a la antena milimétrica de 50 metros que el INAOE y la Universidad de Massachusetts en Amherst están construyendo en el Cerro La Negra (un excelente sitio milimétrico a 4600 metros de altitud) en México, y en ambos casos un programa de becas pre y postdoctorales para españoles en la Universidad de Florida y en el Instituto de Astronomía de la UNAM, así como en el INAOE, ambos en México.

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

---

# Estudio sociológico de los doctores españoles en el campo de la Astro-nomía

## Introducción

En 1996 la SEA llevó a cabo un estudio sociológico muy completo de los astrónomos españoles, encomendado a la Facultad de Ciencias Políticas y Sociología de la Universidad de Granada, y realizado por un grupo de sociólogos y astrónomos. Fruto de este trabajo fueron dos publicaciones (J. Iglesias de Ussel, A. Trinidad y D. Ruiz Becerril, 1996, “Sociología de una profesión: los astrónomos de España”, Cuadernos de Trabajo de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, N° 4; J. Iglesias de Ussel, A. Trinidad, D. Ruiz, E. Battaner, A.J. Delgado, J.M. Rodríguez-Espinosa, E. Salvador-Solé and J.M. Torrelles, 1998, “Sociological Profile of astronomers in Spain”, *Astrophys. and Space Science*, 257, 237).

Posteriormente, en algunas reuniones de la SEA se ha visto la necesidad de realizar algunos estudios complementarios, fundamentalmente dirigidos a conocer realmente la desproporción actual entre doctores originados y plazas estables creadas. Tras una encuesta anterior pudo estimarse que la relación entre plazas creadas y doctores investidos es de 1:4, en los últimos cinco años.

Se consideró también muy conveniente *conocer el número de doctores que se vieron obligados a (o quisieron) abandonar la profesión*. Esta pregunta, formulada por el Prof. Eiroa en la Asamblea de la SEA celebrada en Valencia en 1999 dió lugar a la encuesta cuyo estudio se presenta aquí. Las encuestas se hacen normalmente a los miembros del colectivo, no a los que dejaron de serlo. Para evitar esta dificultad se pidió a los doctores que informaran no sólo de las circunstancias de sus tesis, sino también de aquellas tesis que ellos habían dirigido, así como de la situación laboral actual de los doctores por ellos dirigidos. La encuesta se limitó a los doctores, ya que se trataba de estudiar los abandonos de personas ya profundamente introducidas en la investigación astronómica.

## Datos recogidos en la encuesta

Se pidió a los doctores españoles, miembros o no de la SEA, que elaboraran una lista informando sobre las tesis dirigidas por ellos, especificando para cada una de ellas:

- Nombre del doctor
- Año de lectura
- Codirectores si los hubo
- Lugar de realización
- Universidad de lectura

- Situación laboral actual del doctor

Se pidió también a cada doctor que diera esta misma información sobre su propia tesis. Esto proporcionaba una información redundante que fue muy aprovechable para paliar el posible absentismo. El índice de participación fue del orden del 75%.

Una premisa de la encuesta es que ésta fuera breve y se pudiera responder pronto y fácilmente.

## Objeto del estudio

Como hemos dicho el objetivo fundamental que dio origen a la encuesta fue la determinación del *índice de abandono*, pero se aprovecharon los datos también para estimar otros índices. En concreto:

- Índice de abandono, que cuantifica la cantidad relativa de doctores astrónomos que abandonaron la profesión.
- Índice de transitoriedad, que cuantifica la cantidad relativa de doctores astrónomos que no tienen estabilidad en su puesto de trabajo actual.
- Índice de acoplamiento internacional, que pretende medir la influencia de la ciencia extranjera en la formación de los astrónomos españoles.
- Índice de continuidad, que pretende cuantificar cuán poco los astrónomos salen de la Comunidad Autónoma donde se formaron.
- Índice de acogida de doctores ajenos, que pretende cuantificar la llegada a una Comunidad Autónoma de doctores procedentes de otras Comunidades o bien formados en el extranjero.

Todos esos índices se definen exactamente más adelante, en los correspondientes apartados.

Se consideraron subgrupos atendiendo a

a) La fecha de lectura.

Para mantener números estadísticamente significativos se consideraron cuatro tipos de doctores

- Recientes (tesis leídas en los años 1995-1999, ambos incluidos)
- Jóvenes (tesis leídas en los años 1990-1994)
- Seniors (tesis leídas en los años 1980-1989)
- Veteranos (tesis leídas antes de 1980)

b) La Comunidad Autónoma.

Se presentan sólo los resultados sobre las Comunidades Autónomas con mayor número de doctores (Andalucía, Canarias, Cataluña, Madrid y Valencia) aunque también se presentan los datos globales para España, en los que se han incluido los datos de todas las Comunidades).

c) El sexo.

Además de la obtención de los índices anteriormente mencionados, podían aprovecharse los datos recogidos para establecer un “árbol genealógico” de

los astrónomos españoles doctores. Dicho “árbol genealógico” se ha dibujado, pero no se reproduce en este estudio debido a:

a) La escasez de información recogida sobre los pioneros de la Astronomía Española (ej. Profs. Cid, Orús, Torroja, Romaña ...) y otros astrónomos claves en la historia de la Astronomía española reciente. Aunque estos datos aún no se han conseguido, y sin ellos el “árbol genealógico” está falto de “tronco”, la información de doctorados posteriores es más completa y la información de los índices analizados es estadísticamente más significativa. Hay 265 doctores posicionados ya en el árbol.

b) Las dificultades de reproducción gráfica.

También se ha obtenido la gráfica [*doctores anualmente investidos-año*], que resulta especialmente interesante debido a la “explosión demográfica” frenada más recientemente por una previsible tendencia a la estacionariedad.

### Interés del estudio

Además de su obvio interés intrínseco, la Astronomía Española se encuentra en una fase digna de estudio, aplicable a otros países con circunstancias de desarrollo similares. Ha pasado, en muy pocos años, de una precariedad casi absoluta a un desarrollo comparable a otros países de gran tradición astronómica. En 1981, España producía el 0.84% de artículos especializados en revistas internacionales; en 1998 esta cifra ha pasado al 5.33%, lo que nos coloca en 8º lugar mundial (datos obtenidos por M. Dunn y A. Le Masurier, a partir de

ISI’s *National Science Indicators*, comunicados por P. Murdin a F. Sánchez Martínez). Como las dificultades de obtención de un puesto estable son cada vez visiblemente mayores, el estacionamiento debe estar próximo (¡si no el declive!). Por tanto, la evolución de la Astronomía en los últimos ~ 40 años es especialmente interesante.

### El abandono de la profesión

Definimos el *índice de abandono (IA)* como el número relativo (en tanto por ciento) de doctores que ya no se dedican a la Astronomía. Definimos el *índice de transitoriedad (IT)* como el número relativo de doctores que no tienen posición permanente.

Obsérvese que los astrónomos con puesto transitorio, más los que tienen puesto fijo, más los que abandonaron son el número de astrónomos de la base estadística.

Ofrecemos estos índices para las cinco Comunidades Autónomas con mayor dedicación a la Astronomía, atendiendo a la fecha de defensa de la tesis y al sexo.

#### OCUPACIÓN ACTUAL DE LOS QUE ABANDONARON

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Enseñanza Media                  | 50 %  |
| Otras ramas universitarias       | 14 %  |
| Controlador aéreo                | 11%   |
| Instituto Metereológico Nacional | 4%    |
| Empresa                          | 4%    |
| Geodesia                         | 4%    |
| No se sabe                       | 13%   |
| Total                            | 100 % |

| Abandono de la profesión |                   |                   |                |    |    |         |                   |                |     |    |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|----|----|---------|-------------------|----------------|-----|----|
|                          | Base              | Transi-<br>torios | Aban-<br>donos | IT | IA | Base    | Transi-<br>torios | Aban-<br>donos | IT  | IA |
| <b>ANDALUCÍA</b>         | Hombres + Mujeres |                   |                |    |    | Mujeres |                   |                |     |    |
| Veteranos                | 6                 | 0                 | 0              | 0  | 0  | 0       | 0                 | 0              | -   | -  |
| Seniors                  | 15                | 1                 | 4              | 7  | 26 | 5       | 0                 | 1              | 0   | 20 |
| Jóvenes                  | 15                | 10                | 0              | 67 | 0  | 7       | 5                 | 0              | 71  | 0  |
| Recientes                | 8                 | 6                 | 1              | 75 | 12 | 0       | 0                 | 0              | -   | -  |
| Muestra completa         | 44                | 17                | 5              | 39 | 11 | 12      | 5                 | 1              | 42  | 8  |
| <b>CANARIAS</b>          | Hombres + Mujeres |                   |                |    |    | Mujeres |                   |                |     |    |
| Veteranos                | 1                 | 0                 | 0              | 0  | 0  | 0       | 0                 | 0              | -   | -  |
| Seniors                  | 18                | 1                 | 0              | 5  | 0  | 3       | 0                 | 0              | 0   | 0  |
| Jóvenes                  | 21                | 9                 | 5              | 43 | 24 | 5       | 4                 | 1              | 80  | 20 |
| Recientes                | 29                | 23                | 5              | 79 | 17 | 9       | 6                 | 2              | 67  | 22 |
| Muestra completa         | 69                | 33                | 10             | 48 | 14 | 17      | 10                | 3              | 59  | 18 |
| <b>CATALUÑA</b>          | Hombres + Mujeres |                   |                |    |    | Mujeres |                   |                |     |    |
| Veteranos                | 3                 | 0                 | 0              | 0  | 0  | 1       | 0                 | 0              | 0   | 0  |
| Seniors                  | 14                | 0                 | 1              | 0  | 7  | 4       | 0                 | 0              | 0   | 0  |
| Jóvenes                  | 14                | 2                 | 4              | 14 | 29 | 4       | 0                 | 2              | 0   | 50 |
| Recientes                | 13                | 11                | 0              | 85 | 0  | 1       | 1                 | 0              | 100 | 0  |
| Muestra completa         | 44                | 13                | 5              | 30 | 11 | 10      | 1                 | 2              | 10  | 50 |

| Abandono de la profesión (continuación) |                   |                   |                |    |    |         |                   |                |     |     |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|----|----|---------|-------------------|----------------|-----|-----|
|                                         | Base              | Transi-<br>torios | Aban-<br>donos | IT | IA | Base    | Transi-<br>torios | Aban-<br>donos | IT  | IA  |
| <b>MADRID</b>                           | Hombres + Mujeres |                   |                |    |    | Mujeres |                   |                |     |     |
| Veteranos                               | 3                 | 0                 | 0              | 0  | 0  | 0       | 0                 | 0              | -   | -   |
| Seniors                                 | 6                 | 0                 | 0              | 0  | 0  | 2       | 0                 | 0              | 0   | 0   |
| Jóvenes                                 | 8                 | 3                 | 1              | 37 | 12 | 2       | 1                 | 0              | 50  | 0   |
| Recientes                               | 12                | 11                | 0              | 91 | 0  | 2       | 2                 | 0              | 100 | 0   |
| Muestra completa                        | 29                | 14                | 1              | 48 | 6  | 3       | 0                 | 50             | 0   | 3   |
| <b>VALENCIA</b>                         | Hombres + Mujeres |                   |                |    |    | Mujeres |                   |                |     |     |
| Veteranos                               | 1                 | 0                 | 0              | 0  | 0  | 0       | 0                 | 0              | -   | -   |
| Seniors                                 | 6                 | 0                 | 0              | 0  | 0  | 0       | 0                 | 0              | -   | -   |
| Jóvenes                                 | 6                 | 2                 | 2              | 33 | 33 | 1       | 0                 | 1              | 0   | 100 |
| Recientes                               | 25                | 16                | 6              | 64 | 24 | 6       | 3                 | 2              | 50  | 33  |
| Muestra completa                        | 38                | 18                | 8              | 47 | 21 | 7       | 3                 | 3              | 43  | 43  |
| <b>TODA ESPAÑA</b>                      | Hombres + Mujeres |                   |                |    |    | Mujeres |                   |                |     |     |
| Veteranos                               | 17                | 0                 | 0              | 0  | 0  | 2       | 0                 | 0              | 0   | 0   |
| Seniors                                 | 65                | 2                 | 6              | 3  | 9  | 15      | 0                 | 1              | 0   | 7   |
| Jóvenes                                 | 49                | 26                | 17             | 53 | 35 | 21      | 10                | 5              | 48  | 24  |
| Recientes                               | 97                | 74                | 12             | 76 | 12 | 29      | 22                | 4              | 76  | 14  |
| Muestra completa                        | 228               | 102               | 35             | 45 | 15 | 67      | 32                | 10             | 48  | 15  |

### Índice de acoplamiento internacional

Este índice pretende caracterizar la influencia de la aportación de la ciencia extranjera en la elaboración de las tesis españolas.

Se define el *índice de acoplamiento internacional* como el número relativo (en tanto por ciento) de tesis dirigidas a (codirigidas por) científicos extranjeros o por

científicos españoles que fueron dirigidos por (codirigidos por) científicos extranjeros. Los índices muy inferiores a 100%, indicarían aislamiento de la ciencia española.

| Índice de acoplamiento internacional |                   |                     |                        |         |                     |                        |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|---------|---------------------|------------------------|
|                                      | Base              | Casos<br>favorables | Índice<br>Acoplamiento | Base    | Casos<br>favorables | Índice<br>Acoplamiento |
| <b>ANDALUCÍA</b>                     | Hombres + Mujeres |                     |                        | Mujeres |                     |                        |
| Veteranos                            | 6                 | 0                   | -                      | 0       | 0                   | -                      |
| Seniors                              | 15                | 6                   | 40                     | 5       | 2                   | 40                     |
| Jóvenes                              | 14                | 9                   | 57                     | 7       | 4                   | 57                     |
| Recientes                            | 9                 | 2                   | -                      | 0       | 0                   | -                      |
| Muestra completa                     | 44                | 17                  | 38                     | 12      | 6                   | 50                     |
| <b>CANARIAS</b>                      | Hombres + Mujeres |                     |                        | Mujeres |                     |                        |
| Veteranos                            | 1                 | 1                   | 100                    | 0       | 0                   | -                      |
| Seniors                              | 17                | 4                   | 23                     | 2       | 1                   | 50                     |
| Jóvenes                              | 23                | 12                  | 52                     | 4       | 1                   | 25                     |
| Recientes                            | 33                | 12                  | 36                     | 11      | 5                   | 45                     |
| Muestra completa                     | 74                | 29                  | 39                     | 17      | 7                   | 41                     |
| <b>CATALUÑA</b>                      | Hombres + Mujeres |                     |                        | Mujeres |                     |                        |
| Veteranos                            | 3                 | 1                   | 33                     | 1       | 0                   | 0                      |
| Seniors                              | 14                | 0                   | 0                      | 4       | 0                   | 0                      |
| Jóvenes                              | 14                | 4                   | 29                     | 5       | 1                   | 20                     |
| Recientes                            | 13                | 4                   | 31                     | 1       | 0                   | 0                      |
| Muestra completa                     | 44                | 9                   | 20                     | 11      | 1                   | 9                      |

| Índice de acoplamiento internacional (continuación) |                   |                     |                        |         |                     |                        |
|-----------------------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|---------|---------------------|------------------------|
|                                                     | Base              | Casos<br>favorables | Índice<br>Acoplamiento | Base    | Casos<br>favorables | Índice<br>Acoplamiento |
| <b>MADRID</b>                                       | Hombres + Mujeres |                     |                        | Mujeres |                     |                        |
| Veteranos                                           | 3                 | 2                   | 67                     | 0       | 0                   | -                      |
| Seniors                                             | 6                 | 5                   | 83                     | 2       | 2                   | 100                    |
| Jóvenes                                             | 7                 | 5                   | 71                     | 2       | 1                   | 50                     |
| Recientes                                           | 11                | 4                   | 36                     | 1       | 0                   | 0                      |
| Muestra completa                                    | 27                | 16                  | 59                     | 5       | 3                   | 60                     |
| <b>VALENCIA</b>                                     | Hombres + Mujeres |                     |                        | Mujeres |                     |                        |
| Veteranos                                           | 1                 | 0                   | 0                      | 0       | 0                   | -                      |
| Seniors                                             | 6                 | 1                   | 17                     | 0       | 0                   | -                      |
| Jóvenes                                             | 6                 | 1                   | 17                     | 1       | 0                   | 0                      |
| Recientes                                           | 25                | 1                   | 4                      | 6       | 0                   | 0                      |
| Muestra completa                                    | 38                | 3                   | 8                      | 7       | 0                   | 0                      |
| <b>TODA ESPAÑA</b>                                  | Hombres + Mujeres |                     |                        | Mujeres |                     |                        |
| Veteranos                                           | 17                | 3                   | 18                     | 2       | 0                   | 0                      |
| Seniors                                             | 64                | 17                  | 27                     | 14      | 5                   | 36                     |
| Jóvenes                                             | 65                | 32                  | 49                     | 21      | 8                   | 38                     |
| Recientes                                           | 101               | 25                  | 25                     | 29      | 5                   | 17                     |
| Muestra completa                                    | 247               | 77                  | 31                     | 66      | 18                  | 27                     |

### *Índice de Continuidad.*

Este *índice de continuidad (IC)* se define como el número relativo (en tanto por ciento) de doctores que trabajan en la misma Comunidad Autónoma en la que leyeron su tesis. Los abandonos no se consideran casos favorables, aunque trabajen en la misma Comunidad Autónoma.

Somos conscientes de las dificultades de interpretación de un índice así definido. Por ejemplo, un doctor puede acabar trabajando en la Comunidad que le proporcionó su título, tras haber estado en muchas otras comunidades o países. No sería éste un ejemplo de permanencia o continuidad, aunque tal como se hizo la definición contaría como un caso favorable. Por otra parte, las diferencias que el valor de este índice presenta entre diferentes comunidades puede estar influido por factores como el diferente peso relativo del personal en Institutos de Investigación, que no tienen tareas formativas y se nutren por definición de personal externo, y en Universidades, en las que la permanencia de personal formado en ellas sí es posible. De todas formas, este índice de continuidad, guardando cierta relación con el grado de continuidad real, tiene la ventaja de su fácil obtención, a partir de los pocos datos recogidos en la

encuesta que nos sirve de base. También definimos el *índice de acogida (IAc)* como el número de doctores en una Comunidad Autónoma que han leído su tesis en otra Comunidad Autónoma o en el extranjero partido por la base utilizada en el cálculos del índice de continuidad.

Los índices de continuidad y de acogida se refieren a aspectos complementarios. El primero se refiere a la *salida* de los doctores generados en una Comunidad Autónoma mientras que el segundo se refiere a la *entrada* de doctores ajenos. Un índice de continuidad alto acompañado de un índice de acogida bajo alertarían de una orientación restrictiva en la política de adjudicación de plazas.

Todos los índices definidos en este estudio tienen como valor máximo 100. Como excepción, el *índice de acogida* puede tener valores superiores a 100.

Como excepción también, no se ha calculado el *índice de acogida* en el caso de las mujeres por tratarse de muestras estadísticas muy pequeñas.

| Índice de continuidad |                   |                 |          |     |     |         |                 |          |     |     |
|-----------------------|-------------------|-----------------|----------|-----|-----|---------|-----------------|----------|-----|-----|
|                       | Base              | Perma-<br>necen | Acogidos | IC  | IAC | Base    | Perma-<br>necen | Acogidos | IC  | IAC |
| <b>ANDALUCÍA</b>      | Hombres + Mujeres |                 |          |     |     | Mujeres |                 |          |     |     |
| Veteranos             | 6                 | 6               | 1        | 100 | 17  | 0       | 0               | -        | -   | -   |
| Seniors               | 14                | 8               | 2        | 57  | 14  | 6       | 4               | -        | 67  | -   |
| Jóvenes               | 14                | 7               | 3        | 50  | 21  | 7       | 3               | -        | 43  | -   |
| Recientes             | 8                 | 1               | 4        | 12  | 50  | 0       | 0               | -        | -   | -   |
| Muestra completa      | 42                | 22              | 10       | 52  | 24  | 13      | 7               | -        | 54  | -   |
| <b>CANARIAS</b>       | Hombres + Mujeres |                 |          |     |     | Mujeres |                 |          |     |     |
| Veteranos             | 1                 | 1               | 2        | 100 | 200 | 0       | 0               | -        | -   | -   |
| Seniors               | 17                | 15              | 5        | 88  | 29  | 2       | 2               | -        | 100 | -   |
| Jóvenes               | 23                | 10              | 1        | 43  | 4   | 4       | 2               | -        | 50  | -   |
| Recientes             | 28                | 10              | 0        | 36  | 0   | 10      | 2               | -        | 20  | -   |
| Muestra completa      | 69                | 36              | 8        | 52  | 12  | 16      | 6               | -        | 37  | -   |
| <b>CATALUÑA</b>       | Hombres + Mujeres |                 |          |     |     | Mujeres |                 |          |     |     |
| Veteranos             | 3                 | 3               | 1        | 100 | 33  | 1       | 1               | -        | 100 | -   |
| Seniors               | 14                | 11              | 0        | 79  | 0   | 4       | 3               | -        | 75  | -   |
| Jóvenes               | 14                | 5               | 0        | 36  | 0   | 5       | 0               | -        | 0   | -   |
| Recientes             | 12                | 7               | 0        | 58  | 0   | 1       | 1               | -        | 100 | -   |
| Muestra completa      | 43                | 26              | 1        | 60  | 2   | 11      | 5               | -        | 45  | -   |
| <b>MADRID</b>         | Hombres + Mujeres |                 |          |     |     | Mujeres |                 |          |     |     |
| Veteranos             | 3                 | 0               | 2        | 0   | 67  | 0       | 0               | -        | -   | -   |
| Seniors               | 6                 | 5               | 2        | 83  | 33  | 2       | 2               | -        | 100 | -   |
| Jóvenes               | 8                 | 6               | 7        | 75  | 87  | 2       | 1               | -        | 50  | -   |
| Recientes             | 11                | 5               | 1        | 45  | 9   | 6       | 4               | -        | 67  | -   |
| Muestra completa      | 28                | 16              | 12       | 57  | 43  | 6       | 4               | -        | 67  | -   |
| <b>VALENCIA</b>       | Hombres + Mujeres |                 |          |     |     | Mujeres |                 |          |     |     |
| Veteranos             | 1                 | 1               | 0        | 100 | 0   | 0       | 0               | -        | -   | -   |
| Seniors               | 6                 | 6               | 1        | 100 | 17  | 0       | 0               | -        | -   | -   |
| Jóvenes               | 6                 | 3               | 0        | 50  | 0   | 1       | 0               | -        | 0   | -   |
| Recientes             | 25                | 8               | 1        | 32  | 4   | 6       | 1               | -        | 17  | -   |
| Muestra completa      | 38                | 18              | 2        | 47  | 5   | 7       | 1               | -        | 14  | -   |
| <b>TODA ESPAÑA</b>    | Hombres + Mujeres |                 |          |     |     | Mujeres |                 |          |     |     |
| Veteranos             | 17                | 13              | 7        | 76  | 41  | 2       | 2               | -        | 100 | -   |
| Seniors               | 63                | 50              | 11       | 79  | 17  | 15      | 12              | -        | 80  | -   |
| Jóvenes               | 70                | 34              | 14       | 49  | 20  | 21      | 7               | -        | 33  | -   |
| Recientes             | 95                | 34              | 11       | 36  | 12  | 19      | 5               | -        | 26  | -   |
| Muestra completa      | 239               | 131             | 43       | 55  | 18  | 57      | 26              | -        | 46  | -   |

## Evolución del número de doctores generados

En la Figura 1 se representa el número de doctores generados anualmente en función del tiempo. La línea más quebrada es la curva bruta real, mientras que la que une los cuadrados blancos se obtuvo a partir de la primera tras dos suavizados simples (consistentes en  $y_{i+1/2} = \frac{1}{2}(y_i + y_{i+1})$ ). Debido al absentismo, la ordenada tiene valores relativos.

La interpretación de esta curva es preocupante. Si la política científica en cuanto a dotación de plazas fuera estable, de forma que se alcanzara un valor estacionario para un tiempo suficientemente grande, la curva podría ser ajustable a una ecuación del tipo

$$N = \frac{N_2}{1 + \frac{N_2 - N_1}{N_1} e^{-At}} \quad (1)$$

donde

$N$  es la tasa de producción anual de doctores

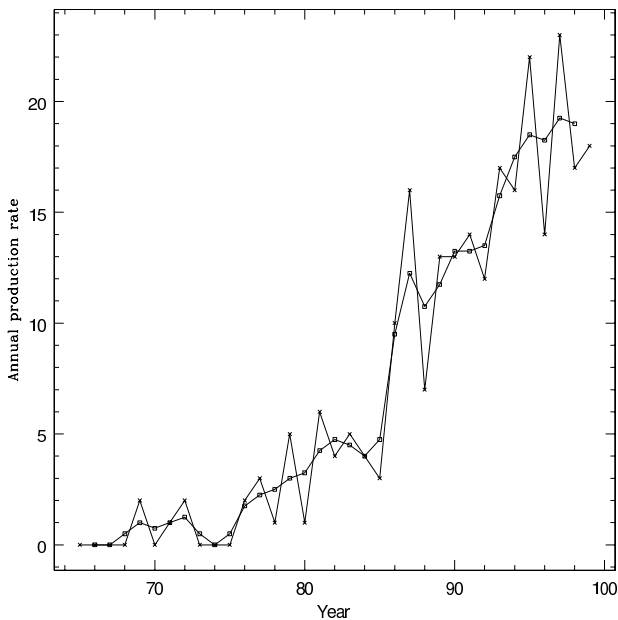
$t$  es el tiempo a partir de un año de referencia

$N_1$  es (como se puede comprobar)  $= N(t=0)$

$N_2$  es (como se puede comprobar)  $= N(t=\infty)$

$A$  es una constante que refleja la multiplicación espontánea de doctores en ausencia de limitación de plazas (si  $t$  es pequeño y si  $N_2 \gg N_1$ ,  $N \sim N_1 e^{At}$ ).

En la fase de crecimiento exponencial se ve que si un doctor tarda (por término medio) en formar un doctor  $\approx 5$  años, en este tiempo se duplica el número de doctores ( $2 = e^{5A}$ ) luego  $A = \ln(2)/4$ . Un valor típico de  $A$  sería pues  $A \sim 0.1 \text{ años}^{-1}$ , o algo menos.



**Fig. 1.** Número de doctores generados anualmente en función del tiempo. La línea más quebrada es la curva bruta real, mientras que la que une los cuadrados blancos se obtuvo a partir de la primera tras dos suavizados simples.

Esta curva es una forma sencilla que comienza siendo una exponencial y acaba tendiendo a un valor asintótico constante  $N_2$  (Es deducible de una ecuación del tipo  $dN/dt = AN - BN^2$ , siendo  $B$  una constante).

El valor de  $N_2$  depende fundamentalmente de la política científica de creación de plazas. Una política generosa proporciona un alto valor de  $N_2$ .

Sería pueril tratar de ajustar la gráfica a la ecuación, pero de la comparación de ambas se deducen algunas conclusiones básicas:

a) Hemos abandonado hace tiempo el régimen exponencial. El cambio de concavidad, de  $d^2N/dt^2 > 0$  a  $d^2N/dt^2 < 0$  se produjo aproximadamente en el año 1986. A partir de entonces la escasez de puestos estables pudo empezar a desanimar a los jóvenes a seguir esta profesión. Los valores de  $A$  y  $N_2$  determinan el tiempo del punto de inflexión con inversión de concavidad, fundamentalmente el de  $A$  debido al carácter exponencial del crecimiento libre.

b) Estamos excesivamente cerca de alcanzar el valor asintótico. Este valor  $N_2(t = \infty)$  sería en la gráfica de aproximadamente 20, aunque debido al absentismo de la encuesta, correspondería a un valor mayor, de aproximadamente 25.

Significa este hecho que demasiados futuros astrónomos pueden llegar a inhibir sus aspiraciones ante las escasas perspectivas de trabajo, de igual modo que los que ya empezaron trabajan bajo la opresión del desaliento.

Aunque este tipo de conclusiones queda fuera de los objetivos de este trabajo, presentimos que, dadas las trayectorias formativas, en ocasiones perfectamente modélicas, de los doctores recientes en Astronomía, y dadas las posibilidades de investigación que España posee en este campo, una política científica oportuna tendría que propiciar valores mucho más altos de  $N_2$ .

A modo de ejemplo, el número de doctores generados en Francia relativo al número de habitantes, es mucho mayor por un factor 2 ó 3. No se aprecia en Francia el punto de inflexión.

Aunque las gráficas correspondientes a las Comunidades Autónomas no se han incluido en este artículo, puede apreciarse que Andalucía, Cataluña y Valencia han alcanzado ya el valor asintótico hace unos años, si es que no están experimentando un retroceso.

## Algunas conclusiones

a) Diferencias por sexo.

Las mujeres astrónomas doctoras son el 29%. Esta cifra es mayor que la publicada por V. Trimble de  $\sim 22\%$  de mujeres astrónomas (doctoras o no). Este valor es característico de las correspondientes cifras de los países mediterráneos, España, Francia, Italia y Grecia, que son las más altas del mundo. El tanto por ciento



de doctoras es superior al de astrónomas, bien porque las mujeres acaben su tesis con mayor frecuencia, bien por un error de muestreo (por ejemplo, bien pudiera deberse a que las astrónomas doctoras son más diligentes respondiendo a las encuestas). En cualquier caso esta cifra se debe a causas culturales ajenas a la Astronomía, previas a la elección de esta profesión.

Atendiendo exclusivamente a los datos utilizados en esta encuesta, no se observan diferencias llamativas entre astrónomas y astrónomos. En España, el índice de transitoriedad (45% frente a 48%) y el índice de abandono (15% frente a 15%) son muy similares para el conjunto de la población y para las astrónomas. Igualmente lo son los índices de acoplamiento internacional (31% frente a 27%) y de continuidad (55% frente a 46%).

b) No se aprecian diferencias regionales muy significativas en el índice de transitoriedad, poseyendo Cataluña el índice más bajo. El índice de abandono es particularmente bajo en Madrid.

Los astrónomos que defendieron su tesis antes del 1990 tuvieron mucha más facilidad de lograr un puesto estable y se dieron muy pocos abandonos. Posteriormente las situaciones provisionales aumentan mucho, como era previsible, aunque el índice de transitoriedad de los que leyeron su tesis en el período 1990-1995 parece excesivo (53%). Es preocupante que el 35% de los doctores de este período de tiempo hayan abandonado la profesión.

Los doctores en Astronomía, bien acogidos en el mundo empresarial en otros países más avanzados, no lo son aquí todavía, por lo que el dinero y el esfuerzo empleados en formar buenos doctores astrónomos, queda en buena parte desperdiciado, por falta de creación de puestos de trabajo.

c) El índice de acoplamiento internacional parece alto, aunque al no ser un índice utilizado anteriormente no pueden hacerse comparaciones con otros países. Sí que se aprecian grandes diferencias regionales, siendo Madrid la más beneficiada de la ciencia extranjera. En la década 90-95 la influencia extranjera fue mayor, aunque curiosamente, también fue considerable en las tesis más veteranas.

d) No se aprecian grandes diferencias regionales en el carácter continuista. Cataluña parece algo más autónoma, en cuanto que la difusión de doctores en ambas direcciones de sus fronteras parece menor. Madrid destaca por su altísimo índice de acogida de doctores foráneos. Como se indicaba en la Sección 7, un factor importante en la interpretación de estos índices es que aquellas Comunidades en las que la Astronomía Universitaria tiene mayor peso, tienen que tener índices que reflejen menor movilidad.

El continuismo va disminuyendo apreciablemente en España, pasando del 79% antes de 1990 para llegar al 49% en el período 90-95. Actualmente, el bajo índice de continuidad del 36% debe reflejar la proliferación de

estudios de tipo post-doc en el extranjero. En cambio, existía mayor receptividad en el pasado para la incorporación de doctores formados en el extranjero o en otras Comunidades Autónomas.

e) La pregunta que motivó la elaboración de esta encuesta, *¿Cuántos han abandonado la profesión una vez alcanzado el título de doctor?* tiene una respuesta clara: el 15%. Entre las profesiones elegidas por los astrónomos pródigos sorprende la de controladores aéreos.

Nos hemos limitado a extraer las conclusiones más llamativas y generales.

Eduardo Battaner López, Antonio Jesús Delgado Sánchez, José Miguel Rodríguez Espinosa, Eduard Salvador Solé, José María Torrelles Arnedo  
battaner@ugr.es, delgado@iaa.es, espinosa@ll.iac.es,  
eduard@am.ub.es, torrelles@ieec.fcr.es

---

# Instrumentación radioastronómica en la Estación Espacial de Robledo

Las antenas de la estación espacial de NASA situada en Robledo de Chavela (Madrid) dedican parte de sus operaciones a realizar observaciones de radioastronomía. El tiempo reservado a astrónomos españoles (4-5% del total) lo gestiona el INTA, a través de su Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental. Puede obtenerse más información en la dirección [radio@laeff.esa.es](mailto:radio@laeff.esa.es).

## Antenas disponibles

Actualmente, dos antenas pueden utilizarse para realizar observaciones de radioastronomía: DSS-63 (70 m de diámetro) y DSS-65 (34 m de diámetro). Las tablas 1 y 2 muestran sus datos técnicos.

## Instrumentación para VLBI

Tanto DSS-63 como DSS-65 pueden utilizarse para observaciones de interferometría de muy larga base (VLBI), como parte de redes internacionales. En este caso, la señal se graba en cinta magnética para su posterior envío a centros de correlación. Actualmente se cuenta en Robledo con dos sistemas de registro de datos.

### 1. Terminal de adquisición de datos MarkIV.

Mediante este sistema, pueden observarse simultáneamente las dos polarizaciones circulares de las bandas S o X, o bien una polarización de cada una de ellas. En el caso de observaciones en las bandas L o K, sólo puede grabarse una de las polarizaciones.

**Tabla 1.** Datos técnicos de DSS-63

| BANDA               | L        | S          | X          | K          |
|---------------------|----------|------------|------------|------------|
| Frecuencia (GHz)    | 1.60–170 | 2.2–2.3    | 8.4–8.5    | 18–26      |
| Resolución (arcmin) | 10.8     | 6.5        | 1.8        | 0.75       |
| Eficiencia (%)      | 60       | 72         | 65         | 50         |
| Sensibilidad (K/Jy) | 0.84     | 1.0        | 0.9        | 0.7        |
| Polarización        | LCP      | RCP<br>LCP | RCP<br>LCP | RCP<br>LCP |
| T <sub>sys</sub>    | 35       | 16         | 21         | 70         |

**Tabla 2.** Datos técnicos de DSS-65

| BANDA               | S          | X          | X          |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Frecuencia (GHz)    | 2.2–2.3    | 8.4–8.5    | 8.2–8.6    |
| Resolución (arcmin) | 16.2       | 4.2        | 4.2        |
| Eficiencia (%)      | 57         | 72         | 72         |
| Sensibilidad (K/Jy) | 0.19       | 0.24       | 0.24       |
| Polarización        | RCP<br>LCP | RCP<br>LCP | RCP<br>LCP |
| T <sub>sys</sub>    | 40         | 21         | 38         |



**Fig. 1.** Un 4-5% del tiempo total de antena en la estación de Robledo está reservado a astrónomos españoles.

Los videoconvertidores poseen filtros de 2, 4, 8 y 16 MHz. Cuatro de ellos tienen también filtros de 125 y 500 kHz. Se dispone de dos grabadores que pueden utilizar cintas gruesas (8 800 pies) y delgadas (17 600 pies).

### 2. Terminal de adquisición de datos S2 VLBI.

Actualmente se está ultimando su instalación. Se utilizará fundamentalmente para interferometría de muy larga base con antenas en el espacio. El S2 VLBI incluye dos videoconvertidores con osciladores locales de frecuencia variable y 8 unidades VHS para el registro de datos.

## Instrumentación de antena única

La antena DSS-63 puede realizar observaciones de gran calidad como antena única.

### 1. Observaciones de continuo.

La medición de fuentes de continuo se realiza mediante barridos de posición de la antena sobre aquéllas. Para ello, un ordenador genera las predicciones de posición de la antena para el seguimiento de las fuentes y almacena los datos de su emisión de radio, tomados con un medidor de potencia. Estas observaciones pueden realizarse en cualquiera de las bandas de longitud de onda disponibles.

### 2. Espectroscopía.

Recientemente se ha puesto en marcha un espectrómetro autocorrelacionador para la observación de líneas espectrales en banda K. Este equipo muestrea 256 canales en un ancho de banda variable entre 1 y 10 MHz. Por lo tanto, se puede conseguir una máxima resolución en velocidad de  $\sim 0.05 \text{ km s}^{-1}$  en 22 GHz.

José Francisco Gómez, Cristina García Miró  
[jfg@laeff.esa.es](mailto:jfg@laeff.esa.es), [cgmiro@lrid.mdsc.nasa.gov](mailto:cgmiro@lrid.mdsc.nasa.gov)

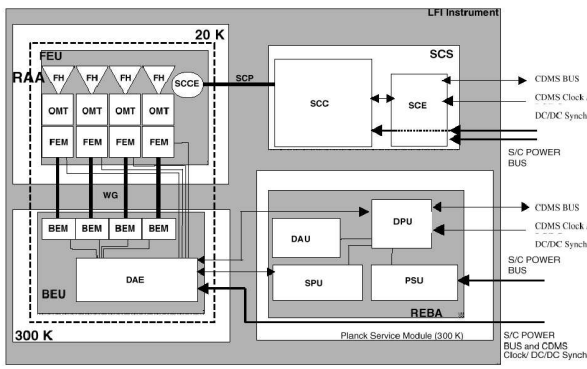
## *Antecedentes*

Recientemente los experimentos BOOMERANG y MAXIMA, desde globos estratosféricos, han conseguido mapas precisos de la temperatura de la Radiación Cósmica del Fondo de Microondas (RCFM) en zonas del cielo de alrededor de mil grados cuadrados. Con dichos mapas se ha podido obtener el espectro de potencias de la radiación cósmica hasta el tercer pico acústico, lo que a su vez ha permitido la determinación por primera vez de algunos parámetros cosmológicos fundamentales. En particular ahora sabemos que la geometría del universo es muy próxima a la plana. Estas observaciones han reactivado el interés en el estudio de esta radiación cósmica cuyas anisotropías en su temperatura fueron detectadas por primera vez por el satélite COBE de la NASA a principios de los 90. Durante la presente década se espera determinar las anisotropías de dicha radiación con una gran precisión mediante diferentes experimentos desde tierra, globo estratosférico y satélite. Con el último de los experimentos programados, la misión *Planck*, se espera determinar los parámetros cosmológicos con una precisión que sólo podía soñarse hasta hace muy pocos años.

La misión *Planck* fue elegida por el Comité del Programa Científico (SPC) de la ESA en diciembre de 1996 para ser la 3ª misión científica de tamaño medio del Programa Horizonte 2000 de la Agencia. El objetivo científico más importante de la misión es la medida de la temperatura de la RCFM en todo el cielo, en 9 frecuencias dentro del rango 30-900 GHz y con una sensibilidad de  $\Delta T/T \sim 10^{-6}$  por elemento de resolución. La resolución angular estará comprendida entre  $30'/5'$ . Los 9 canales de frecuencia proveerán 10 mapas del cielo (2 de ellos a la misma frecuencia) con una resolución angular y sensibilidad sin precedentes que permitirán obtener información sobre las diferentes emisiones (radiaciones sincrotrón, *free-free* y debida al polvo en la Galaxia, fuentes puntuales extragalácticas desde radio hasta la región submilimétrica, efecto Sunyaev-Zeldovich en cúmulos) y así separarlas de la señal intrínseca de la RCFM. Los mapas de *Planck* permitirán medir con buena precisión las anisotropías de la temperatura de la RCFM desde el multipolo  $l=1$  hasta  $l \gg 2000$ , lo que supondrá una sustancial mejora sobre el satélite anterior COBE/DMR que sólo obtuvo información sobre los multipolos más bajos  $l < 20$ . Por otro lado, también supondrá una mejora sustancial respecto a la misión MAP de la NASA (lanzada a finales de junio de este año), tanto en relación al rango espectral, 22-90 GHz, como en resolución angular,  $54'-18'$ . El espectro frecuencial tan amplio que será explorado con la misión *Planck* permitirá eliminar de forma precisa las fuentes de emisión que enmascaran las anisotropías de la RCFM. Los resultados de simulación indican que el rango cubierto por

*Planck* 30-900 GHz, es más que suficiente para efectuar esta labor con garantía. La información obtenida será esencial para resolver las siguientes cuestiones fundamentales: validez del escenario inflacionario, la forma del espectro primario tanto de las fluctuaciones en la densidad como de las ondas gravitatorias, la geometría y el contenido material del Universo, la conexión entre las anisotropías a pequeña escala y el agrupamiento de las galaxias, la historia de ionización del universo, el efecto Sunyaev-Zeldovich, velocidades peculiares de cúmulos, etc. Actualmente existe una gran actividad de los grupos involucrados en la misión para la preparación de los algoritmos y *software* necesarios para poder realizar el complejo análisis de los datos de una manera óptima. El *software* desarrollado así como los datos medidos por los instrumentos y la información necesaria para su correcta interpretación se incluirán en el Centro de Procesado de Datos (DPC) constituido para proporcionar a la comunidad científica tanto los datos ya procesados ordenados en el tiempo (TOD) como las imágenes del cielo para cada frecuencia y cada componente (Enrique Martínez González es el gestor nacional del DPC).

La carga útil se estructura en tres partes: el telescopio, con los espejos primario (1.5 metros de diámetro) y secundario, y dos conjuntos de detectores: el Instrumento de Baja Frecuencia (LFI) con receptores electrónicos para el rango entre 30-100 GHz y el Instrumento de Alta Frecuencia (HFI) con bolómetros cubriendo el resto del rango de frecuencias (100-900 GHz). La estructura del telescopio es la de un sistema de tipo gregoriano con dos espejos paraboloideos. El HFI está formado por un conjunto de más de 50 bolómetros, dispositivos de estado sólido en los que la radiación produce un aumento de temperatura, que deben ser enfriados a temperaturas inferiores a 0.15 K para obtener las sensibilidades requeridas en la misión *Planck*. Estos detectores están divididos en cinco canales que permitirán sustraer la emisión de polvo galáctico así como la contribución de fuentes puntuales IR y detectar el efecto Sunyaev-Zeldovich. La contribución española se centra en el LFI, que consta de 56 receptores divididos en cuatro canales de frecuencia. La radiación captada por el telescopio se conduce a los receptores a través de antenas de bocina cónicas corrugadas, optimizadas para obtener bajas pérdidas, estabilidad y minimizar los lóbulos laterales. Cada receptor está formado por una doble cadena de amplificación y detección conectadas en paralelo de forma que, en el transcurso de la medida, se realiza una comparación continua entre la señal del cielo y una carga de referencia. Esta estructura se ha adoptado con el fin de minimizar el efecto nocivo de las fluctuaciones  $1/f$  de la ganancia sobre la estabilidad de la medida. Nuestro grupo ha estudiado el efecto que problemas de orden práctico, como desequilibrios entre ambas cadenas de amplificación/detección, temperaturas equivalentes de ruido, temperatura del receptor, etc, pueden tener sobre las prestaciones de



**Fig. 1.** Esquema de bloques del LFI

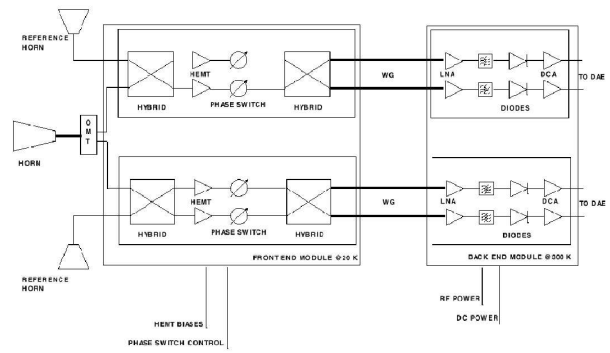
este tipo de receptores. En cualquier caso, las etapas de amplificación utilizarán transistores de alta movilidad electrónica (HEMT) en tecnología InP, que es la que ha demostrado los mejores resultados de amplificación y bajo ruido, requeridos para esta misión. Debido a las restricciones de volumen y peso algunas partes del receptor deberán implementarse con tecnología monolítica MMIC. Los receptores son también sensibles a la polarización lineal, habiéndose diseñado la distribución de las bocinas en el plano focal para optimizar la determinación de los parámetros de Stokes. El recinto en donde irán alojadas las primeras etapas de amplificación de los receptores estará enfriado a 20 K para mejorar tanto su sensibilidad como el ruido  $1/f$ . En la siguiente sección se discuten las características generales de los radiómetros con más detalle.

## El instrumento de baja frecuencia (LFI)

El instrumento de baja frecuencia (LFI) de la misión *Planck* está diseñado para obtener medidas de alta sensibilidad, en distintas bandas de microondas, de la radiación difusa del cielo en el rango de 30 a 100 GHz (longitudes de onda de 2.3 a 10mm). Estas frecuencias se han escogido para tener una excelente señal de anisotropía de la Radiación Cósmica del Fondo de Microondas (RCFM), y al mismo tiempo poder separar las señales galácticas de la RCFM. Como se muestra en la Figura 1, el LFI consta de varios subsistemas:

El subsistema de los radiómetros (*Radiometer Array Assembly* = RAA). El Subsistema de enfriamiento por criogenia (*Sorption Cooler Subsystem* = SCS) La caja electrónica de los radiómetros (*Radiometer Electronics Box Assembly* = REBA) Cableado entre los subsistemas (*Harness*).

El subsistema de los radiómetros incluye el Frontal de RF (*Front End Unit* = FEU), enfriado a la temperatura de 20 K, y la Unidad Posterior (*Back End Unit* = BEU) estabilizada a la temperatura ambiente de 300



**Fig. 2.** Esquema de bloques del radiómetro diferencial

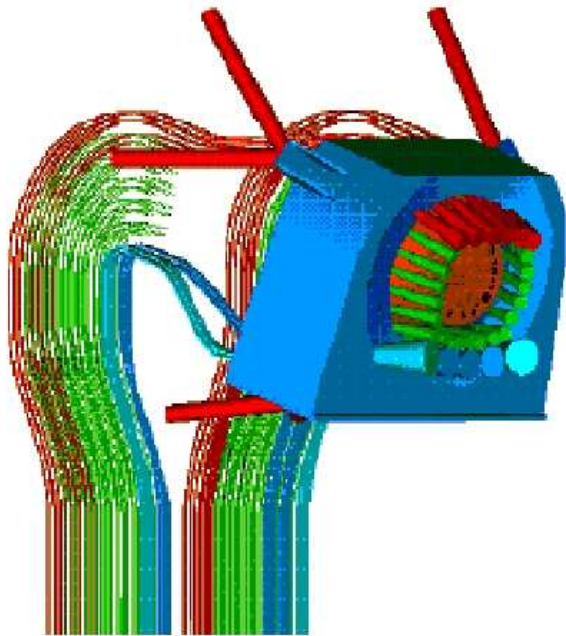
K. En dicha unidad se incluyen los Módulos Posteriores (*Back End Modules* = BEM) y la electrónica de adquisición de datos (*Data Acquisition Electronics* = DAE).

El LFI usa como concepto del radiómetro un receptor de pseudo-correlación o también conocido como receptor diferencial. Según dicho esquema, mostrado en la Figura 2, el radiómetro mide en cada momento la diferencia entre las señales del cielo y de una carga de referencia. Para eliminar las inestabilidades debidas a los módulos frontales y posteriores (por fluctuaciones de ganancia) se realiza una conmutación de fase en la unidad frontal. El efecto final es que se pueden eliminar los efectos de las inestabilidades de las ramas amplificadoras del radiómetro, que se manifiestan como ruido de muy baja frecuencia con espectro del tipo  $1/f$ , cuyo efecto es totalmente pernicioso sobre las señales a medir. El estudio del efecto de este ruido es uno de los puntos más importantes del concepto del radiómetro, y está siendo objeto de gran actividad en el conjunto de grupos participantes en el consorcio internacional de la misión *Planck*.

Volviendo al sistema completo del LFI, los receptores están alimentados por bocinas corrugadas que iluminan a un sub-reflector de un paraboloide (espejo principal), según una estructura gregoriana. La configuración externa del LFI, mostrando la disposición aproximada de las bocinas en el plano focal, es la que se ve en la Figura 3.

En dicha figura se muestran también las guías que unen la Unidad Frontal (FEU), conectada directamente a las bocinas, con la unidad posterior (BEU) no mostrada en la figura. Tal como se aprecia hay dos bocinas (las más grandes) a 30 GHz, tres bocinas (algo más pequeñas) a 44 GHz, seis a 70 GHz y diecisiete a 100 GHz. El número de receptores es dos veces el número de bocinas ya que cada una lleva asociada dos receptores, uno por cada polarización de la onda electromagnética recibida. Esta figura da una idea de la complejidad del sistema.

En la propuesta del consorcio del LFI al Anuncio de Oportunidad de la ESA en febrero de 1998 ya se



**Fig. 3.** Configuración externa del LFI de la misión *Planck*

habían consensuado las participaciones de cada uno de los grupos científicos y tecnológicos de cada país, definiéndose claramente los Co-Investigadores Principales responsables de las correspondientes participaciones así como los Gestores de Proyecto correspondientes. En lo que respecta a España, el Co-Investigador y el Gestor del Proyecto responsables de la fabricación y del desarrollo de los módulos posteriores (BEM) a 30 y 44 GHz son Enrique Martínez González del Instituto de Física de Cantabria y Eduardo Artal de la Universidad de Cantabria, respectivamente. El desarrollo de los detectores de los BEM se lleva a cabo por Lluís Pradell de la Universidad Politècnica de Catalunya. Respecto a la fabricación del REBA el Co-Investigador y el Gestor del Proyecto son respectivamente Rafael Rebolo y José Miguel Herreros del Instituto de Astrofísica de Canarias.

El proyecto de la misión *Planck* está, a la hora de escribir este artículo, en fase de terminar los diseños y fabricar los modelos calificados (QM) por parte de todos los participantes. Los resultados previos se han ido presentando en las reuniones del Consorcio LFI de *Planck* y en las reuniones del RWG (Radiometer Working Group). El estado actual de los diseños, las interfaces entre el instrumento de alta frecuencia (HFI) y el instrumento de baja frecuencia (LFI) y la seguridad y calidad de los componentes utilizados (*Product Assurance*) están recogidos en documentos entregados a la ESA. Al mismo tiempo se han elaborado unos planes de Medida (*Test Plan*) y planes de desarrollo (*Development Plan*) de los equipos que están ahora en proceso de fabricación. En ellos se establecen los requerimientos de verificación para obtener los certificados de califica-

ción y vuelo de los instrumentos, así como los niveles y duraciones de los test de medida que demuestren que tanto el hardware como el *software* cumplen los requerimientos necesarios. Tanto los QM como los modelos de vuelo de las partes del instrumento con responsabilidad de los grupos españoles se construirán próximamente en empresas españolas del sector espacial.

Gran parte de la información relevante de la misión *Planck* se puede consultar en las páginas web del Investigador Principal del consorcio del LFI o de la ESA, que son respectivamente las siguientes:

<http://www.tesre.bo.cnr.it>

<http://astro.estec.esa.nl/Planck>

El consorcio del LFI de *Planck* tiene establecido un sistema de gestión de la numerosa documentación que se va generando por parte de todos los grupos participantes. Muchos de estos documentos están disponibles en el servidor de la ESA, pero solamente para usuarios pertenecientes al consorcio y a través de palabras clave.

### *Estado actual de la preparación científica para la explotación de los datos*

La colaboración *Planck*, que incluye los consorcios del LFI y HFI así como el equipo responsable de proveer el espejo, tiene el compromiso con la comunidad científica de facilitar tanto los mapas a cada frecuencia, como los mapas de cada componente y el espectro de potencias de las anisotropías de la RCFM. Además de estos productos básicos, los distintos grupos incluidos en la colaboración se ocuparán de la explotación científica de estos productos durante el periodo de propiedad de los datos, después de su lanzamiento en el 2007. Con el fin de prepararse para dicha explotación, recientemente grupos de la colaboración *Planck* han presentado propuestas al Equipo Científico en todos los temas relevantes a la misión. En estas propuestas se recogen los objetivos científicos a conseguir durante el periodo de propiedad, así como las tareas a realizar antes del lanzamiento y su planificación, poniendo especial énfasis en los aspectos instrumentales y de barrido del cielo y las limitaciones debidas a efectos sistemáticos. Estas propuestas incluyen no sólo estudios sobre las anisotropías de la RCFM sino también sobre los otros temas astrofísicos de los que se dispondrá de información: emisiones de nuestra galaxia, espectro de fuentes extragalácticas y cúmulos de galaxias. El conocimiento actual de todos estos fenómenos es muy pobre en el rango espectral en el que va a observar la misión *Planck* debido al inconveniente que supone la atmósfera.

Por parte de los grupos españoles participantes en la colaboración se lidera, por un lado, la propuesta sobre la gaussianidad de los datos de la RCFM y sus consecuencias sobre la historia temprana del universo. Esta

propuesta es la más fundamental de todas las presentadas por estar relacionada con el origen y la evolución del universo en sus etapas más tempranas; además, debido a la complejidad del análisis de los datos, es la que incluye un mayor número de participantes. Por otro lado, se lideran otras dos propuestas relacionadas con los cúmulos de galaxias que se detectarán mediante el efecto Sunyaev-Zeldovich. En la primera de ellas el objetivo es la preparación de un catálogo de cúmulos de galaxias en el óptico para complementar las observaciones en las bandas milimétricas que proveerá la misión *Planck*. La segunda tiene como objetivo determinar el movimiento a gran escala en base a la muestra de cúmulos extraída de los datos del efecto Sunyaev-Zeldovich medidos por la misión.

Enrique Martínez González `martinez@ifca.unican.es`

---

# *SOHO* y su contribución a la física del Sol

Vicente Domingo Codoñer      vdomingo@am.ub.es

Dept. d'Astronomia i Meteorologia  
Univ. Barcelona, Diagonal 647, E-08028 Barcelona

## *Abstract*

A sample of results achieved with the investigations carried out with observations by the Solar and Heliospheric Observatory (*SOHO*) are presented. With helioseismology, *SOHO* has refined the existing information on the Sun's interior: there is an absence of differential rotation in the radiative zone and there is macroscopic mixing in the layer below the convection zone; there are deep sub-surface meridional zonal flows in the convection zone and, superposed to a very slow polar rotation, there is a faster circumpolar jet. Transfer of energy from the photospheric magnetic field towards the transition region and the corona has been established. The electron temperature appears to be lower than expected in the coronal holes, while the ion temperature appears to be very high, indicating the absence of thermal equilibrium. Finally, the source of the fast solar wind has been localized. These and other recent findings by the *SOHO* investigators are summarized in the article.

## *Resumen*

En este artículo se hace un resumen de los resultados obtenidos a partir de las investigaciones llevadas a cabo usando observaciones realizadas por el Observatorio Solar y Heliosférico (*SOHO*). En helioseismología, *SOHO* ha hecho avanzar nuestro conocimiento del interior del Sol poniendo de manifiesto que no existe rotación diferencial en la zona radiativa y que, debajo de la zona de convección, existe una capa en la que se produce una mezcla macroscópica de plasmas. Asimismo, se ha encontrado que en la zona de convección existen zonas meridionales con corrientes transversales profundas y que, superpuesta a una lenta rotación polar, existe una corriente circumpolar. Asimismo, se ha puesto de manifiesto la existencia de una transferencia local de energía desde el campo magnético fotosférico hacia la zona de transición y la corona. En los agujeros coronales, la temperatura electrónica es más baja de lo que se esperaba, mientras que la temperatura de los iones es muy alta, indicando la falta de equilibrio térmico, y ha sido localizada la fuente de emisión del viento solar rápido.

## *SOHO en perspectiva*

El observatorio solar y de la heliosfera (*SOHO*, de sus siglas en inglés) se encuentra en funcionamiento desde hace más de 5 años (fue lanzado en diciembre de 1995 y puesto en órbita en marzo de 1996) y ha significado un importante revulsivo para la investigación solar. En este artículo trataremos de resumir algunos de los avances en el conocimiento del Sol producidos gracias a los datos obtenidos por *SOHO* y, asimismo, revisaremos a qué se debe el éxito de la misión.

El satélite lleva doce instrumentos diseñados para realizar medidas que nos permitan estudiar el Sol desde su centro hasta la heliosfera (véase Tabla 1). Naturalmente, ello no quiere decir que *SOHO* pretenda hacerlo todo. Tres instrumentos realizan medidas heliosísmicas de la fotosfera, así como del campo magnético y de la radiación emitida por la fotosfera; cinco instrumentos hacen espectroscopía, de la región de transición y de la corona, en el ultravioleta extremo (EUV), e imágenes en EUV y en luz visible; otros dos instrumentos estudian la composición atómica e isotópica del viento solar y de las partículas energéticas que se propagan a través del mismo y, finalmente, otro instrumento mide la distribución del hidrógeno neutro en la heliosfera, por medio de imágenes de la radiación Lyman  $\alpha$  difundida por el mismo.

Un factor que dinamiza las investigaciones realizadas con observaciones de *SOHO* es que la operación de los instrumentos se realiza en tiempo real o casi-real, desde un centro de operaciones científicas en el que los investigadores de los diversos instrumentos se reúnen diariamente para planear las observaciones y discutir las observaciones anteriores. Aunque la mayor parte de la investigación se hace en los institutos o universidades distribuidos por todo el mundo, la existencia de un foro común y permanente ha hecho posible un grado de coordinación en la investigación rara vez alcanzado en el pasado. Los investigadores del centro de operaciones provienen de los institutos que participan en la operación de los instrumentos, o en el análisis de los datos que producen, y son residentes o visitantes por periodos variables de tiempo.

*SOHO* se halla situado en una órbita alrededor del Sol, a la altura del punto de Lagrange interno, L1, del sistema Sol-Tierra. Vista desde la Tierra esa órbita es una elipse inclinada alrededor del punto de Lagrange. El satélite apunta permanentemente al Sol y sus instrumentos han operado sin interrupción desde marzo de 1996 si se exceptúa un periodo de cuatro meses a partir del 26 de junio de 1998, durante el que se perdió el control del satélite y la comunicación con el mismo.

En las secciones que vienen a continuación describimos algunos de los resultados más importantes que hemos encontrado, y sería apropiado considerar estos resultados como una muestra de las investigaciones que se hacen con los datos obtenidos por los instrumentos

embarcados en *SOHO*. Basados en estos datos, se han publicado ya más de quinientos artículos en revistas científicas y no es nuestra pretensión hacer una revisión exhaustiva de los mismos.

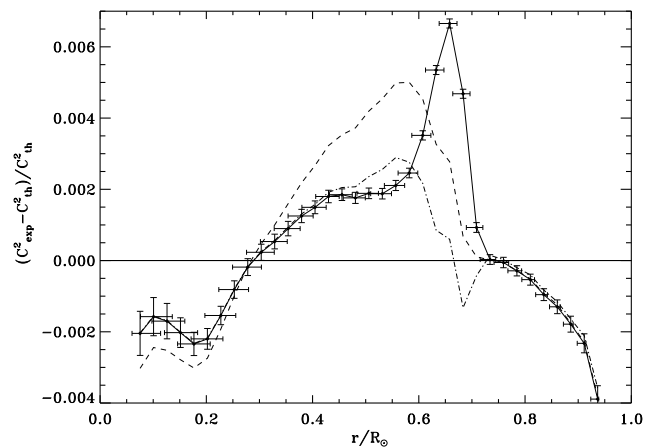
## El interior del Sol

Las oscilaciones de la fotosfera son medidas a partir de las variaciones, en la dirección de la línea de visión, de la velocidad de la superficie visible. El instrumento (GOLF) que realiza estas medidas mide la velocidad global, es decir de todo el disco visible, mientras que otro instrumento (MDI) produce imágenes de la velocidad de la superficie en elementos de 2 segundos de arco. Otro instrumento (VIRGO) determina, con muy baja resolución espacial (12 píxeles para todo el disco solar) pero con una gran estabilidad del detector, la intensidad. Todos ellos toman una medida cada minuto, sin interrupción desde la puesta en funcionamiento de *SOHO*, salvo los cuatro meses perdidos en 1998.

## Heliosismología global

El conocimiento del interior del Sol a partir de su sismología está basado en el estudio, por diversos métodos, de los espectros de potencia espaciales y temporales. Por ello, la continuidad y estabilidad de las medidas hechas por estos instrumentos permiten estudiar, mejor que nunca, los modos de oscilación solar que tienen larga vida, ya que los espectros de series temporales tan largas tienen la mejor relación señal/ruido que se ha obtenido jamás. La comparación de la velocidad del sonido en el interior del Sol, obtenida a partir de la estratigrafía solar realizada con los instrumentos heliosísmicos, con la que predicen los modelos estelares estándar llevó rápidamente a la conclusión de que los modelos eran bastante buenos aunque presentaban algunas pequeñas discrepancias con la observación. Una de las discrepancias se encuentra en la transición entre las zonas radiativa y de convección, donde los análisis de los datos de *SOHO* permiten establecer con detalle la existencia de una capa (tacoclina), justo debajo de la zona de convección, en la que la velocidad del sonido es ligeramente superior, aunque de forma significativa, a la que se obtiene con los modelos solares. Numerosos modelos teóricos han sido propuestos para tratar de resolver esta discrepancia. Recientemente Brun et al. (1999) han encontrado que si se introduce el concepto de mezcla macroscópica de plasmas en esta capa casi puede hacerse desaparecer la discrepancia, al tiempo que también desaparece el fallo de los modelos estándar en la predicción de la abundancia de litio en la fotosfera (Fig. 1). Asimismo, también existe una cierta discrepancia entre los modelos y la observación en el caso del núcleo del Sol, pero aquí la interpretación de las medidas es más difícil y los modelos menos precisos.

Un problema muy conocido de la física solar es la



**Fig. 1.** Diferencia entre la velocidad del sonido experimental (obtenida con datos de GOLF y MDI) y la velocidad del sonido teórica (a partir de un modelo solar estándar (línea continua)) y la de dos modelos que incluyen un término que describe la difusión macroscópica en su ecuación de transporte (Brun et al. 1999)

detección, en la Tierra, de un flujo de neutrinos que discrepa del que predicen los modelos solares estándar. Existe una larga tradición de intentos de adaptar el modelo solar estándar, bien modificando parámetros de la física estelar o bien considerando que la física de los neutrinos no es bien conocida, sin que se haya llegado a una conclusión definitiva. Los modos de oscilación que dependen del núcleo del Sol son los de baja frecuencia. Bertello et al. (2000) con métodos de análisis, desarrollados por Toutain et al. (1998), de ajuste asintótico de las oscilaciones medidas por MDI y GOLF han identificado y medido las frecuencias de varios nuevos modos de oscilación de baja frecuencia. A continuación, han desarrollado un “modelo solar sísmico” que consiste en ajustar, en un modelo solar estándar y dentro de su margen de error, las abundancias y secciones eficaces de la reacción protón-protón hasta obtener el mejor acuerdo posible entre las frecuencias de oscilación calculadas y las observadas por MDI y GOLF. A partir de este modelo han calculado el flujo de neutrinos que deberían medirse como  $128.3 \pm 8.6$  SNU (*solar neutrino unit*) para  $\text{Ga}^{71}$ ,  $7.65 \pm 1.3$  SNU para  $\text{Cl}^{37}$  y  $5.14 \pm 1$  SNU para el agua, mientras que se observan  $74.7 \pm 5$  SNU,  $2.56 \pm 0.23$  SNU y  $2.4 \pm 0.08$  SNU, respectivamente (Turck-Chièze et al. 2001). Llegamos, pues, a la conclusión de que, muy probablemente, la discrepancia entre el número de neutrinos observados en la Tierra y el predicho por los modelos estelares no puede resolverse modificando los modelos estelares.

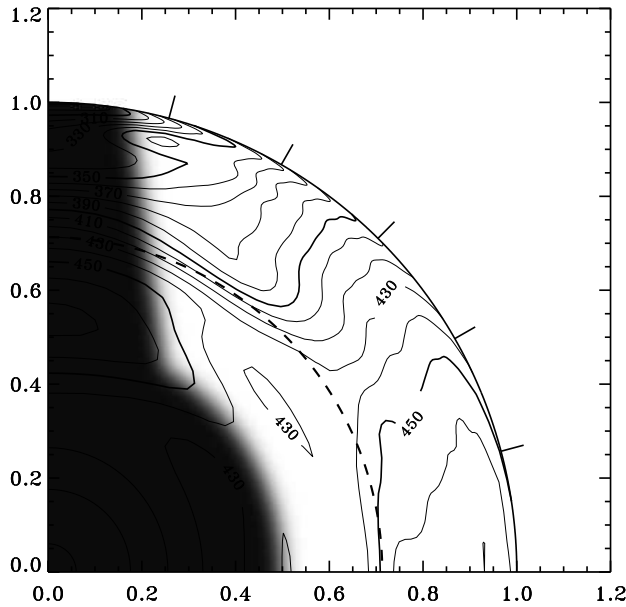
La alta relación señal/ruido en el espectro de frecuencias permite determinar mejor que nunca el desdoblamiento (*splitting*) de las frecuencias de los modos acústicos resonantes globales producido por la rotación interna del Sol. El análisis de estos desdoblamientos confirma que la zona radiativa gira casi como una esfera rígida, mientras que la velocidad de rotación de la



**Tabla 1.** Los instrumentos de *SOHO*

|        |                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| GOLF   | Oscilaciones globales a baja frecuencia. Velocidad por efecto Doppler.              |
| VIRGO  | Variabilidad de la irradiancia solar y oscilaciones de gravedad.                    |
| MDI    | Imágenes Doppler con Michelson. Velocidad en 1024×1024 cada minuto.                 |
| SUMER  | Medidas de la radiación emitida por el Sol en el ultravioleta (50-160 nm).          |
| CDS    | Espectrómetro para el diagnóstico coronal (15-80 nm).                               |
| EIT    | Telescopio en el extremo-ultravioleta (cuatro temperaturas).                        |
| UVCS   | Coronógrafo espectrográfico en el extremo-ultravioleta (1.3-10 $R_{\odot}$ ).       |
| LASCO  | Coronógrafo espectroscópico de gran ángulo (1.1-30 $R_{\odot}$ ).                   |
| SWAN   | Anisotropías en el viento solar (mapa $4\pi$ de la heliosfera en Lyman- $\alpha$ ). |
| CELIAS | Sistema para el análisis elemental, isotópico y de carga del viento solar.          |
| COSTEP | Analizador de partículas supra-térmicas y energéticas.                              |
| ERNE   | Experimento de núcleos energéticos y relativísticos.                                |

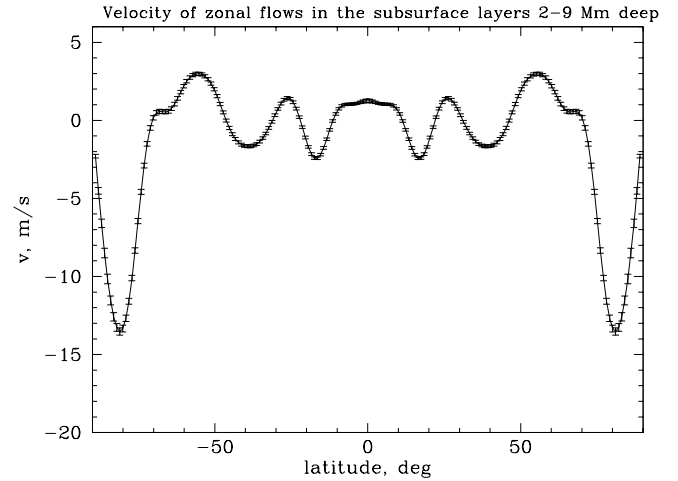
Nota: Todos los instrumentos están descritos en detalle en Fleck et al. (1995).



**Fig. 2.** Rotación interna del Sol calculada a partir de las oscilaciones globales medidas por MDI. En la figura, el lado vertical del cuadrante es el eje de rotación del Sol y el lado horizontal el plano del ecuador. Los errores de estimación son máximos en el eje de rotación y en el centro. Las curvas de nivel se refieren a la velocidad de rotación en nHz.

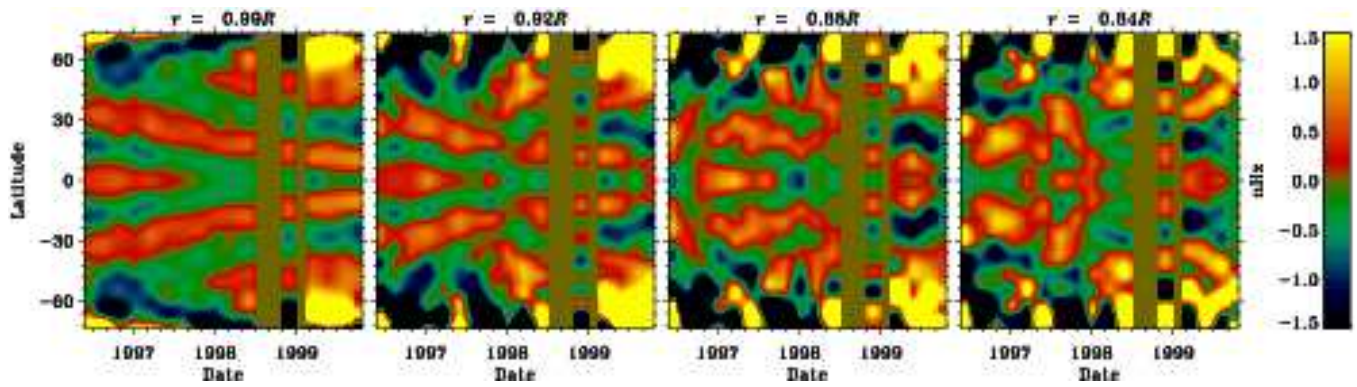
zona de convección disminuye desde el ecuador hacia los polos, y es casi constante en dirección radial (Fig. 2). A partir de esta observación se puede inferir que la tacaclina anteriormente mencionada es la capa de ajuste creada por el rozamiento entre las dos zonas. Asimismo, a bajas y medias latitudes, se observa una zona en la que la velocidad aumenta rápidamente justo por debajo de la superficie. Finalmente este análisis muestra que cerca del polo existe una corriente en la zona de convección que gira más rápidamente que su entorno.

Schou et al. (1998) han estudiado la velocidad de la rotación solar debajo de la superficie a partir del desdoblamiento de las frecuencias del modo fundamental

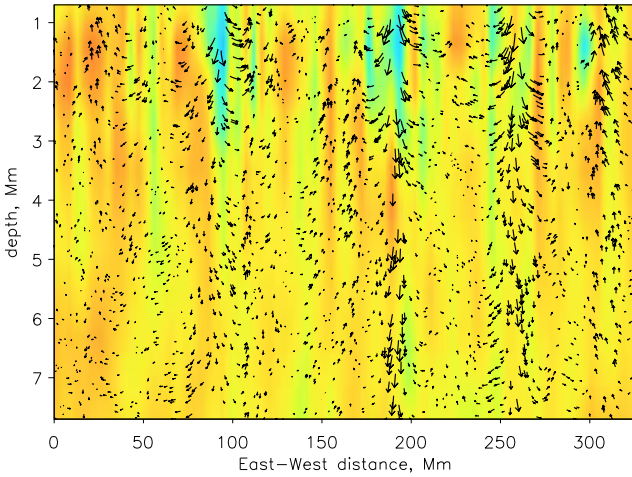


**Fig. 3.** Velocidad de las corrientes azimutales en las capas que se encuentran a una profundidad 2-9 Mm, relativa a una velocidad media. La figura es simétrica respecto al ecuador. Si ignoramos la variación de la velocidad por encima de latitud =  $70^\circ$ , donde la estimación no es válida, vemos que en cada hemisferio hay dos zonas que se mueven más rápidamente que la media y dos zonas que se mueven más lentamente.

(f) de oscilaciones solares de grado armónico esférico intermedio,  $l=120-250$ . Este modo representa ondas superficiales similares a las ondas de la superficie del agua. De esta forma, se han encontrado con la presencia de bandas longitudinales, por debajo de la superficie visible, que tienen una anchura de entre 10 y 15 grados en latitud y que giran ligeramente más deprisa o más lentamente (Fig. 3). Estas observaciones corresponden a las oscilaciones torsionales detectadas desde observatorios terrestres a partir de medidas Doppler de la superficie visible. Howe et al (2000a) han determinado que las bandas se extienden al menos 56 Mm por debajo de la superficie. Observando su evolución en el tiempo, se ha podido ver que dichas bandas se mueven hacia el ecuador, así como que el comienzo de un nue-



**Fig. 4.** Variación de la velocidad de rotación con la latitud y el tiempo de la que se ha substraído un promedio temporal para resaltar el desplazamiento de las corrientes zonales. Los cálculos se han hecho para radios de  $0.99 R_{\odot}$ ,  $0.92 R_{\odot}$ ,  $0.88 R_{\odot}$  y  $0.84 R_{\odot}$ . Las bandas verticales representan ausencia de datos. La escala de grises está en nHz. Las imágenes muestran que la señal de las bandas todavía está presente a  $0.88 R_{\odot}$ .

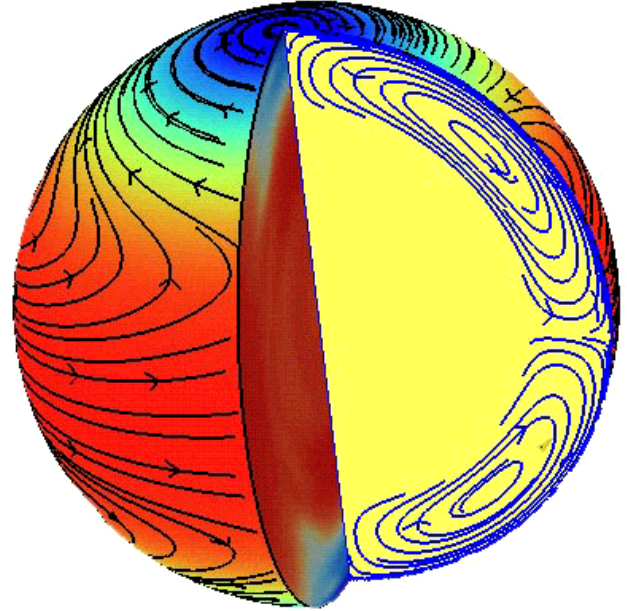


**Fig. 5.** El método de tiempo-distancia proporciona una forma de obtener las variaciones de la velocidad y de las corrientes en el interior del Sol. Este corte vertical muestra una sección en supergranulación. Así se ha visto que la supergranulación se extiende alrededor de 6-8 Mm hacia el interior del Sol, y las celdas tienen un diámetro de 30 Mm.

vo ciclo de bandas se solapa con el anterior, tal como se había visto anteriormente observando la evolución de los campos magnéticos fotosféricos (Altrock 1997) (Fig. 4).

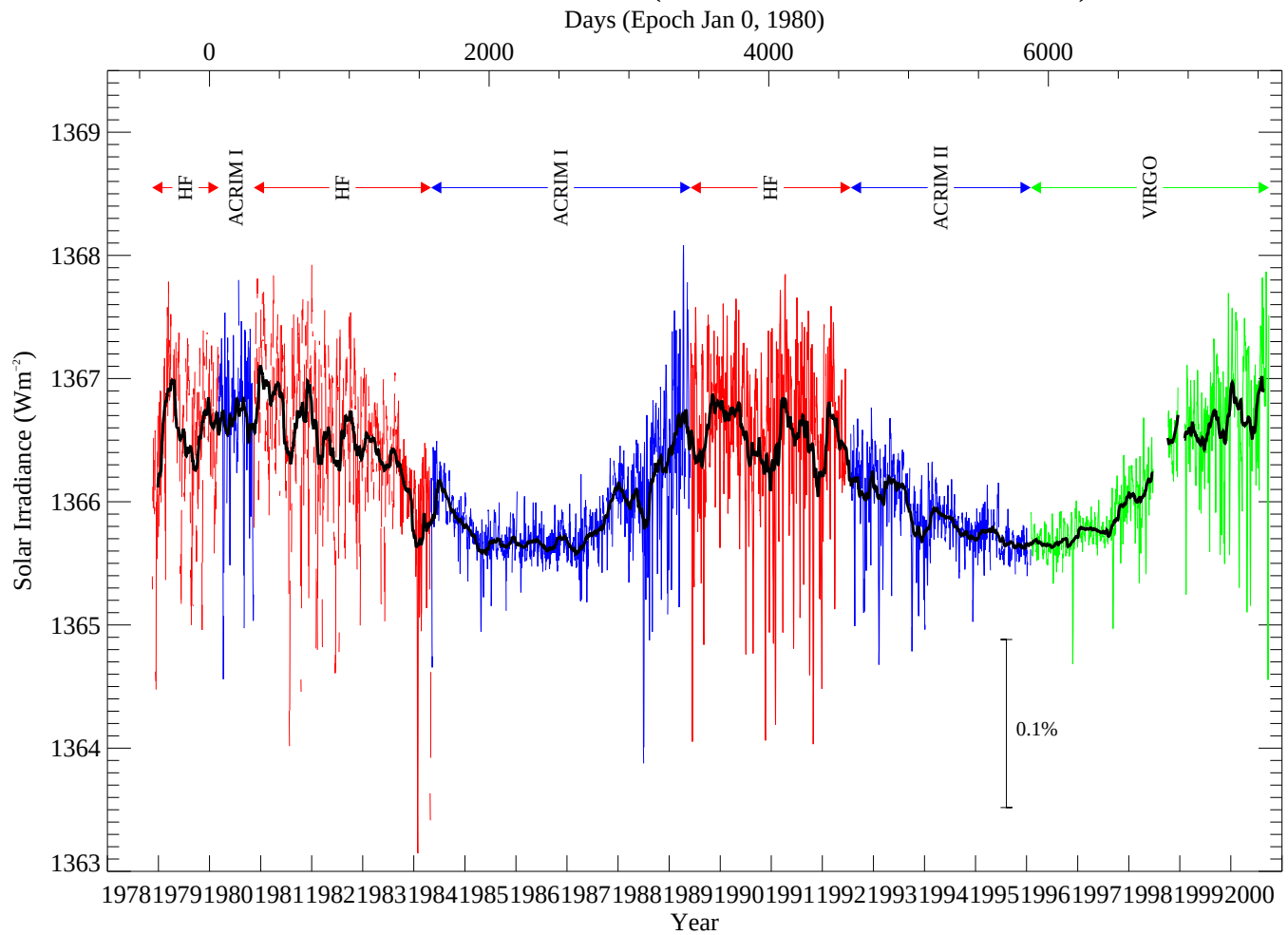
### Heliosismología local

Uno de los progresos más espectaculares de las observaciones heliosísmicas ha sido el desarrollo de técnicas de sismología local, tales como holografía, análisis por diagrama de anillos o heliosismología de tiempo-distancia, para observar fenómenos que ocurren debajo de la superficie del Sol (D'Silva et al. 1996; Kosovichev et al. 2000; Duvall & Gizon 2000). De esta forma ha sido posible hacer mapas instantáneos de las corrientes así como de las anomalías en la velocidad de propagación del sonido en las capas situadas debajo de la superficie solar (Fig. 5). Y se ha podido determinar (Giles et al.



**Fig. 6.** Con la técnica tiempo-distancia se ha podido ver que el flujo meridional que se había observado en el pasado en la superficie del Sol, se extiende por lo menos 26 Mm hacia el interior, y que se desplaza desde el ecuador hacia los polos con una velocidad máxima de 10 a 20 m/s.

1997) que una capa que tiene un espesor de al menos 26 Mm, inmediatamente bajo la superficie, se desplaza desde el ecuador hacia los polos a una velocidad que es máxima (10 a 20 m/s) a media latitud (Fig. 6). Asimismo, ha sido posible observar el nacimiento y desarrollo de una región activa y obtener, por el método de tiempo-distancia, la estructura de una gran mancha solar (Kosovichev et al. 2000), cuando se encuentra debajo de la superficie. Una técnica similar permite determinar la presencia y hacer un mapa de regiones activas en el hemisferio no visible del Sol, abriendo el camino para la predicción de la llegada de regiones activas al hemisferio visible con varios días de anticipación (Lindsey y Braun 2000).



**Fig. 7.** Irradiancia solar total, figura compuesta con las medidas obtenidas por los satélites *NIMBUS-7*, *SMM*, *ERBS*, *UARS* y *SOHO* después de haber sido normalizadas a una escala común (Fröhlich y Lean 1998).

### La irradiancia solar

La irradiancia solar total (constante solar) es medida por VIRGO, contribuyendo así a la continuación de la medida de esta importante magnitud para el clima de la Tierra. *SOHO* ha presenciado el aumento de la irradiancia solar a lo largo del tercer ciclo solar en el que esta medición se ha llevado a cabo (Fröhlich 2000) (Fig. 7). Además, la combinación de las medidas de intensidad luminosa hechas por VIRGO y de la intensidad luminosa y del campo magnético fotosférico hechas por MDI, están permitiendo llegar a entender mejor las causas del cambio de la irradiancia del Sol, que parece estar dominado por las estructuras magnéticas de la fotosfera (Fligge et al. 2000).

### La atmósfera solar

El estudio de los mecanismos de calentamiento de la atmósfera solar y de aceleración del viento solar fueron dos de los argumentos utilizados para diseñar el complejo de instrumentos embarcados en *SOHO*. La combinación de telescopios capaces de producir imágenes

en las longitudes de onda correspondientes a líneas de emisión de iones a temperaturas bien definidas, y de espectrómetros capaces de diagnosticar parámetros (composición, temperatura, densidad electrónica, velocidad) que definen el estado del plasma a varios niveles o temperaturas en la zona de transición y en la corona, está permitiendo grandes avances en la comprensión de la física de la atmósfera solar.

El estudio de los magnetogramas obtenidos por MDI ha llevado a Schrijver et al. (1997) a proponer un modelo de dínamo turbulenta superficial que reemplaza a los campos magnéticos de pequeña escala que se observan por toda la fotosfera cada 1.5-3 días. También se ha observado que pequeños dipolos magnéticos se desplazan hacia la red magnética, y una vez en ella se mueven hacia los puntos de intersección de las células de la red, donde desaparecen. A partir de aquí no es difícil especular que procesos de reconexión magnética en los vértices de la red pueden ser la fuente del calentamiento de la corona.

Por otro lado, Klimchuck y Cargill (2001) han hecho simulaciones de bucles coronales calentados por impulsos de nanofulguraciones producidas al azar, encon-

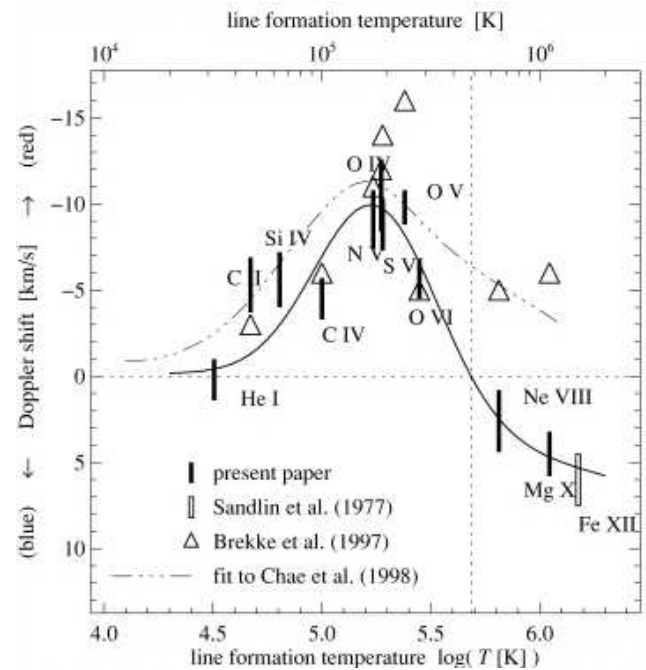
trando que la intensidad, densidad y factor de llenado (*filling factor*) observados en bucles estudiados por los espectrómetros de *SOHO* coinciden plenamente con las características de un plasma calentado por nanofulguraciones. Las nanofulguraciones de la corona solar han sido estudiadas asimismo a partir de las observaciones de Yohkoh, y se ha encontrado que pueden ser un factor importante en el calentamiento de las regiones activas, pero no en las regiones tranquilas del Sol (Shimizu & Tsuneta, 1997). Por otra parte, no se ha hallado relación alguna entre las nanofulguraciones coronales y los fenómenos transitorios de la región de transición.

## Dinámica de la región de transición

Pres y Phillips (1999) han estudiado los puntos brillantes coronales en imágenes de EIT hechas en la línea del Fe XII (a 1.5 MK), y han encontrado que dichos puntos tienen un evolución temporal prácticamente igual a la de los flujos magnéticos, determinada ésta a partir de los magnetogramas fotosféricos obtenidos por MDI. Los puntos brillantes ocurren sobre vértices de la red magnética y puesto que la energía del campo magnético en dichos puntos, integrada para toda la superficie del Sol, es del orden de  $10^3$  veces mayor que la energía necesaria para calentar la corona, podemos especular que éste es un mecanismo viable para el calentamiento de la corona.

El estudio de los sucesos explosivos en la región de transición, encontrados analizando los datos espectrales de SUMER, ha puesto de manifiesto que sus características coinciden plenamente con lo que puede esperarse como resultado de la ocurrencia de reconexiones magnéticas. La comparación con los magnetogramas de MDI no deja lugar a dudas sobre su origen ya que presentan desplazamientos Doppler del orden de  $\pm 150$  km/s, pero no aumento del brillo. Duran del orden de 60 segundos y tienen lugar unas 600 veces por segundo sobre la superficie del Sol. A este respecto, es muy ilustrativo el trabajo de Innes et al. (1997) en el que se presentan casos en los que se ven chorros de plasma, con desplazamiento Doppler hacia el rojo, separados de otros, con desplazamiento hacia el azul, y junto con otros en los que aparecen, simultáneamente, ambos desplazamientos. Es decir, justo lo que cabe esperar como resultado de un proceso de reconexión magnética.

Con los datos de CDS, y usando una gran variedad de líneas que se forman entre  $2 \times 10^3$  y  $1.2 \times 10^6$  K, se han encontrado los llamados parpadeantes (*blinkers*), sucesos que muestran un aumento de la intensidad y que en promedio duran unos 2400 segundos, aunque la mayor parte duran alrededor de 1000 segundos. Alrededor de 3000 parpadeantes están presentes en un momento dado, se observan preferentemente en las líneas de O III, O IV y O V y no muestran desplazamientos Doppler importantes (Harrison et al. 1999). Hasta ahora no se ha podido encontrar una relación entre los dos tipos de



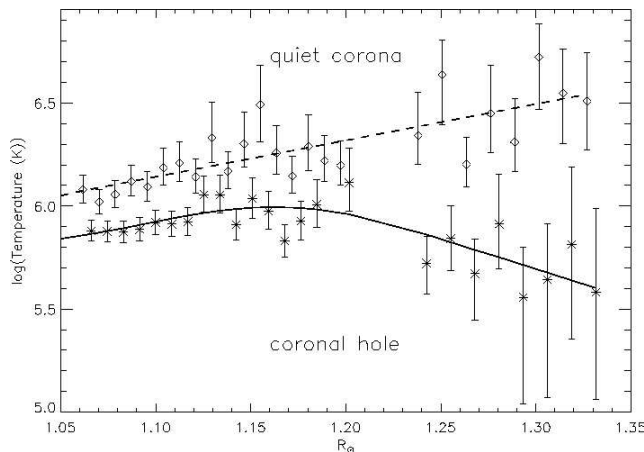
**Fig. 8.** Variación del desplazamiento Doppler en el centro del disco en función de la temperatura. La línea continua representa un ajuste manual de los datos de Peter y Judge (1999).

sucesos transitorios mencionados: los parpadeantes y las explosiones.

Los estudios espectrales anteriores a *SOHO* mostraban un desplazamiento al rojo de las líneas de iones formadas en la región de transición, entre diez mil y varios centenares de miles de grados, es decir, los espectros sugerían un flujo neto descendente sobre todo el disco para el que no hay una explicación teórica satisfactoria. Observaciones similares hechas con *IUE* y con el Telescopio Hubble en otras estrellas, particularmente en  $\alpha$  Cen A,  $\alpha$  Cen B y Procyon, muestran, por debajo de  $1.6 \times 10^5$  K, las mismas características que el Sol. Peter y Judge (1999) usando datos de SUMER han hecho un trabajo fino de determinación de las longitudes de onda de las líneas espectrales de los iones en reposo, haciendo uso de la rotación del Sol, y han extendido las observaciones a temperaturas más altas determinando la presencia de flujos ascendentes por encima de  $5 \times 10^5$  K (Fig. 8). Este es un resultado importante, que tiene implicaciones para la interpretación teórica de la región de transición.

## El viento solar y la corona

Desde 1973, y gracias al *Skylab*, sabemos que el viento solar se presenta, generalmente, como viento rápido y como viento lento. También sabemos que el viento rápido proviene de los agujeros coronales, dejando aparte los efectos de eyecciones de masa que perturban la propagación del viento con sus ondas de choque. Hoy



**Fig. 9.** Variación de la temperatura en función de la altura en la corona "en calma" (*quiet corona*, en la figura) observada en el limbo ecuatorial oeste, y en el agujero coronal polar norte (*coronal hole*) (David et al. 1998).

en día, *SOHO* está produciendo una nueva imagen, aunque todavía fragmentada, del origen y aceleración del viento solar.

Combinando datos de CDS y SUMER, David et al. (1998) han determinado el perfil de temperatura de la atmósfera del Sol en la corona ecuatorial "en calma" y en un agujero coronal. La temperatura se determina comparando dos líneas de relajación del ion O VI, correspondientes a la transición  $2s - 2p$  a  $1032 \text{ \AA}$ , observada con SUMER, y a la transición  $2p - 3d$  a  $173 \text{ \AA}$ , observada con CDS. La temperatura en la región ecuatorial sube regularmente de acuerdo con otras medidas anteriores, hechas por Yokkoh. Sin embargo, en el agujero coronal se encuentra que la temperatura pasa por un valor máximo algo menor de  $1 \text{ MK}$  a  $0.16 R_{\odot}$  y descendiendo después hasta sólo  $0.4 \text{ MK}$  a  $0.35 R_{\odot}$  (Fig. 9). A partir de estos resultados, concluyen que el viento solar no puede ser acelerado únicamente por expansión térmica y que, probablemente, la transferencia de momento al plasma local mediante ondas magnetohidrodinámicas, tal como se infiere de las observaciones de UVCS a alturas mayores, es el origen de la aceleración del viento solar en los agujeros coronales.

Hassler et al (1999) han encontrado que el flujo de masa saliente en una zona a baja latitud de un agujero coronal, medido en una línea coronal de Ne VIII que se forma a  $0.63 \text{ MK}$ , estaba concentrado sobre los vértices de la red magnética cromosférica, definida a partir de la intensidad del Si II. Por otra parte, en líneas espectrales más frías, como el O V, formado a  $0.25 \text{ MK}$ , Banerjee et al. (2000) observan únicamente flujos descendentes en agujeros similares, por lo que puede deducirse que el viento solar en los agujeros coronales se vuelve visible a temperaturas alrededor de  $0.6 \text{ MK}$ .

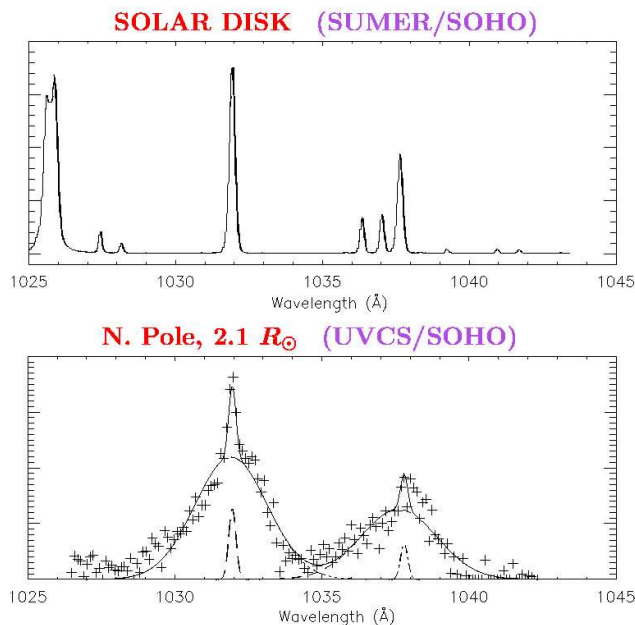
En la corona exterior se encuentran corrientes (*streamers*) de plasma que se extienden, desde la baja corona hasta formar el viento solar, por encima de

regiones donde el campo magnético forma conjuntos de bucles cerrados adoptando la forma de un casco (*helmet*). Dichos bucles se encuentran rodeados por líneas de campo magnético que se abren al espacio. Durante el mínimo de actividad solar suele haber, casi de forma permanente, una estructura de este tipo, muy extensa en longitud, que forma una lámina cerca del ecuador magnético del Sol. Cuando aumenta la actividad solar, este tipo de corrientes aparecen a otras latitudes, generalmente sobre regiones activas. Raymond et al. (1997) han encontrado que en el centro de la corriente ecuatorial, continuación del casco de líneas magnéticas cerradas, la abundancia relativa de los elementos pesados es menor que en la fotosfera en un factor 10 para los elementos con bajo primer potencial de ionización (PPI) y en un factor 5 cuando el PPI es alto. La disminución de las abundancias de los elementos más pesados en la parte con bucles cerrados se puede explicar asumiendo que son regiones en las que los iones permanecen un tiempo lo suficientemente largo para que tenga lugar un proceso de sedimentación gravitacional selectiva. Las abundancias observadas en la base del casco, continuada por las líneas que forman la parte exterior de la corriente o lámina ecuatorial, coinciden con las observadas en el viento solar. Este hecho se ha tomado como el principal argumento para sugerir que el viento lento se genera en la base externa de los bucles que forman el mencionado casco.

Wilhelm et al. (2000) han determinado la temperatura y la densidad de electrones, así como la velocidad de los iones, en las plumas y en las regiones entre plumas de los agujeros coronales. Han empleado los pares de líneas Mg IX  $706/750 \text{ \AA}$  y Si VIII  $1440/1445 \text{ \AA}$ , entre  $1.03$  y  $1.60 R_{\odot}$ . En las plumas, la temperatura electrónica es menor que  $0.8 \text{ MK}$  y descende a  $0.33 \text{ MK}$  con la altura. En las regiones entre plumas, la temperatura de los electrones es también baja, oscilando entre  $0.75$  y  $0.88 \text{ MK}$ . En cambio, las velocidades térmicas y turbulentas del Si VIII alcanzan valores de hasta  $80 \text{ km/s}$ , correspondientes a una temperatura iónica de  $10 \text{ MK}$ . Estos resultados demuestran que no existe equilibrio térmico local en los agujeros coronales polares, y que no se puede seguir utilizando como se acostumbraba el concepto de  $T_e = T_{ion}$ .

En la misma línea, una de las observaciones más sorprendentes hechas por UVCS fue el encontrar que a  $2 R_{\odot}$  las líneas espectrales del O y Mg altamente ionizados eran anchísimas. En el caso del O VI correspondían a velocidades de hasta  $500 \text{ km/s}$ , equivalentes al movimiento térmico de iones con una temperatura de  $200 \text{ MK}$ . Estas velocidades contrastan con las más modestas que se observan en el H (Fig. 10). Un estudio estadístico de las condiciones del plasma en los agujeros coronales muestra que la velocidad de salida del oxígeno es mucho mayor que la del hidrógeno (Fig. 11). Cranmer (2000) ha desarrollado un modelo teórico del plasma presente en los agujeros coronales y las obser-

## O VI $\lambda\lambda$ 1032, 1037 line widths



**Fig. 10.** Observación de las líneas O VI 1032 Å y 1037 Å. En el panel superior, medidas por SUMER en el disco solar, el ancho de las líneas corresponde a velocidades térmicas de 30 km/s. En el panel inferior, la misma medida realizada por UVCS a  $2.1 R_{\odot}$  en el interior de un agujero coronal (Kohl et al. 1997). En cada línea se acumula el perfil debido a la luz de la corona y un pico estrecho debido a la luz difusa que tiene el mismo origen que la del panel superior. La distribución de velocidades de los iones coronales alcanza 500 km/s, que corresponderían a una temperatura cinética de 200 MK.

vaciones anteriores pueden explicarse a partir de la disipación de ondas Alfvén de alta frecuencia ( $10 - 10^4$  Hz) y relativamente baja amplitud, por resonancia con movimientos de Larmor ión ciclotrón.

### Velocidad del viento solar

Observando secuencias temporales de imágenes del coronógrafo LASCO, se aprecia una especie de flujo continuo de material alejándose del Sol. Densas condensaciones de material se desprenden de la cúspide de los cascos y parece como si fueran transportados como las hojas de un árbol por la corriente de un río. Sheeley et al (1997) han seguido muchas de estas condensaciones entre  $2$  y  $25 R_{\odot}$  y han deducido la aceleración del viento solar lento. Típicamente, el viento dobla su velocidad desde  $\sim 150$  km/s a  $5 R_{\odot}$  hasta  $\sim 300$  km/s a  $25 R_{\odot}$ , y encuentran una aceleración constante de alrededor de  $4 \text{ m s}^{-2}$  a lo largo del campo de visión de  $30 R_{\odot}$ . El perfil encontrado puede ser explicado por la expansión de un viento solar isoterma con una temperatura de 1.1 MK y un punto sónico aproximadamente a  $5 R_{\odot}$ .

## Eyecciones coronales de masa (ECM)

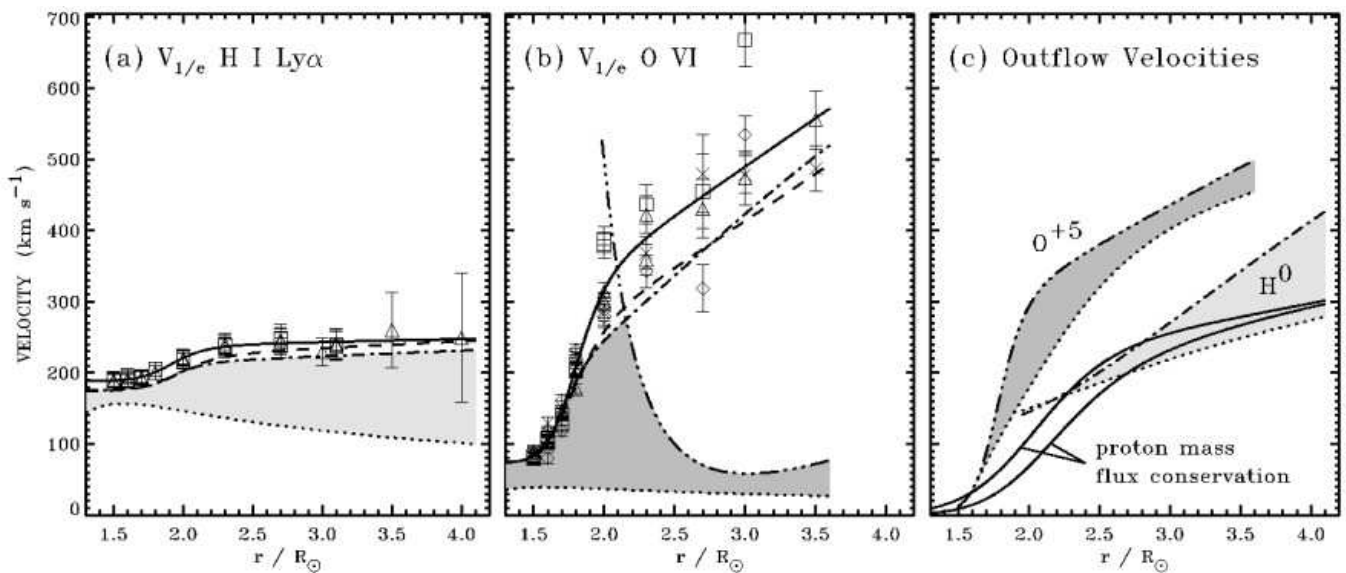
SOHO ha proporcionado la mejor estadística de eyecciones coronales de masa (St Cyr et al. 2000). En general, las propiedades de las ECM no difieren mucho de las que se conocían a partir de las observaciones del satélite P78 (o SOLWIND), pero LASCO ha podido obtener muchos más detalles. 841 ECMs fueron observadas en los primeros dos años y medio de funcionamiento de LASCO, de ellas, 92 fueron del tipo “halo”, así llamadas porque se ven como un halo alrededor del Sol, propagándose aproximadamente en la línea Sol-Tierra. Según las imágenes de EIT, 40 de estas ECMs se dirigían seguramente hacia la Tierra. Asimismo, se ha encontrado que, durante el mismo período, el 86% de las tormentas magnéticas terrestres (con  $K_p > 6$ ) pudieron ser identificadas con una ECM observada por LASCO. Este aspecto está siendo explotado como una información clave para la posible predicción de tormentas magnéticas en la Tierra.

### Ondas de Moreton coronales

Gracias a observaciones continuadas, repetidas con alta frecuencia (menos de 20 minutos), EIT ha observado la propagación de ondas, que se alejan de la región activa donde se ha producido una eyección coronal de masa. Estas ondas se desplazan a velocidades entre 200 y 500 km/s, atravesando el disco solar en menos de una hora (Thompson et al. 1998) y, al parecer, son ondas de choque magnetohidrodinámicas del tipo rápido. Un aspecto interesante es que se ha observado que los protones acelerados por una ECM, acompañada de una onda coronal de Moreton, tienen su origen distribuido a lo largo de las distintas longitudes por los que atraviesa la onda (Torsti et al. 1999). La asociación de ondas con ECMs dirigidas hacia la Tierra también está siendo utilizada para la predicción de los efectos terrestres de las mismas.

### Composición del viento solar

Las observaciones de CELIAS han permitido el estudio de la composición isotópica del viento solar y se han establecido las abundancias relativas de muchos isótopos, hasta ahora desconocidos, en el viento solar y en el Sol. La composición isotópica del calcio y del nitrógeno, por ejemplo, es importante para los estudios de modelos estelares y de la formación del sistema solar. Las relaciones isotópicas  $\text{Ca}^{40}/\text{Ca}^{42}$  y  $\text{Ca}^{40}/\text{Ca}^{44}$  medidas en el viento solar son similares a las encontradas en la Tierra. En cambio la relación  $\text{N}^{14}/\text{N}^{15}$  vale  $200 \pm 60$  en el viento solar, significativamente menor que el encontrado en la atmósfera terrestre y en materiales de la luna, sugiriendo que en la formación de la Tierra ha habido mezcla de material solar y otro material más ligero (Kallenbach et al. 1998).



**Fig. 11.** Ancho de línea y velocidad más probable para el hidrógeno neutro ( $H^0$ ) y el oxígeno ionizado ( $O^{5+}$ ) deducidos a partir de los perfiles de las líneas de emisión medidos por UVCS sobre agujeros coronales polares en 1996 y 1997 (cuadrados en el polo norte, triángulos en el polo sur). Las barras de error denotan la semi-anchura de las líneas, en función de la distancia heliocéntrica y las líneas finas están ajustadas a estos valores. Las regiones con velocidades más probables están marcadas mediante zonas llenas limitadas por líneas gruesas. Destaca que las velocidades transversales del  $O\ VI$ , por encima de  $2\ R_{\odot}$ , son mucho mayores que las longitudinales.

Estudiando la composición de los iones del viento solar obtenida con CELIAS, Hefti et al. (2000), a partir de la relación  $O^{7+}/O^{6+}$  deducen que la temperatura de congelación de los iones (cuando el régimen del plasma pasa de interactivo a no interactivo, es decir cuando la densidad del plasma es tal que los iones dejan de estar en equilibrio térmico) es de 1.6 MK, irreconciliable con las observaciones de David et al. descritas más arriba (Fig. 12). Ko et al. (1997) encuentran un resultado similar analizando las medidas de composición de los iones pesados medidos en el viento solar rápido durante el paso de Ulysses sobre el polo sur. Dichos autores calculan que la congelación (*freeze-in*) del viento solar ocurre a 1.5 MK y a una altura de  $1.5\ R_{\odot}$ . Esto parece indicar que las suposiciones hechas para deducir las temperaturas de congelación son incorrectas en alguno de sus aspectos.

### *La heliosfera y el viento interestelar*

La medida del H neutro a partir de los mapas celestes hechos con los detectores de radiación Lyman  $\alpha$  de SWAN muestran que el viento solar ecuatorial (viento lento) es un 40% más masivo que el viento solar polar (viento rápido) durante el mínimo de actividad solar. Sin embargo, es prácticamente igual, en todas direcciones, en el máximo solar (2000-2001).

Las medidas de SWAN permiten determinar la dirección del H interestelar, y se encuentra un valor en coordenadas eclípticas de  $252.3 \pm 0.7^\circ$  y  $8.7 \pm 0.9^\circ$ , que difiere aproximadamente 3 a 4 grados de la dirección del He interestelar, determinada por otros métodos (Que-

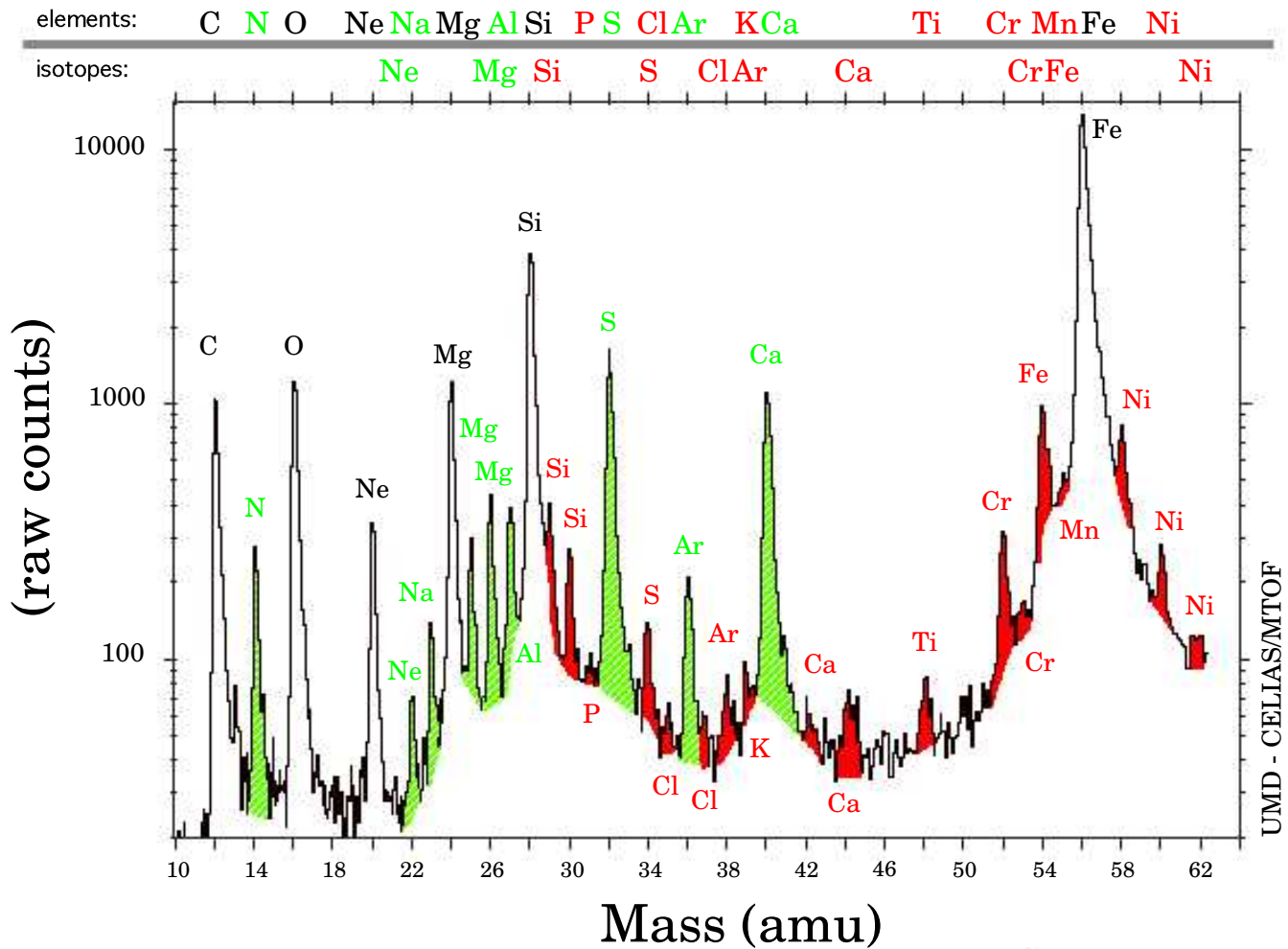
merais et al. 1999). Una posible explicación de esta diferencia es que pueda deberse a una asimetría en la superficie de interacción de la heliosfera con el viento solar creada por la presencia del campo magnético interestelar.

### *Bibliografía*

- Altrock, R.C.: 1997, *Solar Phys.*, 170, 411  
 Banerjee, D., O'Shea, E., Doyle, J.G.: 2000, *Solar Phys.*, 196, 63  
 Bertello, L., Varadi, F., Ulrich, R.K., Henney, C.J., Kosovichev, A.G., García, R.A., Turck-Chièze, S.: 2000, *ApJ*, 537, L143  
 Brekke, P., Hassler, D.M., Wilhelm, K.: 1997, *Solar Phys.*, 175, 349  
 Brun, A., Turck-Chièze, S., Zahn, J.P.: 1999, *ApJ*, 523, 1032  
 Chae, J., Yun, H.S., Poland, A.I.: 1998, *ApJ Suppl. Ser.*, 114, 151  
 Cranmer, S.R.: 2000, *ApJ*, 532, 1197  
 D'Silva, S., Duvall, T.L., Jefferies, S.M., Harvey, J.W.: 1996, *ApJ*, 471, 1030  
 David, C., Gabriel, A.H., Bely-Dubau, F., Fludra, A., Lemaire, P., Wilhelm, K.: 1998, *A&A*, 336, L90  
 Duvall, T.L., Jr., Gizon, L.: 2000, *Solar Phys.*, 192, 177  
 Fleck, B., Domingo, V., Poland, A. (editors): 1995, *The SOHO Mission*, Kluwer Acad. Press, Dordrecht - Also as *Solar Physics*, Volume 162  
 Fligge, M., Solanki, S.K., Unruh, Y.C.: 2000, *A&A*, 353, 380  
 Fröhlich, C.: 2000, *Space Sci. Rev.*, 94, 15  
 Giles, P.M., Duvall, T.L., Scherrer, P.H., Bogart, R.S.:



# Solar Wind Elements/Isotopes Observed by CELIAS MTOF



**Fig. 12.** Ejemplo de espectro de masas obtenido por CELIAS acumulando durante tres días observaciones hechas por el instrumento ajustado para obtener el mejor resultado para masas por encima del azufre (S). Los distintos tonos (colores en el original) se refieren al grado de novedad, tal como primera vez que se observa, primera observación en el viento solar, etc.

- 1997, *Science*, 390, 56
- Harrison, R.A., Lang, J., Brooks, D.H., Innes, D.E.: 1999, *A&A*, 351, 1115
- Hassler, D.M., Dammasch, I.E., Lemaire, P., Curdt, W., Mason, H. E., Vial, J.-C., Wilhelm, K.: 1999, *Science*, 283, 810
- Hefti, S., Gruenwaldt, H., Bochsler, P., Aellig, M.R.: 2000, *J. Geophys. Res.*, 105, 10, 527-10, 536
- Howe, R., Christensen-Dalsgaard, J., Hill, F., Komm, R.W., Larsen, R.M., Schou, J., Thompson, M.J., Toomre, J.: 2000, *ApJ*, 533, L163
- Innes, D.E., Inhester, B., Axford, W.I., Wilhelm, K.: 1997, *Nature*, 386, 811
- Kallenbach, R., et al.: 1998, *ApJ*, 507, L185
- Ko, Y.-K., Fisk, L.A., Geiss, J., Gloeckler, G., Guhathakurta, M.: 1997, *Solar Phys.*, 171, 345
- Kohl, J.L., et al.: 1997, *Solar Phys.*, 175, 613
- Kosovichev, A.G., Duvall, T.L., Jr., Birch, A.C., Gizon, L., Scherrer, P.H., Junwei, Z.: 2001, *Proc. SOHO 10/GONG 2000 Workshop*, "Helio- and Asteroseismology at the Dawn of the Millenium", (ESA SP-464), p. 701
- Kosovichev, A.G., Duvall, T. L., Jr., Scherrer, P.H.: 2000, *Solar Phys.*, 192, 159
- Kosovichev, A.G., Schou, J.: 1997, *ApJ*, 482, L207
- Lindsey, C., Braun, D.C.: 2000, *Science*, 287, 1799
- Peter, H., Judge, P.G.: 1999, *ApJ*, 522, 1148
- Pres, P., Phillips, K.J.H.: 1999, *ApJ*, 510, L73
- Quémerais, et al. : 1999, *Journal of Geophysical Research*, 104, 12585
- Raymond, J.C.: 1999, *Space Sci. Rev.*, 87, 55
- Raymond, J.C., et al.: 1997, *Solar Phys.*, 175, 645
- Schou, J., et al.: 1998, *ApJ*, 505, 390
- Schrijver, C.J., Title, A.M., Hagenaar, H.J., Shine, R.A.: 1997, *Solar Phys.*, 175, 329
- Sheeley, N., Jr., et al.: 1997, *ApJ*, 484, 472
- Shimizu, T., Tsuneta, S.: 1997, *ApJ*, 486, 1045
- St. Cyr, O.C., et al.: 2000, *J. Geophys. Res.*, 105, 185



- Thompson, B.J., et al.: 1998, ApJ, 14, L2465
- Torsti, J., Kocharov, L.G., Teittinen, M., Thompson, B.J.: 1999, ApJ, 510, 460-465
- Toutain, T., Appourchaux, T., Fröhlich, C., Kosovichev, A., Nigam, R., Scherrer, P.H.: 1998, ApJ, 506, L147
- Turck-Chièze, et al., 2001, ApJ, 555, L69
- Wilhelm, K., Dammasch, I.E., Marsch, E., Hassler, D.M.: 2000, A&A, 353, 749
-

## *Contribución al estudio de la dinámica Galáctica: superposición de sistemas estelares*

Santiago Alcobé `santiago.alcobe@bull.es`

**Director/es:** M. Asunción Catalá y Rafael Cubarsi

**Centro:** Universitat de Barcelona

**Lectura:** 25 de mayo de 2001

El trabajo analiza diversos aspectos del comportamiento cinemático de las poblaciones estelares en el entorno solar. Con ese fin se desarrolla y pone a punto un método numérico de superposición de sistemas estelares que permite aproximar una muestra global de estrellas por dos o más componentes cada una de ellas con distribución normal de velocidades. Se parte de los principios y métodos de la Dinámica Galáctica. Se plantea el modelo estadístico de la superposición de  $n$  funciones de distribución de Schwarzschild generalizadas. Se desarrolla un método de cálculo numérico para el caso particular de dos poblaciones que finalmente se aplica a muestras estelares locales. Los resultados que se obtienen de la aplicación del método se encajan dentro de los modelos dinámicos que se presentan al principio. Adicionalmente se desarrolla un método de selección de la muestra de estrellas por máxima entropía de la probabilidad de mezcla.

El trabajo comienza recordando las conclusiones sobre los valores de los momentos y las velocidades medias de la distribución de velocidades de una muestra de estrellas a las que llegan diferentes autores. Se resumen varios modelos dinámicos de sistemas estelares de Chandrasekhar que utilizan diferentes hipótesis de simetrías de la distribución de velocidades. Simetría cilíndrica en estado estacionario, en estado no estacionario con y sin simetría respecto del plano galáctico y simetría axial no cilíndrica. Se utiliza el principio de superposición de poblaciones para obtener grupos de estrellas que se ajustan a modelos dinámicos sencillos aun cuando el conjunto global de estrellas no pueda interpretarse de acuerdo con las mismas simplificaciones. Se describen las diferentes interpretaciones del fenómeno de la desviación del vértex resumiendo las posibles causas del mismo. Se introduce el concepto de poblaciones estelares de acuerdo con el criterio de que cinemática y distribución espacial hacen referencia a componentes mientras que edad y metalicidad se refieren a poblaciones dentro de una componente.

A continuación, se presenta el desarrollo estadístico que da lugar al algoritmo de cálculo y se deducen las expresiones de los momentos de orden  $n$  de una superposición arbitraria de  $p$  poblaciones. Sean  $\mathbf{M}_n$  los momentos centrales totales de orden  $n$ ,  $\mathbf{M}_n^{(i)}$  los id. parciales,  $\mathbf{w}^{(i)} = \mathbf{v}^{(i)} - \mathbf{v}$  el vector diferencia entre la ve-

locidad del subcentroide  $i$ -ésimo y el centroide total y  $n^{(i)}$  la fracción de población de la componente  $i$ .

Si  $\star$  representa el producto tensorial simetrizado, se deduce:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_2 &= \sum_{i=1}^p n^{(i)} \left( \mathbf{M}_2^{(i)} + \left( \mathbf{w}^{(i)} \right)^2 \right) \\ \mathbf{M}_3 &= \sum_{i=1}^p n^{(i)} \left( 3\mathbf{w}^{(i)} \star \mathbf{M}_2^{(i)} + \left( \mathbf{w}^{(i)} \right)^3 \right) \\ \mathbf{M}_4 &= \sum_{i=1}^p n^{(i)} \left( \mathbf{M}_4^{(i)} + 6 \left( \mathbf{w}^{(i)} \right)^2 \star \mathbf{M}_2^{(i)} + \left( \mathbf{w}^{(i)} \right)^4 \right) \end{aligned}$$

Estas expresiones dan lugar a un sistema de ecuaciones cuya resolución para el caso  $p = 2$  constituye el método numérico de separación de poblaciones. Se consigue así optimizar un desarrollo analítico previo y utilizar el mínimo número de grupos estelares que expliquen los parámetros característicos de la muestra trabajando con grupos numerosos de estrellas y buscando propiedades generales.

Se optimizan los resultados mediante propagación estadística de errores y resolución de sistemas de ecuaciones por mínimos cuadrados ponderados a partir de las expresiones estadísticas anteriores. Como forma de entrenamiento del método numérico se generan muestras sintéticas a las que se les aplica el mismo. Estas muestras, permiten introducir estrellas de comportamiento cinemático extremo y sugieren el criterio de selección de la muestra. Además, las muestras sintéticas permiten aplicar el método numérico desarrollado de forma recurrente, previa extracción de la población más dispersa y así obtener más de dos poblaciones gaussianas a partir de una muestra global.

Se define un criterio de selección de estrellas de la muestra para excluir las que presentan características cinemáticas más extremas. Este criterio puede asociarse con la idea de máxima entropía para obtener la aproximación general (supuestas dos poblaciones) que sea representativa del máximo número de estrellas. Finalmente se aplica todo lo planteado a muestras del entorno solar. En primer lugar al Tercer Catálogo de Estrellas Cercanas CNS3 y a continuación al catálogo *Hipparcos*. Esta última muestra se ha obtenido cruzando el catálogo *Hipparcos* con las velocidades radiales del HINCA para obtener el espacio de velocidades.

La aplicación del método de cálculo a muestras del entorno solar permite deducir interesantes conclusiones sobre la cinemática local. Se aportan nuevos valores para las velocidades radiales, desviación del vértex y proporciones de mezcla de poblaciones en el entorno solar. En la muestra procedente del CNS3 se aprecian los denominados discos joven y viejo siendo esta última componente compatible con un modelo dinámico de simetría cilíndrica. En la procedente de *Hipparcos* se aprecia además el disco grueso presentándose desviación del vértex para todas las componentes. Adicionalmente, desde un punto de vista metodológico se aporta la optimización de un método numérico, su tratamiento de errores y la forma de seleccionar la muestra.

# Improving the image quality of large segmented mirror telescopes

Carmen Dolores Bello Figueroa      Bello@onera.fr

**Director/es:** Nicholas Devaney y José Miguel Rodríguez Espinosa

**Centro:** Instituto de Astrofísica de Canarias

**Lectura:** 29 de noviembre de 2000

Los astrónomos requieren telescopios cada vez mayores de forma que puedan observarse objetos más débiles. Los telescopios con espejos segmentados se han propuesto como una solución al problema de incrementar el diámetro del espejo primario.

Esta solución es relativamente nueva, y sólo tres telescopios que hayan adoptado esta tecnología están ahora en operación (Keck I, Keck II y Hobby Eberly). El Gran Telescopio Canarias (GTC), que está siendo construido en el Observatorio del Roque de los Muchachos por el Instituto de Astrofísica de Canarias, será un telescopio con espejo primario segmentado. Uno de los requerimientos de este telescopio es que debe proporcionar una excelente calidad de imagen de forma que pueda aprovechar las excelentes condiciones atmosféricas en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Existen ya planes para la próxima generación de telescopios extremadamente grandes, con espejos primarios de hasta 100 m de diámetro. Estos telescopios emplearán tecnología de espejos segmentados.

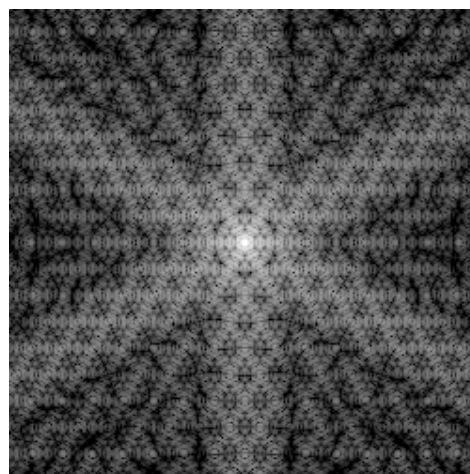
Todo esto demuestra la importancia de optimizar la calidad de imagen que puede alcanzarse con un telescopio segmentado, que ha sido el objetivo de este trabajo de tesis. Para hacer esto, en primer lugar hemos caracterizado los errores ópticos específicos de telescopios con espejos segmentados y analizado su efecto en varios parámetros de calidad de imagen por medio de simulaciones. El efecto del desalineado entre los segmentos que forman el espejo ha sido estudiado desarrollando un modelo analítico sencillo de un espejo segmentado formado por dos anillos concéntricos.

Habiendo analizado los errores ópticos específicos de espejos segmentados, desarrollamos un sensor de frente de onda que será el encargado de proporcionar información acerca de la forma de los segmentos al sistema de óptica activa y al modelo de comportamiento del telescopio. Este sensor de frente de onda es del tipo Shack-Hartmann. Para él hemos desarrollado algunas nuevas geometrías de subaperturas que permiten medir el frente de onda localmente en cada segmento. Hemos derivado un reconstructor modal que minimiza el error en la estimación de los coeficientes que caracterizan al frente de onda en una expansión de polinomios de Zernike. Se muestra que el rendimiento del sensor de Shack-Hartmann junto con el reconstructor modal en la caracterización de la forma de los segmentos es muy bueno.

Pasamos entonces a los errores de pistón entre los segmentos. Presentamos un breve análisis de las posibles técnicas de cofaseo, y nos centramos en la cámara de cofaseo, basada en el análisis del perfil de la PSF de subaperturas circulares situadas en los bordes de los segmentos. Hemos desarrollado un modelo analítico completo para la PSF correspondiente a una subapertura cuadrada situada en el borde de los segmentos, que nos permite incluir otros errores ópticos aparte del error de pistón. Hemos propuesto un sensor de frente de onda global que es capaz de medir no sólo los errores de figura locales a los segmentos, sino también los errores de pistón entre ellos y corregir estas medidas del efecto de los errores de figura locales. Este sensor será parte de la cámara de adquisición y guiado del telescopio GTC.

En el desarrollo de todo este trabajo hemos supuesto que el telescopio opera en el régimen de larga exposición y que por tanto la calidad de imagen está limitada por *seeing* en el visible. Sin embargo, es igualmente importante analizar qué ocurre cuando un sistema de óptica adaptativa opera en un telescopio segmentado. Los efectos de segmentación podrían ser más importantes en este caso, ya que el sistema de óptica adaptativa corrige parte de los errores inducidos por la turbulencia atmosférica. Por esta razón hemos estudiado también el efecto de la segmentación en el rendimiento de sistemas de óptica adaptativa, demostrando que estos sistemas operando en telescopios segmentados no demandan un solución muy diferente de aquellos que lo hacen en telescopios monolíticos, y que el sistema de óptica adaptativa puede además corregir parte de los errores de pistón del espejo.

La idea de construir telescopios extremadamente grandes basados en espejos primarios segmentados y utilizando óptica adaptativa parece por tanto factible.



**Fig. 1.** Patrón de difracción correspondiente a una apertura segmentada formada por 36 segmentos hexagonales (Tipo GTC).

# *A Comprehensive Study of High Metallicity-Giant Extragalactic HII Regions*

Marcelo Castellanos Beltrán  
marcelo@pollux.ft.uam.es

**Director/es:** Angeles I. Díaz Beltrán  
**Centro:** Universidad Autónoma de Madrid  
**Lectura:** 18 de enero de 2001

En este trabajo se presenta un estudio de regiones H II (hidrógeno ionizado) extragalácticas de alta metalicidad, bajo las siguientes condiciones:

- Hemos realizado observaciones espectrofotométricas de amplia cobertura espectral y con una resolución suficiente para detectar y medir tanto las débiles líneas prohibidas aurales como las características de estrellas *Wolf-Rayet* (WR).
- Hemos derivado la temperatura electrónica en las regiones observadas con el fin de investigar la estructura de ionización de las mismas y la composición química del gas.
- Se han aplicado de manera consistente modelos de síntesis evolutiva y modelos de poblaciones WR con el fin de comparar las propiedades predichas con las observadas.

De esta manera, hemos seleccionado de la literatura, aquellas regiones HII gigantes cuya metalicidad, obtenida a partir de calibraciones empíricas basadas en las líneas prohibidas del oxígeno en el rango óptico, es solar o sobresolar (alta metalicidad). Presentamos los resultados de estas investigaciones en 22 regiones HII, observadas en las galaxias espirales NGC 4258, NGC 628, NGC 925, NGC 1232 y NGC 1637. Las observaciones fueron realizadas en el telescopio *William Herschel*, situado en la isla de La Palma.

A continuación, detallamos los principales resultados obtenidos así como las conclusiones del trabajo.

En nueve de las regiones observadas, 74C, 69C (NGC 4258); H13, H3, H4, H5 (NGC 628); CDT1, CDT3 y CDT4 (NGC 1232), hemos podido derivar medidas precisas de la temperatura electrónica a partir del cociente entre las intensidades de las líneas aurales y las líneas nebulares. Esto nos permite obtener la composición química del gas a partir de métodos estándar. Así, encontramos que las abundancias de oxígeno derivadas en estas regiones, previamente consideradas de alta metalicidad, son entre 0.2 y 0.5 dex menores que los valores derivados mediante calibraciones empíricas. En el resto de las regiones, la abundancia de oxígeno se ha determinado tanto a partir de una calibración empírica basada en las líneas de emisión del azufre ( $S^{23}$ ) como de una modelización detallada.

En el caso de la región CDT1 (NGC 1232), es la primera vez que se ha podido determinar la abundancia

de oxígeno en una región HII de alta metalicidad a partir de métodos estándar. El valor obtenido es  $1.10Z_{\odot}$ . Esta región, junto con la observada en NGC 1637 (CDT1), son las únicas dos regiones HII de la muestra que pueden ser consideradas de alta metalicidad.

El cociente observado de las abundancias de azufre y oxígeno ( $\log(S/O)$ ), muestra un valor en torno al solar con una dispersión de  $\pm 0.2$  dex. Es interesante resaltar que las regiones H13, H3 (NGC 628) y CDT1 (NGC 1232), aun mostrando abundancias de oxígeno que difieren en un orden de magnitud, su valor para el  $\log(S/O)$  es subsolar. Así, CDT1 en NGC 1232 muestra las mismas propiedades ya observadas en regiones de alta metalicidad de M51. En cuanto al cociente de abundancias de nitrógeno sobre oxígeno,  $\log(N/O)$ , todas las regiones muestran valores solares o subsolares, dentro de los errores estimados, salvo la región CDT1 en NGC 1232 en la que se obtiene un valor de  $\log(N/O) = -0.81$ . Este resultado indica que existe una contribución secundaria de nitrógeno al aumentar la metalicidad.

En cuatro de las regiones gigantes observadas (H13, CDT1, CDT2 y CDT4), hemos derivado temperaturas electrónicas precisas ( $t(O^{2+})$ ,  $t(S^{2+})$ ,  $t(N^{+})$  y  $t(S^{+})$ ). En el caso de la región H13 (NGC 628), el valor medio de las cuatro temperaturas electrónicas medidas es  $10\,000 \pm 700$  K. Estos datos parecen confirmar que los modelos de estratificación de temperaturas en tres zonas pueden explicar consistentemente la estructura térmica en regiones HII.

Se han detectado diferentes rasgos debido a estrellas *Wolf-Rayet* en las cinco regiones HII gigantes observadas. Dichos rasgos son especialmente prominentes en las regiones H13 y 74C. A partir de consideraciones basadas tanto en los espectros observados como en modelos de fotoionización podemos concluir que la presencia de estrellas WR en estas regiones no altera sus estructuras de ionización. Los modelos de poblaciones WR reproducen consistentemente tanto las propiedades individuales como globales de los rasgos WR observados (intensidades de líneas y anchuras equivalentes). En cuanto a los modelos de síntesis evolutiva (*STARBURST99*), sólo una de las regiones gigantes observadas puede ser reproducida por los modelos.

Por último, hemos aplicado modelos de fotoionización de una sola estrella a una amplia muestra de regiones HII de alta metalicidad compiladas de la literatura, con el fin de analizarlas a partir de los diagramas de diagnóstico que enfrentan diferentes cocientes de líneas de emisión. Nuestros resultados sugieren que en estas regiones los cocientes de abundancias de N/O y S/O deben ser mayores y menores que los solares, respectivamente, con el fin de que los modelos reproduzcan las observaciones. En cuanto a la muestra de regiones circunucleares, nuestros modelos muestran que estas regiones deben alcanzar mayores temperaturas efectivas y abundancias que las regiones HII de disco.

# Las enanas marrones y planetas aislados en cúmulos jóvenes: caracterización, evolución y función de masas

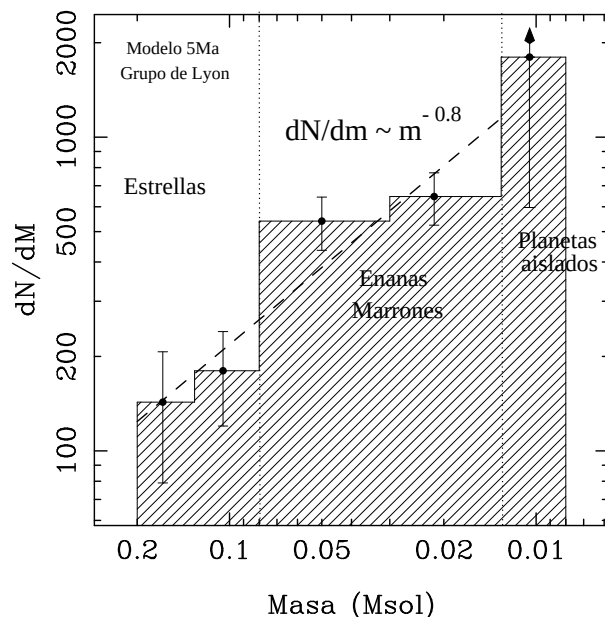
Víctor Javier Sánchez Béjar [vbejar@iac.es](mailto:vbejar@iac.es)

**Director/es:** Rafael Rebolo López y Eduardo L. Martín Guerrero de Escalante

**Centro:** Universidad de La Laguna

**Lectura:** 12 de enero de 2001

En esta tesis hemos estudiado las principales características y propiedades físicas de las enanas marrones y objetos de masas planetarias ( $5\text{--}13 M_{\text{Jup}}$ ) jóvenes, detectados por primera vez no ligados a estrellas. Como resultado de nuestros trabajos hemos definido la secuencia fotométrica tanto en el óptico (*RIZ*) como en el infrarrojo (*JK*) en los cúmulos de  $\sigma$  Orionis ( $\sim 5$  Ma),  $\epsilon$  Orionis ( $\sim 7$  Ma),  $\alpha$  Persei (90 Ma) y las Pléyades (120 Ma). En  $\sigma$  Orionis hemos encontrado, en un área total de  $1.12$  grados<sup>2</sup>, más de un centenar de objetos del cúmulo entre magnitudes  $I=16\text{--}24$ , lo que según los modelos teóricos de evolución equivale a las masas comprendidas entre  $0.30\text{--}0.005 M_{\odot}$ . En  $\epsilon$  Orionis hemos encontrado en un área de  $0.28$  grados<sup>2</sup> una secuencia de 123 candidatos entre magnitudes  $I=15\text{--}22$ , con masas estimadas entre  $0.30\text{--}0.015 M_{\odot}$ . En  $\alpha$  Persei nuestros estudios en  $0.85$  grados<sup>2</sup> han identificado un total de 74 candidatos entre  $I=16\text{--}24$  ( $0.20\text{--}0.025 M_{\odot}$ ). Por último en las Pléyades hemos encontrado, en el área del CFHT ( $2.2$  grados<sup>2</sup>), una población de miembros del cúmulo entre  $I=16\text{--}22$  con masas comprendidas entre  $0.15\text{--}0.035 M_{\odot}$ . El posterior seguimiento espectroscópico de estos candidatos nos ha permitido definir la secuencia de las enanas marrones y planetas “aislados” de  $\sigma$  Orionis entre M6–L4 y las estrellas de baja masa y enanas marrones de las Pléyades (M5–L0) y de  $\alpha$  Persei (M4–M5). La adquisición de espectros de mayor resolución en torno a la línea de  $6708 \text{ \AA}$  de LiI, nos ha permitido comprobar que este elemento se conserva en las estrellas de  $\sigma$  Orionis, como cabría esperar para un cúmulo tan joven como 5 Ma. La presencia del Li en la atmósfera de tres objetos de este cúmulo con tipo espectral M7–L1.5 nos ha permitido confirmar la naturaleza subestelar de los mismos. De los estudios espectroscópicos de baja resolución y de las síntesis espectrales realizadas, hemos comprobado que las enanas marrones jóvenes presentan anchuras equivalentes de determinadas líneas como las del Na ( $8183.3$  y  $8194.8 \text{ \AA}$ ), K ( $7665$  y  $7699 \text{ \AA}$ ) o Cs ( $8521$  y  $8943 \text{ \AA}$ ), menores que los objetos del campo, e incluso en los objetos de  $\sigma$  Orionis ésta es menor que en el caso de las Pléyades. La intensidad de las bandas de VO y TiO aumenta hasta M7–M9, a partir de lo cual decrecen al condensarse en forma de granos de polvo. También hemos comprobado que para los objetos M6–



**Fig. 1.** Espectro de masas del cúmulo de  $\sigma$  Orionis para el modelo de 5 Ma del grupo de Lyon. El mejor ajuste, en línea discontinua, corresponde a una ley potencias con exponente 0.8. Los límites de masas entre estrellas y enanas marrones y entre éstas y planetas aparecen representados por trazas a puntos. La flecha a la derecha indica la incompletitud del estudio en el intervalo planetario.

M8 de cúmulos jóvenes la anchura equivalente de  $H_{\alpha}$  en emisión está relacionada con la edad, siendo mayor que en las estrellas del campo, y desapareciendo posteriormente en tipos espectrales más tardíos. Las síntesis espectrales que hemos llevado a cabo en el rango  $6000\text{--}9500 \text{ \AA}$  nos han permitido determinar una escala de temperaturas efectivas entre  $3300\text{--}2550 \text{ K}$  para las enanas marrones jóvenes. Con los parámetros físicos derivados hemos llevado a cabo estudios evolutivos de las enanas marrones jóvenes. En ellos hemos podido comprobar que durante los primeros cien millones de años estos objetos se encuentran en una fase de contracción muy rápida, prácticamente isoterma para las más masivas, y que por lo tanto su gravedad experimenta un aumento significativo, de más de un orden de magnitud. Nuestros estudios de la función de masas en el régimen subestelar, para los cúmulos de  $\sigma$  Orión y las Pléyades, establecen que el espectro de masas ( $dN/dm \sim m^{-\alpha}$ ) es creciente en todo el rango de las enanas marrones, con un índice  $\alpha \sim 0.8 \pm 0.4$ . Esta función creciente presenta indicios de una prolongación con una pendiente similar hacia masas planetarias. El objeto más débil perteneciente a la secuencia espectroscópica de  $\sigma$  Orionis, S Ori 60, con una masa estimada de  $0.010\text{--}0.005 M_{\odot}$ , constituye la primera prueba de la existencia de planetas “aislados”, no ligados a ninguna estrella principal. La extrapolación de nuestros resultados al resto del disco galáctico implica que los objetos subestelares, en su conjunto, son tan numerosos como las estrellas, aunque su contribución en masa es menor que el 10%.

# *Estudio de las propiedades óptico-infrarrojas de la muestra B3-VLA de radio cuásares y su relación con el entorno*

Sebastián F. Sánchez Sánchez  
sfsanchez@segundosfuera.com

**Director/es:** J. Ignacio González Serrano  
**Centro:** Instituto de Física de Cantabria  
**Lectura:** 4 de mayo de 2001

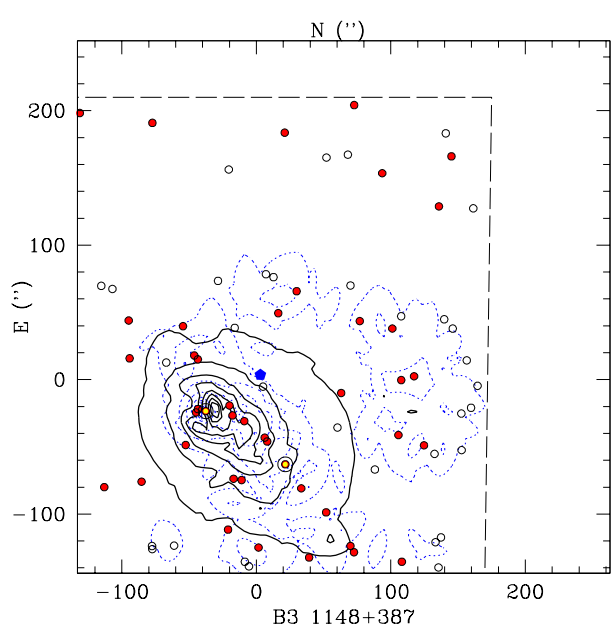
Durante los últimos cinco años hemos realizado un estudio de las propiedades óptico infrarrojas de la muestra B3-VLA de radio cuásares (Vigotti et al. 1997), la cual consta de 130 objetos de luminosidad intermedia en radio.

Nuestro estudio se ha enfocado en tres escalas espaciales distintas: (1) la escala del parsec, en la cual hemos realizado un estudio de la fotometría multibanda de estos objetos, (2) la escala del kiloparsec, estudiando las propiedades de las galaxias anfitrionas de estos objetos (HG), y (3) la escala del Megaparsec, estudiando las sobredensidades de galaxias en torno a los cuásares de la muestra. Se han buscado las posibles relaciones entre dichas escalas.

Para la realización de este estudio hemos contado con 22 noches de observación entre 1996 y 1999, en diferentes telescopios: WHT, JKT y NOT (en el Roque de los Muchachos) y 3.5m, 2.2m, 1.23m y 1.52m (en Calar Alto). Estas constaron de fotometría en bandas  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$ ,  $I$  y  $K$ , imágenes profundas en banda  $K$  e imágenes profundas en bandas  $B$  y  $R$ . El número de bandas estudiadas y de objetos de los que disponemos fotometría, así como el rango de longitudes de ondas cubierto, sitúa nuestro estudio entre los más amplios realizados hasta la fecha.

La fotometría multibanda nos ha permitido caracterizar el espectro óptico-infrarrojo de estos objetos (Carballo et al. 1999), comparando con modelos sobre la emisión de los cuásares. De igual forma, la comparación de los colores UV-ópticos y óptico-infrarrojos nos ha permitido limitar la cantidad de extinción debida a polvo existente en este tipo de objetos (Benn et al. 1998, 2001), situando dicha cantidad en menos de  $A_V \leq 1.5$  mag, afectando a una fracción no superior al 20% de los objetos. Dichas cantidades son significativamente inferiores a las presentadas en estudios previos.

Las imágenes profundas en banda  $K$  de 60 de los cuásares nos han permitido recuperar las HGs del 50% de dichos objetos. Nuestra muestra resulta la más amplia hasta la fecha. Las HGs resultaron ser elípticas de gran luminosidad (75% de ellas  $L > L_*$ ), con gran número de distorsiones en su morfología. Su distribución en el plano  $K$ - $z$  era muy similar a la de las radiogalaxias, y por tanto similar a galaxias elípticas viejas.



**Fig. 1.** Distribución bidimensional de las galaxias candidatas a cúmulo en torno al cuásar B3 1148+387 (círculos), así como la posición del cuásar (pentágono). Los contornos muestran una estimación de la densidad.

De igual forma su distribución en el plano  $\mu_e - r_e$  es también similar a la de las radiogalaxias. Estos resultados están en completo acuerdo con los esquemas de unificación de radiofuentes.

Se obtuvieron imágenes profundas en banda  $B, R$  y  $K$ , con un campo de visión de unos  $6 \times 6$  arcmin (5Mpc al corrimiento al rojo del cuásar), en torno a 7 radio-cuásares de la muestra a  $z \sim 1.1-1.6$ , con el fin de buscar sobredensidades de galaxias. Se encontró un exceso significativo, que por sus colores, distribución y número eran compatibles con galaxias al *redshift* del cuásar. La Figura 1 muestra la distribución bidimensional de las galaxias candidatas a formar un cúmulo en torno al cuásar B3 1148+387 ( $z \sim 1.3$ ). Se encontró que los QSOs no se encuentran en el centro de los excesos/cúmulos (Sánchez & González-Serrano 1999). Una posible explicación a este resultado podría estar en el propio origen de los QSOs. Si éste fue una colisión entre dos galaxias, la región donde el choque entre ambas puede dar lugar a una fusión y colapso de masa, sería la parte externa del núcleo de un cúmulo. En esta zona la velocidad media de las galaxias del cúmulo es del orden de la velocidad interna de las mismas, condición necesaria para que un choque produzca una colisión.

## **Bibliografía**

- Benn et al., 1998, MNRAS, 295, 451
- Benn et al., 2001, MNRAS, enviado.
- Carballo et al. 1998, AJ, 115, 1234
- Carballo et al. 1999, MNRAS, 306, 137
- Sánchez & González-Serrano, 1999, AA, 352, 395
- Vigotti et al. 1997, AAS, 123, 1

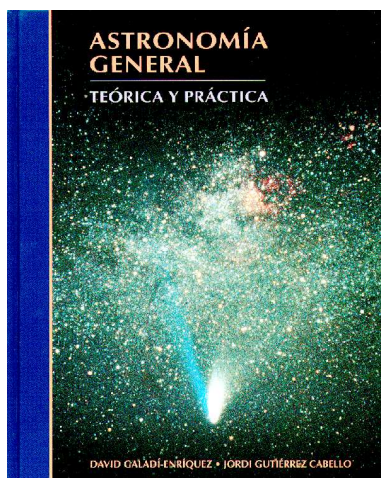
## *Astronomía General: Teórica y Práctica*

**Autor/es:** David Galadí-Enríquez y Jordi Gutiérrez Cabello

**Editorial:** Editorial Omega

**Páginas:** 1008      **ISBN:** 84-282-1168-X

**Precio:** 15500 pesetas, 93.16 euros



Pocas veces un título hace una tan buena descripción del contenido de la obra como en el caso de *Astronomía General: Teórica y Práctica*. Efectivamente, nos encontramos ante un auténtico compendio de astronomía (diría casi de vocación enciclopédica) que nos puede servir tanto para repasar nuestros conocimientos sobre evolución estelar como para ayudarnos a realizar observaciones con cámaras CCD.

Posiblemente, al astrónomo profesional o incluso al aficionado avanzado, el nivel al que se describen los contenidos le pueda saber a poco. Pero no por eso esta obra debe pasarnos desapercibida. Los diversos temas son tratados con rigurosidad, se realiza un gran esfuerzo por dar visiones actualizadas y, como no podía ser de otra forma conociendo a los autores, el lenguaje utilizado ha sido objeto de un especial cuidado.

El libro está dividido en ocho partes, concebidas para ser leídas independientemente y que cubren la práctica totalidad de las ramas de la Astronomía, desde el Sistema Solar hasta la Astrobiología, pasando por el Universo Extragaláctico. Pero además, David Galadí y Jordi Gutiérrez no pierden ocasión de explicarnos la etimología de un término o una anécdota histórica. La independencia de las secciones provoca, sin embargo, que en una lectura lineal nos encontremos con una cierta reiteración de ideas.

Pero quizá, en este mundo de la astronomía tan dominado por todo lo anglosajón, la característica más destacable de esta obra sea el gran peso que se ha querido dar al trabajo de los astrónomos aficionados y profesionales españoles e hispanoamericanos. Es algo que debemos agradecer y que ojalá sirva de ejemplo a futuros autores.

Por último mencionar que la edición es de una gran calidad, con profusión de ilustraciones a color, lo cual tiene como contrapartida un elevado precio de venta.

**Autor/es:** Fernando Comerón Tejero (ESO)

**Objeto/campo:** R Coronae Australis (R CrA)

**Instrumento:** WFI, telescopio 2.2m, La Silla (ESO)



Esta imagen muestra la zona central de la región de formación estelar R Coronae Australis (R CrA), obtenida en agosto de 2000 con el Wide Field Imager en el telescopio de 2.2m del Observatorio de La Silla (Chile).

La estrella que da nombre a la región es la que ocupa el vértice superior derecho de la nebulosa anaranjada en la parte izquierda de la imagen, y que contiene también T CrA en su parte inferior izquierda. Las dos estrellas que iluminan la intensa nebulosidad azulada de la parte superior son TY CrA y HD 176386, y las dos estrellas brillantes rodeadas de nebulosidad más tenue en la parte inferior derecha son HD 176269 y 176270.

Todas estas estrellas son variables del tipo T Tauri de tipos espectrales tempranos B y A en camino hacia la secuencia principal, pero la región es rica en estrellas menos masivas e incluso posibles objetos subestelares (Fernández y Comerón, 2001, *Astronomy and Astrophysics*, enviado). La mayor parte de la nebulosidad asociada con esta región de formación estelar aparece oscura en imágenes en longitudes de onda visibles, debido a la falta de estrellas situadas convenientemente para iluminarla, pero su presencia se deduce fácilmente en las áreas en las que oscurece la luz de las estrellas situadas detrás. Entre la nebulosidad brillante se distinguen tanto nebulosas de reflexión como objetos Herbig-Haro, nebulosas de emisión producidas por choques asociados con la expulsión de masa característica de las primeras etapas de formación estelar. La región de formación estelar R Coronae Australis es una de las más cercanas al Sol, a unos 150 pc de distancia, y se encuentra en el hemisferio Sur a  $\alpha(2000) = 19^h$ ,  $\delta(2000) = -37^\circ$ .



**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>